



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 600 34 607 T2 2008.01.31

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 026 798 B1

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: H01S 5/183 (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: 600 34 607.2

(96) Europäisches Aktenzeichen: 00 101 952.0

(96) Europäischer Anmeldetag: 01.02.2000

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 09.08.2000

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: 02.05.2007

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 31.01.2008

(30) Unionspriorität:  
**243184** 02.02.1999 US

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

(73) Patentinhaber:  
**Avago Technologies Fiber IP (Singapore) Pte. Ltd.,  
Singapore, SG**

(72) Erfinder:  
**Chen, Yong, Palo Alto, CA 94306, US; Wang,  
Shih-Yuan, Palo Alto, CA 94306, US**

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

(54) Bezeichnung: **Oberflächenemittierender Laser mit vertikalem Resonator (VCSEL) unter Verwendung von vergrabenen Bragg-Reflektoren und Herstellungsverfahren**

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 eingelebt, 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 allgemein auf die Herstellung von Halbleiterlasern und spezieller auf Vertikalresonatoroberflächenemissionslaser (vertical cavity surface emitting lasers = VCSEL) mit sowohl langer als auch kurzer Wellenlänge, die Bragg-Reflektoren verwenden, die in einem Indiumphosphid(InP)-Materialsystem oder einem Galliumnitrid(GaN)-Materialsystem vergraben sind, und auf ein Verfahren zur Herstellung derselben.

**Hintergrund der Erfindung**

**[0002]** Lichtemittierende Dioden (light emitting diodes = LEDs), Laser und Ähnliches (in ihrer Gesamtheit als lichtemittierende Vorrichtungen bzw. Bauelemente bekannt) werden heutzutage verbreitet bei vielen Anwendungen, wie z. B. Kommunikationssystemen, medizinischen Systemen und Anzeigesystemen, verwendet. Diese lichtemittierenden Vorrichtungen werden üblicherweise mit epitaxialen Materialien hergestellt, die auf einem Substrat gebildet sind, wobei die epitaxialen Materialien einen pn-Übergang bzw. einen aktiven Bereich aufweisen, der in demselben gebildet ist, und umfassen typischerweise zumindest einen Bragg-Reflektor. Ein Bragg-Reflektor ist ein Grundbaustein vieler lichtemittierender Vorrichtungen. Bei LEDs ist ein Bragg-Reflektor zwischen einem aktiven Bereich und einem Substrat hergestellt, um Licht aus der LED zu reflektieren, und bei Lasern ist ein Bragg-Reflektor an beiden Seiten eines aktiven Bereichs hergestellt, um einen optischen Resonator zu definieren. Im Falle einer LED wird Licht, das von einem aktiven Bereich zu dem Substrat hin emittiert wird, von einem Bragg-Reflektor zurück zu der Oberfläche hin reflektiert, wo es sich mit dem Licht verbindet, das zu der Oberfläche hin geht, wodurch die Lichtausgabe der LED erhöht ist. Bragg-Reflektoren sind typischerweise aus abwechselnden Schichten aus Material gebildet, das unterschiedliche Brechungsindizes aufweist. Bei einem Halbleiterlaser sollte ein Bragg-Reflektor eine Reflektivität bzw. ein Reflexionsvermögen aufweisen, das 99,9% nahe kommt, und der gegenüberliegende Bragg-Reflektor (d. h. der, durch den das Laserlicht emittiert wird) sollte ein Reflexionsvermögen von ungefähr 99,8% aufweisen.

**[0003]** Für Laser, die bei Kommunikationssystemen verwendet werden, und insbesondere für optische Kommunikationssysteme ist es wünschenswert, dass der Laser Licht mit einer relativ langen Wellenlänge in der Größenordnung von ungefähr 1,3–1,55 Mikrometer ( $\mu\text{m}$ ) emittiert und dieses Licht in einer einzelnen räumlichen Mode und in einer einzelnen longitudinalen Mode emittiert. Eine Laseremission in einer einzelnen räumlichen Mode und in einer einzel-

nen longitudinalen Mode führt zu einer Laseremission bei einer einzelnen Frequenz. Eine Einfrequenzausgabe mit langer Wellenlänge ermöglicht es, dass die Laseremission in eine optische Faser fokussiert ist und sich bei Kommunikationssystemen, bei denen sehr hohe Kommunikationsraten über lange Entfernnungen bei hohen Frequenzen erfordert werden, gut verhält.

**[0004]** Eine Laseremission mit diesen bevorzugten Wellenlängen erfordert es, dass ein Laser aus einem Material hergestellt ist, das einen geringen Bandabstand aufweist, wie z. B. Indiumphosphid. Leider ist es schwierig, Bragg-Reflektoren unter Verwendung von Indiumphosphid zu bilden, weil es schwierig ist, ein kompatibles Material zu finden, das einen Brechungsindex aufweist, der sich von demjenigen des Indiumphosphids unterscheidet, wodurch eine übermäßig große Anzahl von Reflektorpaaaren erforderlich ist, um das erforderliche Reflexionsvermögen zu erreichen.

**[0005]** Die US 5747366 offenbart einen VCSEL mit langer Wellenlänge. Ein Typ von Laservorrichtung, der eine Einfrequenzausgabe bei der gewünschten Kommunikationsfrequenz emittieren kann, ist ein Laser mit verteilter Rückkopplung (distributed feedback = DFB). Jedoch tendieren Laser mit verteilter Rückkopplung dazu, kostenaufwändig zu sein.

**[0006]** Ein anderer Weg zum Erreichen einer Laseremission mit langer Wellenlänge besteht darin, Bragg-Reflektoren unter Verwendung eines Galliumarsenid(GaAs)-Materialsystems wachsen zu lassen und dann die GaAs-Bragg-Reflektoren mit einem Indiumphosphat(InP)-Substrat unter Verwendung einer Technik, die als Waferverbinden bekannt ist, zu verbinden. Ein erheblicher Nachteil dieses Verfahrens besteht darin, dass über die verbundene Grenzfläche typischerweise eine schlechte elektrische Leitfähigkeit besteht. Ein anderer Nachteil dieses Verfahrens besteht darin, dass das Verbinden der zwei unterschiedlichen Materialsysteme unter Verwendung des Waferverbindens einen kostenaufwändigen Herstellungsschritt hinzufügt und das Wachsenlassen bzw. Aufwachsen von zwei verschiedenen Materialsystemen erfordert.

**[0007]** Noch ein anderes Verfahren zum Erzeugen eines Lasers mit langer Wellenlänge ohne die Verwendung des Waferverbindens besteht darin, einen GaAs-Halbleiterlaser mit einer aktiven Schicht zu verwenden, die z. B. Galliumarsenidnitrid (GaAsN) oder Galliumarsenidphosphidantimonid (GaAsPSb) aufweist, jedoch ist das Wachsenlassen dieser aktiven Schichten schwierig, kosten- und zeitaufwändig.

**[0008]** Somit besteht in der Industrie ein unangesprochener Bedarf nach einem Einfrequenzlaser mit langer Wellenlänge, der einfach und zu geringen

Kosten aus einem einzigen Materialsystem hergestellt werden kann.

### Zusammenfassung der Erfindung

**[0009]** Die Erfindung sieht einen Halbleiterlaser und ein Verfahren zur Herstellung desselben vor. Obwohl die vorliegende Erfindung nicht auf diese speziellen Anwendungen beschränkt ist, ist dieselbe auf ein Ausbilden eines Indiumphosphid(InP)-Halbleiterlasers mit langer Wellenlänge und auch von Halbleiterlasern, die aus dem Galliumnitrid(GaN)-Materialsystem hergestellt sind, anwendbar.

**[0010]** Im Aufbau kann die vorliegende Erfindung als ein Halbleiterlaser konzeptualisiert sein, der eine Substratanordnung, die einen ersten Reflektor enthält, einen Stromeingrenzungsbereich, der auf einer Oberfläche der Substratanordnung liegt, eine epitaxiale laterale darüber gewachsene Schicht über dem Stromeingrenzungsbereich und einen zweiten Reflektor, der über der Substratanordnung angeordnet ist, aufweist.

**[0011]** Die vorliegende Erfindung kann auch als ein Verfahren zum Herstellen eines Halbleiterlasers vorsehend konzeptualisiert sein, das die folgenden Schritte aufweist: Ausbilden einer Substratanordnung, die einen ersten Reflektor enthält, Ausbilden eines Stromeingrenzungsbereichs, der auf einer Oberfläche der Substratanordnung liegt, Wachsenlassen einer epitaxialen lateralen darüber gewachsenen Schicht über dem Stromeingrenzungsbereich und Ausbilden eines zweiten Reflektors über der Substratanordnung.

**[0012]** Die Erfindung weist zahlreiche Vorteile auf, von denen einige nachfolgend nur als Beispiele skizziert sind.

**[0013]** Ein Vorteil der Erfindung besteht darin, dass dieselbe einem Halbleiterlaser ermöglicht, eine Lichtausgabe in einer einzelnen räumlichen Mode und einer einzelnen longitudinalen Mode zu emittieren, was eine Lichtausgabe bei einer einzelnen Frequenz zur Folge hat.

**[0014]** Ein anderer Vorteil der Erfindung besteht darin, dass dieselbe die Stromeingrenzungsfähigkeit eines Halbleiterlasers verbessert.

**[0015]** Ein anderer Vorteil der Erfindung besteht darin, dass dieselbe es ermöglicht, dass ein Halbleiterlaser mit langer Wellenlänge aus einem einzigen Materialsystem hergestellt wird.

**[0016]** Ein anderer Vorteil der Erfindung besteht darin, dass dieselbe es ermöglicht, dass ein Halbleiterlaser mit langer Wellenlänge unter Verwendung von allgemein verfügbaren Materialien, mit denen der ak-

tive Bereich zu erzeugen ist, hergestellt wird.

**[0017]** Ein anderer Vorteil der Erfindung besteht darin, dass dieselbe einfach im Entwurf ist und ohne weiteres in einem Massenumfang für eine kommerzielle Herstellung implementiert werden kann.

**[0018]** Andere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich für einen Fachmann auf dem Gebiet bei einer Prüfung der folgenden Zeichnungen und der detaillierten Beschreibung. Diese zusätzlichen Merkmale und Vorteile sollen in dem vorliegenden Dokument in dem Schutzbereich der vorliegenden Erfindung eingeschlossen sein.

### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**[0019]** Die vorliegende Erfindung, wie dieselbe in den Ansprüchen definiert ist, kann durch eine Bezugnahme auf die folgenden Zeichnungen besser verstanden werden. Die Komponenten in den Zeichnungen sind nicht notwendigerweise maßstabsgetreu zueinander und der Schwerpunkt liegt stattdessen auf einer klaren Darstellung der Prinzipien der vorliegenden Erfindung.

**[0020]** [Fig. 1A](#) bis [Fig. 1E](#) sind schematische Querschnittsansichten, die in ihrer Gesamtheit das Wachstumsfortschreiten eines Halbleiterlasers, der einen Reflektor aufweist, der in einem Substrat aus Indiumphosphid (InP) vergraben ist, gemäß der vorliegenden Erfindung darstellen; und

**[0021]** [Fig. 2A](#) bis [Fig. 2G](#) sind schematische Querschnittsansichten, die in ihrer Gesamtheit das Wachstumsfortschreiten des eines alternativen Ausführungsbeispiels des Halbleiterlasers von [Fig. 1A](#) bis [Fig. 1E](#) darstellen.

### Detaillierte Beschreibung der Zeichnungen

**[0022]** Die Erfindung, die nachfolgend beschrieben werden soll, ist auf Halbleiterlaser anwendbar, die unter Verwendung verschiedenartiger Materialsysteme hergestellt werden, jedoch wird zur Einfachheit ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel in dem Kontext einer Herstellung eines Indiumphosphidhalbleiterlasers mit langer Wellenlänge beschrieben. Es sollte betont werden, dass die Prinzipien der vorliegenden Erfindung auch auf andere Materialsysteme anwendbar sind. Zum Beispiel können die Konzepte der vorliegenden Erfindung bei der Herstellung eines Galliumnitridhalbleiterlasers verwendet werden.

**[0023]** Ferner sind zur Einfachheit der folgenden Beschreibung lediglich die Hauptschichten der Halbleiterlaservorrichtung dargestellt.

**[0024]** [Fig. 1A](#) bis [Fig. 1E](#) sind eine Serie von schematischen Querschnittsansichten, die in ihrer Ge-

samtheit das Wachstumsfortschreiten eines bevorzugten Ausführungsbeispiels des Indiumphosphidhalbleiterlasers **10** darstellen, der gemäß der vorliegenden Erfindung aufgebaut ist.

**[0025]** Sich nun [Fig. 1A](#) zuwendend, ist ein Bragg-Reflektor **12** in einem n-Typ-Indiumphosphidsubstrat **11** angeordnet. Der Bragg-Reflektor **12** kann, wie auf dem Gebiet bekannt ist, abwechselnde Schichten aus Siliziumdioxid ( $\text{SiO}_2$ ) und Titandioxid ( $\text{TiO}_2$ ) umfassen und ist unter Verwendung von Techniken wie z. B. Aufdampfung in einem Graben angeordnet, der in das n-Typ-Indiumphosphidsubstrat **11** geätzt ist. Alternativ können Bragg-Reflektoren abwechselnde Schichten aus leitfähigem Material, wie z. B. Titanitrid ( $\text{TiN}$ ) und Siliziumcarbid ( $\text{SiC}$ ), umfassen. Bragg-Reflektoren, die leitfähiges Material umfassen, können die Stromleitung steigern, wenn sie z. B. in Indiumphosphid vergraben sind. Der Bragg-Reflektor **12** weist ein Reflexionsvermögen auf, das 99,9% nahe kommt, und umfasst typischerweise ungefähr 5–20 Schichtpaare aus Siliziumdioxid und Titandioxid. Der Bragg-Reflektor **12** wird manchmal als Bragg-Spiegel bezeichnet.

**[0026]** Über dem Indiumphosphidsubstrat **11** und dem Bragg-Reflektor **12** ist eine zusätzliche Schicht aus n-Typ-Indiumphosphid **14** angeordnet. Die Schicht **14** schließt die Struktur ab, in der der Bragg-Reflektor **12** eingeschlossen ist, wobei das n-Typ-Indiumphosphidsubstrat **11**, der Bragg-Reflektor **12** und die n-Typ-Indiumphosphidschicht **14** eine n-Typ-Indiumphosphidsubstratanordnung **13** bilden. Bezüglich des Bragg-Reflektors **12** bestimmt der Unterschied bei den Brechungssindizes des Siliziumdioxid- und des Titandioxidmaterials, das die Schichtpaare aufweist, das Reflexionsvermögen der Schichtpaare. Die Dicke jeder Schicht aus Siliziumdioxid und Titandioxid beträgt  $\lambda/4n$  (oder ungerade Vielfache desselben), wobei  $\lambda$  die im-Vakuum-Wellenlänge des reflektierten Lichts und  $n$  der Brechungssindex des Materials ist. Es ist zu beachten, dass ein beliebiges ungerades Zwischenvielfaches von  $\lambda/4n$  verwendet werden kann. Zum Beispiel kann eine Materialdicke von  $3\lambda/4n$  oder  $5\lambda/4n$  ebenfalls verwendet werden.

**[0027]** Bei diesem Ausführungsbeispiel weist der Bragg-Reflektor **12** ein Reflexionsvermögen auf, das 99,9% nahe kommt, weil Licht von dem oberen Ende der Vorrichtung emittiert wird. Dies erfordert, dass der Bragg-Reflektor, der gegenüber der Richtung der Lichtausgabe liegt (d. h. der Bragg-Reflektor **12**), das größtmögliche Reflexionsvermögen aufweist.

**[0028]** [Fig. 1B](#) stellt die Hinzufügung einer Stromeingrenzungsschicht **15** über der n-Typ-Indiumphosphidschicht **14** dar. Die Stromeingrenzungsschicht **15** ist über der n-Typ-Indiumphosphidschicht **14** in einer Weise angeordnet, die eine Öffnung **20**

definiert, die kleiner als der Umfang des Bragg-Reflektors **12** ist. Die Stromeingrenzungsschicht **15** wird durch ein Anordnen einer Schicht aus stromeingrenzendem Material über der n-Typ-Indiumphosphidschicht **14** und dann ein Entfernen eines Abschnitts desselben gebildet, was bewirkt, dass in der Nähe des Bragg-Reflektors **12** die Öffnung **20** gebildet wird. Die Öffnung **20** kann durch ein photolithographisches Ätzen oder ein photolithographisches Abheben gebildet werden, wie es auf dem Gebiet bekannt ist. Die Öffnung **20** ist so ausgebildet, dass die Stromeingrenzungsschicht **15** über der Peripherie des Bragg-Reflektors **12** liegt, so dass die Öffnung **20** über einem Teil des Bragg-Reflektors **12** liegt, wie es hier gezeigt ist, wodurch ein Stromeingrenzungsweg gebildet wird, der detailliert unter Bezugnahme auf [Fig. 1D](#) und [Fig. 1E](#) dargestellt ist. Es ist zu beachten, dass die Öffnung **20**, während dieselbe als sich konzentrisch über dem Bragg-Reflektor **12** befindend gezeigt ist, sich irgendwo über dem Bragg-Reflektor **12** befinden kann.

**[0029]** Die Stromeingrenzungsschicht **15** wird veranschaulichenderweise unter Verwendung von z. B. dielektrischem Material wie Siliziumdioxid ( $\text{SiO}_2$ ), Siliziumnitrid ( $\text{SiN}$ ), mit Kohlenstoff angereichertem organischen Material oder Siliziumcarbid ( $\text{SiC}$ ) gebildet, oder kann in der Tat unter Verwendung von nicht-dielektrischem Material wie einem Halbleitermaterial mit hohem Bandabstand gebildet werden. Typischerweise wird die Stromeingrenzungsschicht **15** unter Verwendung von Siliziumcarbid, Siliziumnitrid oder Siliziumdioxid gebildet.

**[0030]** Sich nun [Fig. 1C](#) zuwendend, ist zu sehen, dass eine n-Typ-Indiumphosphidschicht **16** über einer Stromeingrenzungsschicht **15** gewachsen ist, wodurch die Stromeingrenzungsschicht **15** in dem n-Typ-Indiumphosphidmaterial eingeschlossen ist. Es ist zu beachten, dass die Schicht **16** eine epitaxiale laterale darüber gewachsene Schicht aufweist, die in der Öffnung **20** unter Verwendung der n-Typ-Indiumphosphidschicht **14** als Keimschicht wachsen gelassen wird. Die Schicht **16** füllt die Öffnung **20** und wächst dann lateral über die Stromeingrenzungsschicht **15**, wobei sie mit Wachstum an Dicke gewinnt.

**[0031]** Ein laterales epitaxiales Darüberwachsen ist aus der US 5828088 bekannt. Über der n-Typ-Indiumphosphidschicht **16** ist eine aktive Schicht **17** angeordnet. Die aktive Schicht **17** umfasst veranschaulichenderweise abwechselnde Schichten aus z. B. Indiumgalliumarsenidphosphid ( $\text{InGaAsP}$ ) und Indiumphosphid ( $\text{InP}$ ), was mehrere Quantenmulden bildet.

**[0032]** [Fig. 1D](#) stellt eine fertig gestellte Indiumphosphid-Halbleiterlaservorrichtung **10** dar. Über der aktiven Schicht **17** ist eine p-Typ-Schicht aus Indiumphosphid **18** angeordnet. Auf der p-Typ-Indiumphos-

phidschicht **18** ist ein zusätzlicher Bragg-Reflektor **22** angeordnet. Der Bragg-Reflektor **22** ist ähnlich dem Bragg-Reflektor **12** aufgebaut, jedoch weist der Bragg-Reflektor **22**, während derselbe ebenfalls 5–20 abwechselnde Paare von Siliziumdioxid- und Titandioxidschichten aufweist, typischerweise weniger Paare als der Bragg-Reflektor **12** auf, was ein Reflexionsvermögen von ungefähr 99,8% zur Folge hat. Der Pfeil **27** über dem Bragg-Reflektor **22** zeigt die Lichtausgabe des Halbleiterlasers **10** an. Der Bragg-Reflektor **22** ist aus dem Grund, dass durch den Bragg-Reflektor **22** Licht in die durch den Pfeil gezeigte Richtung emittiert wird, etwas weniger reflektierend als der Bragg-Reflektor **12**.

**[0033]** Auf der p-Typ-Indiumphosphidschicht **18** sind auch p-ohmsche Kontakte **19** angeordnet, während ein n-ohmscher Kontakt **21** an dem unteren Ende des n-Typ-Indiumphosphidsubstrats **11** angeordnet ist.

**[0034]** Um den Effekt der Stromeingrenzungsschicht **15**, die eine Öffnung **20** aufweist, die über dem Bragg-Reflektor **12** liegt, darzustellen, sind veranschaulichende Stromwege **24** zwischen dem n-ohmschen Kontakt **21** und dem p-ohmschen Kontakt **19** zu beachten. Der Stromfluss zwischen dem n-ohmschen Kontakt **21** und dem p-ohmschen Kontakt **19** hat zur Folge, dass in der aktiven Schicht **17** Licht erzeugt und in einem optischen Resonator **23** verstärkt wird. Der optische Resonator **23** ist der Bereich zwischen dem Bragg-Reflektor **12** und dem Bragg-Reflektor **22** und einschließlich derselben, in dem das Laserlicht, das in der aktiven Schicht erzeugt wird, oszilliert und verstärkt wird. Das erzeugte Licht reflektiert nahezu komplett von dem Bragg-Reflektor **12** ab und ein kleiner Teil desselben geht durch den Bragg-Reflektor **22** durch, um als eine Einfrequenzausgabe in die von dem Pfeil **27** angezeigte Richtung emittiert zu werden.

**[0035]** Die Position der Öffnung **20** erzeugt in Zusammenarbeit mit der Erstreckung der Stromeingrenzungsschicht **15** über dem Bragg-Reflektor **12** eine sehr hohe Stromdichte in dem Bereich der aktiven Schicht, der der Öffnung **20** entspricht, und zwischen den Bragg-Reflektoren **12** und **22**, so dass die aktive Schicht Licht erzeugen kann, das von den Bragg-Reflektoren **12** und **22** reflektiert werden kann. Die Positionierung der Öffnung wie gezeigt hilft auch bei einem Erreichen einer Stromdichte in der aktiven Schicht, die ausreichend ist, um die Laserbetriebschwelle zu erreichen, und auch ausreichend ist, um eine gleichmäßige Stromdichte zu erreichen, was bei einem Erreichen der gewünschten Einmodenausgabe hilft. Dieser gewünschte Stromfluss ist durch Pfeile **24** dargestellt. Es ist zu beachten, dass der Strom zu der Mitte der Öffnung **20** hin konzentriert ist. Dieser Stromfluss ermöglicht es der Indiumphosphidhalbleiterlaservorrichtung **10**, eine Ausgabe einer

einzelnen räumlichen Mode zu erreichen. Ferner erreicht die Fähigkeit, den Bragg-Reflektor **12** und den Bragg-Reflektor **22** in enger Nachbarschaft zueinander zu positionieren, einen kurzen optischen Resonator **23**, der eine Ausgabe einer einzelnen longitudinalen Mode zur Folge hat. Zusammen haben die einzelne räumliche Mode und die einzelne longitudinale Mode die gewünschte Einfrequenzausgabe zur Folge.

**[0036]** Alternativ kann das Stromeingrenzungsergebnis, das durch die Positionierung der Stromeingrenzungsschicht **15**, die die Öffnung **20** aufweist, die in der Nähe des Bragg-Reflektors **12** liegt, durch die Verwendung von Innenimplantation, um einen Stromeingrenzungsbereich in der n-Typ-Indiumphosphidschicht **14** in der Nähe des Bragg-Reflektors **12** zu erzeugen, erreicht werden, was detailliert unter Bezugnahme auf [Fig. 1E](#) beschrieben ist.

**[0037]** Unter Bezugnahme auf [Fig. 1E](#) sind veranschaulichenderweise Ionenimplantationsbereiche **25** in der n-Typ-Indiumphosphidschicht **14** gebildet, die zu dem Bragg-Reflektor **12** benachbart ist. Die Ionenimplantationsbereiche **25** bilden die Öffnung **20** in der Nähe des Bragg-Reflektors **12**. Die Ionenimplantationsbereiche **25** können durch ein Implantieren von z. B. Wasserstoff-, Sauerstoff-, Helium- und Eisenionen gebildet werden, wie es Fachleuten bekannt ist. Unabhängig davon, ob die Öffnung **20** durch eine Stromeingrenzungsschicht **15** oder durch die Verwendung der Innenimplantation gebildet wird, ist das Ergebnis, dass der Stromfluss zwischen p-ohmschen Kontakten **19** und einem n-ohmschen Kontakt **21** gerichtet wird, um die Stromdichte in der aktiven Schicht wie oben beschrieben zu maximieren und somit eine unverfälschte Einfrequenzausgabe zu ermöglichen.

**[0038]** [Fig. 2A](#) bis [Fig. 2G](#) sind schematische Querschnittsansichten, die in ihrer Gesamtheit das Wachstumsfortschreiten eines alternativen Ausführungsbeispiels des Halbleiterlasers von [Fig. 1A](#) bis [Fig. 1E](#) veranschaulichen.

**[0039]** Sich nun [Fig. 2A](#) zuwendend, ist ein n-Typ-Indiumphosphidsubstrat **51** gezeigt, auf dem ein Bragg-Reflektor **52** angeordnet ist. Da der Indiumphosphidhalbleiterlaser **50** dieses alternativen Ausführungsbeispiels Licht durch das untere Ende der Vorrichtung emittiert, ist der Bragg-Reflektor **52** dem Bragg-Reflektor **22** von [Fig. 1A](#)–[Fig. 1E](#) in seiner Struktur dahingehend ähnlich, dass der Bragg-Reflektor **52** ein Reflexionsvermögen aufweist, das 99,8% nahe kommt, so dass er das Ausgabe-Laserlicht durchlässt. Der Bragg-Reflektor **52** umfasst veranschaulichenderweise 5–20 Paare von abwechselnden Schichten aus Siliziumdioxid und Titandioxid.

**[0040]** [Fig. 2B](#) stellt die Anordnung einer epitaxia-

len n-Typ-Indiumphosphidschicht **54** über dem n-Typ-Indiumphosphidsubstrat **51** und dem Bragg-Reflektor **52** dar, was zur Folge hat, dass der Bragg-Reflektor **52** vollständig in dem n-Typ-Indiumphosphidmaterial eingeschlossen bzw. vergraben ist, wodurch eine n-Typ-Indiumphosphidsubstratanordnung **53** gebildet wird.

**[0041]** Wie bei [Fig. 2C](#) zu sehen ist, ist eine aktive Schicht **56**, die abwechselnde Schichtpaare aus z. B. Indiumgalliumarsenidphosphid (InGaAsP) und Indiumphosphid (InP) aufweist, die mehrere Quantenmulden in einer Struktur bilden, die der unter Bezugnahme auf [Fig. 1C](#) beschriebenen ähnelt, über der epitaxialen Indiumphosphidschicht **54** gewachsen. Über einer aktiven Schicht **56** ist eine p-Typ-Indiumphosphidschicht **57** gewachsen.

**[0042]** [Fig. 2D](#) zeigt die Anordnung einer Stromeingrenzungsschicht **55** über einer p-Typ-Indiumphosphidschicht **57**. Die Stromeingrenzungsschicht **55** ist über der p-Typ-Indiumphosphidschicht **57** in einer Weise angeordnet, die eine Öffnung **60** definiert, die kleiner als der Umfang des Bragg-Reflektors **52** ist. Die Stromeingrenzungsschicht **55** wird durch ein Anordnen einer Schicht aus stromeingrenzendem Material über der p-Typ-Indiumphosphidschicht **57** und dann ein Entfernen eines Abschnitts desselben, was bewirkt, dass eine Öffnung **60** in der Nähe des Bragg-Reflektors **52** gebildet wird, gebildet. Die Öffnung **60** kann durch ein photolithographisches Ätzen oder durch ein photolithographisches Abheben gebildet werden, wie es auf dem Gebiet bekannt ist. Wie zu sehen ist, liegt die Stromeingrenzungsschicht **55** über der Peripherie des Bragg-Reflektors **52**, so dass die Öffnung **60** über einem Teil des Bragg-Reflektors **52** liegt. Die Öffnung **60** fungiert, um Strom durch die aktive Schicht **56** zu leiten, wie unter Bezugnahme auf [Fig. 1B](#), [Fig. 1C](#) und [Fig. 1D](#) beschrieben. Es ist zu beachten, dass die Öffnung **60**, während dieselbe als sich konzentrisch über dem Bragg-Reflektor **52** befindend gezeigt ist, sich irgendwo über dem Bragg-Reflektor **52** befinden kann.

**[0043]** Sich nun auf [Fig. 2E](#) beziehend, ist die Anordnung einer p-Typ-Indiumphosphidschicht **58** über einer Stromeingrenzungsschicht **55** und einer p-Typ-Indiumphosphidschicht **57** gezeigt. Die Anordnung der p-Typ-Indiumphosphidschicht **58** wird unter Verwendung eines epitaxialen lateralen Darüberwachsens, beginnend in der Öffnung **60**, und unter Verwendung der p-Typ-Indiumphosphidschicht **57** als Keimschicht erreicht, aus der die p-Typ-Indiumphosphidschicht **58** ähnlich der unter Bezugnahme auf [Fig. 1C](#) beschriebenen wachsen soll.

**[0044]** In [Fig. 2F](#) ist die Anordnung eines Bragg-Reflektors **62** über der p-Typ-Indiumphosphidschicht **58** gezeigt. Der Bragg-Reflektor **62** weist ein Reflexionsvermögen auf, das 99,9% nahe kommt, wodurch eine

nahezu totale Reflexion erreicht wird. Der Bragg-Reflektor **62** ist dem Bragg-Reflektor **12** von [Fig. 1A](#)–[Fig. 1E](#) in seiner Struktur dahingehend ähnlich, dass derselbe ungefähr 5–20 Paare von abwechselnden Schichten aus Siliziumdioxid und Titan-dioxid umfasst. Der Bragg-Reflektor **62** reflektiert nahezu total, so dass Licht, das in der Laservorrichtung **50** erzeugt wird, durch den Bragg-Reflektor **52** aus dem unteren Ende der Vorrichtung in die Richtung des in [Fig. 2G](#) gezeigten Pfeils **68** emittiert werden kann. Wie oben ausgeführt, ist der Bragg-Reflektor **52** dem Bragg-Reflektor **22** von [Fig. 1D](#) in seiner Struktur dahingehend ähnlich, dass derselbe ein Reflexionsvermögen von ungefähr 99,8% aufweist und ungefähr 5–20 Schichtpaare aus Siliziumdioxid und Titandioxid umfasst. Die Bragg-Reflektoren **52** und **62** können auch unter Verwendung von Titannitrid und Siliziumcarbid gebildet werden, wie oben ausgeführt.

**[0045]** Sich immer noch auf [Fig. 2F](#) beziehend, sind über der p-Typ-Indiumphosphidschicht **58** auch p-ohmsche Kontakte **59** angeordnet, und an dem unteren Ende des n-Typ-Indiumphosphidsubstrats **51** sind n-ohmsche Kontakte **61** angeordnet.

**[0046]** Sich nun auf [Fig. 2G](#) beziehend, ist zu sehen, dass eine Gold(Au)-Plattenschicht **64** über den p-ohmschen Kontakten **59**, dem Bragg-Reflektor **62** und den Abschnitten der p-Typ-Indiumphosphidschicht **58**, die zwischen den p-ohmschen Kontakten **59** und dem Bragg-Reflektor **62** freiliegen, aufgebracht worden ist. Die Goldplattenschicht **64** stellt für den Indiumphosphidhalbleiterlaser **50** eine Wärmeableiterfähigkeit bereit. Wie in [Fig. 2G](#) veranschaulicht, wird der Stromfluss, wie durch Wege **66** angezeigt ist, die zwischen einem n-ohmschen Kontakt **61** und einem p-ohmschen Kontakt **59** gebildet sind, durch die Öffnung **60** gelenkt, die durch die Stromeingrenzungsschicht **55** definiert ist, um den gewünschten Stromfluss zwischen dem n-ohmschen Kontakt **61** und dem p-ohmschen Kontakt **59** zu ermöglichen. Diese Anordnung hat zur Folge, dass in einer aktiven Schicht **56** Licht erzeugt und in einem optischen Resonator **65** verstärkt wird.

**[0047]** Der optische Resonator **65** ist der Bereich zwischen dem Bragg-Reflektor **52** und dem Bragg-Reflektor **62** und einschließlich derselben, in dem das Laserlicht, das in der aktiven Schicht erzeugt wird, oszilliert und verstärkt wird. Das erzeugte Licht reflektiert nahezu vollständig von dem Bragg-Reflektor **62** ab und ein kleiner Teil desselben geht durch den Bragg-Reflektor **52**, um als eine Ein-frequenzausgabe in die von dem Pfeil **68** angezeigte Richtung emittiert zu werden.

**[0048]** Die Position der Öffnung **60** erzeugt in Zusammenarbeit mit der Erstreckung der Stromeingrenzungsschicht **55** über dem Bragg-Reflektor **52**

eine sehr hohe Stromdichte in dem Bereich der aktiven Schicht, der der Öffnung **60** entspricht, und zwischen den Bragg-Reflektoren **52** und **62**, so dass die aktive Schicht Licht erzeugen kann, das durch die Bragg-Reflektoren **52** und **62** reflektiert werden kann. Die Positionierung der Öffnung wie gezeigt hilft auch bei einem Erreichen einer Stromdichte in der aktiven Schicht, die ausreichend ist, um die Laserbetriebsschwelle zu erreichen, und auch ausreichend ist, um eine gleichmäßige Stromdichte zu erreichen, was bei einem Erreichen der gewünschten Ausgabe einer einzelnen Mode hilft. Der gewünschte Stromfluss wird durch Pfeile **66** veranschaulicht. Es ist zu beachten, dass der Strom zu der Mitte der Öffnung **60** hin konzentriert ist. Die Positionierung der Stromeingrenzungsschicht **55**, die in derselben die Öffnung **60** bildet, ermöglicht den gewünschten Stromfluss **66** durch die aktive Schicht **56**. Dieser Stromfluss ermöglicht es der Indiumphosphidhalbleiterlaservorrichtung **50**, eine Ausgabe einer einzelnen räumlichen Mode zu erreichen. Ferner erreicht die Fähigkeit, den Bragg-Reflektor **52** und den Bragg-Reflektor **62** in enger Nachbarschaft zueinander zu positionieren, einen kurzen optischen Resonator **65**, der eine Ausgabe einer einzelnen longitudinalen Mode zur Folge hat. Zusammen haben die einzelne räumliche Mode und die einzelne longitudinale Mode die gewünschte Einfrequenzausgabe in die durch den Pfeil **68** gezeigte Richtung zur Folge.

**[0049]** Obwohl es unter Bezugnahme auf [Fig. 2A](#) bis [Fig. 2G](#) nicht gezeigt ist, kann das Stromeingrenzungsergebnis, das durch die Stromeingrenzungsschicht **55** erreicht wird, auch durch die Verwendung von Innenimplantation in der p-Typ-Indiumphosphidschicht **57** erreicht werden, ähnlich der unter Bezugnahme auf [Fig. 1E](#) beschriebenen. Die Stromeingrenzung, die durch die Positionierung der Öffnung **20** unter Bezugnahme auf [Fig. 1A–Fig. 1E](#) und die Positionierung der Öffnung **60** unter Bezugnahme auf [Fig. 2A–Fig. 2E](#) erreicht wird, ermöglicht zusammen mit dem epitaxialen lateralen Darüberwachsen durch die Öffnung unter Verwendung der Materialschicht unterhalb der Stromeingrenzungsschicht als Keimmaterial, aus dem das epitaxiale laterale Darüberwachsen beginnt, den gewünschten Stromfluss in der Vorrichtung **20** bzw. **50**.

**[0050]** Während die Halbleiterlaservorrichtungen von [Fig. 1A–Fig. 1E](#) und [Fig. 2A–Fig. 2G](#) jeweils eine Lichtausgabe durch das obere Ende der Vorrichtung und das untere Ende der Vorrichtung zeigen, sollte beachtet werden, dass durch ein Umkehren der Positionierung der Spiegel und des Wärmeableiters von [Fig. 2G](#) Licht durch entgegengesetzte Seiten der jeweiligen Vorrichtung emittiert werden kann, ohne von dem Schutzbereich der vorliegenden Erfindung abzuweichen.

**[0051]** Für Fachleute auf dem Gebiet ist es nahe lie-

gend, dass an den bevorzugten Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung wie oben dargelegt viele Modifikationen und Variationen vorgenommen werden können, ohne im Wesentlichen von den Prinzipien der vorliegenden Erfindung abzuweichen. Zum Beispiel kann die vorliegende Erfindung verwendet werden, um verschiedenartige lichtemittierende Vorrichtungen herzustellen, und ist gleichsam auf das Wachsen von Schichten aus anderen Halbleitern der Gruppe III-V im Allgemeinen anwendbar. Ferner können Vorrichtungen, die gemäß der vorliegenden Erfindung aufgebaut sind, entweder oben emittierend oder unten emittierend sein und alle n-Typ- und p-Typ-Materialschichten umgekehrt aufweisen. All solche Modifikationen und Variationen sollen in das vorliegende Dokument in dem Schutzbereich der vorliegenden Erfindung, wie derselbe in den folgenden Ansprüchen definiert ist, eingeschlossen sein.

## Patentansprüche

1. Halbleiterlaser (**10, 50**) mit:  
einem Substrat (**11, 14, 51, 54**);  
einem ersten Reflektor (**12, 52**), wobei der erste Reflektor (**12, 52**) und das Substrat (**11, 14, 51, 54**) eine Substratanordnung (**13, 53**) bilden;  
einem Stromeingrenzungsbereich (**15, 55**), der über der Substratanordnung (**12, 53**) liegt;  
eine darüber gewachsene Schicht (**16, 58**) über dem Stromeingrenzungsbereich (**15, 55**) und  
einem zweiten Reflektor (**52, 62**), der über der Substratanordnung (**13, 53**) angeordnet ist;  
**dadurch gekennzeichnet**, dass die darüber gewachsene Schicht (**16, 58**) eine epitaxiale laterale darüber gewachsene Schicht ist.
2. Laser (**10, 50**) nach Anspruch 1, wobei der Stromeingrenzungsbereich (**15, 55**) eine Öffnung (**20, 60**) in der Nähe des ersten Reflektors (**12, 52**) bildet.
3. Laser (**10, 50**) nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Stromeingrenzungsbereich (**15, 55**) eine dielektrische Schicht umfasst.
4. Laser (**10, 50**) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der Stromeingrenzungsbereich (**15, 55**) ein Halbleitermaterial mit hohem Bandabstand aufweist.
5. Laser (**10, 50**) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Substrat (**11, 14, 51, 54**) Indiumphosphid umfasst.
6. Verfahren zum Herstellen eines Halbleiterlasers (**10, 50**) mit folgenden Schritten:  
Ausbilden eines Substrat (**11, 14, 51, 54**);  
Ausbilden eines ersten Reflektors (**12, 52**) mit einer ersten Reflektivität in dem Substrat (**11, 14, 51, 54**);  
Ausbilden einer Substratanordnung (**11, 13**) durch

Einschließen des ersten Reflektors (**12, 52**) in dem Substrat (**11, 14, 51, 54**);  
Ausbilden eines Stromeingrenzungsbereichs (**15, 55**), der über der Substratanordnung (**13, 53**) liegt;  
Wachsen lassen einer epitaxialen lateralen darüber gewachsenen Schicht (**16, 58**) über dem Stromeingrenzungsbereich (**15, 55**); und  
Ausbilden eines zweiten Reflektors (**22, 62**) über der Substratanordnung (**13, 53**).

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei der Stromeingrenzungsbereich (**15, 55**) eine Öffnung (**20, 60**) in der Nähe des ersten Reflektors (**12, 52**) bildet.

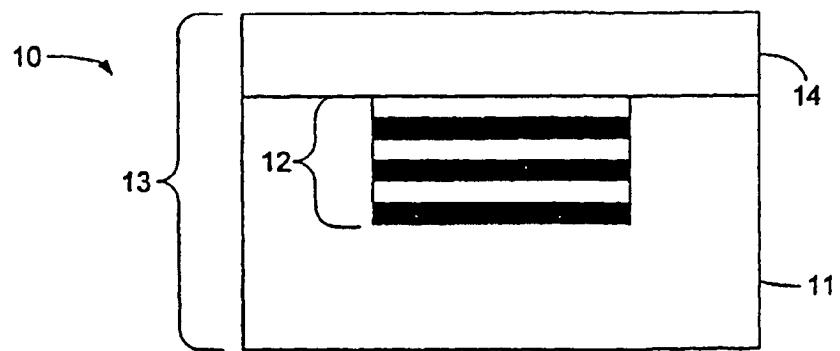
8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, wobei der Stromeingrenzungsbereich (**15, 55**) eine dielektrische Schicht umfasst.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, wobei der Stromeingrenzungsbereich (**15, 55**) ein Halbleitermaterial mit großem Bandabstand aufweist.

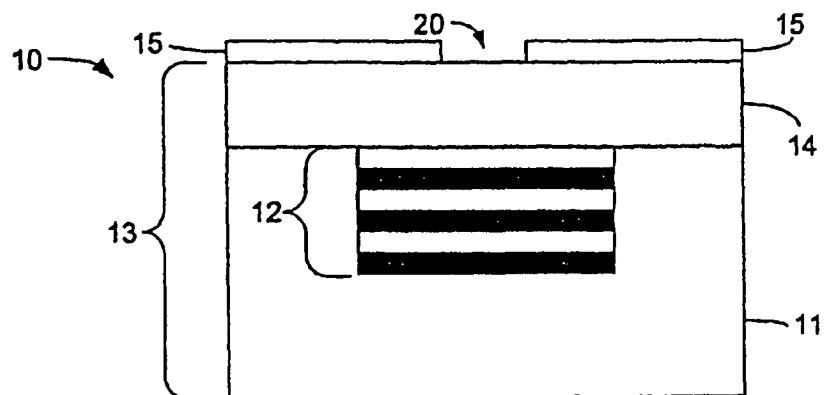
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 9, wobei das Substrat (**11, 14, 51, 54**) Indiumphosphid umfasst.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

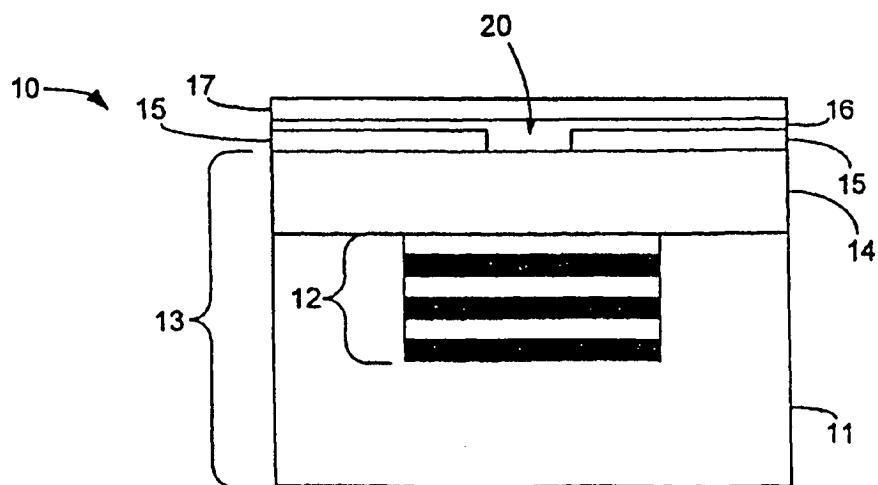
Anhängende Zeichnungen



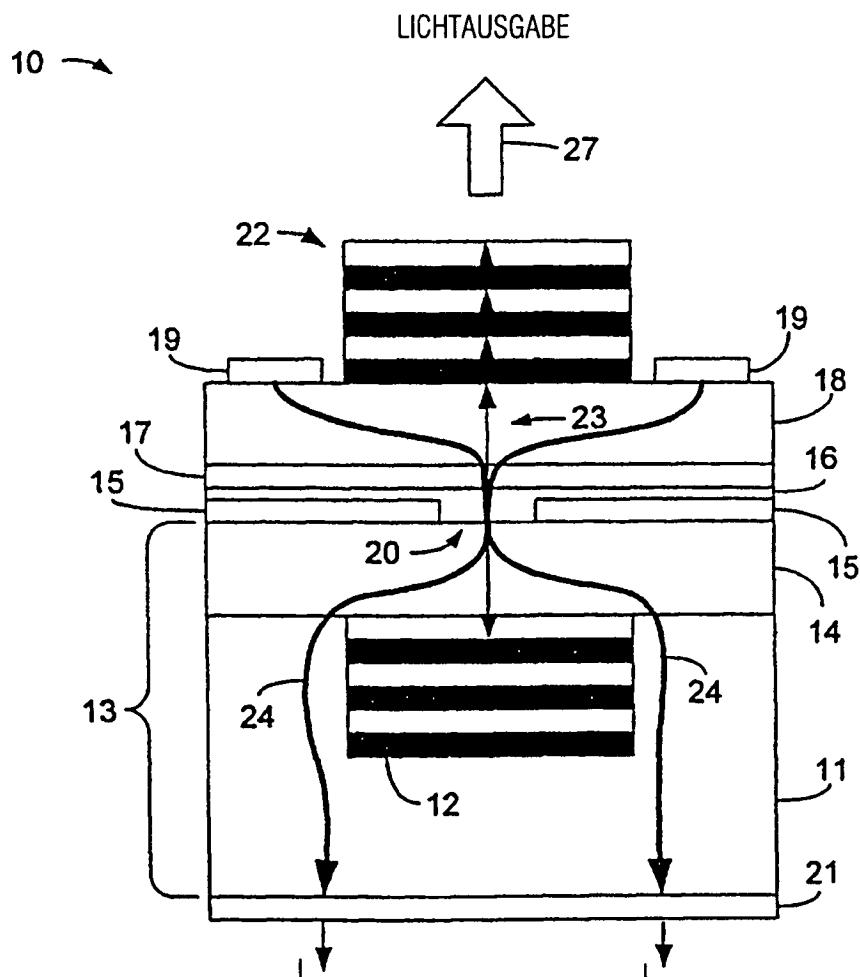
FIGUR 1A



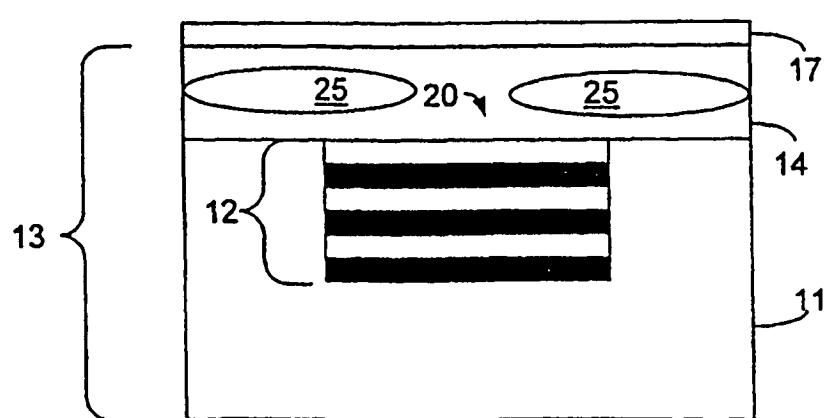
FIGUR 1B



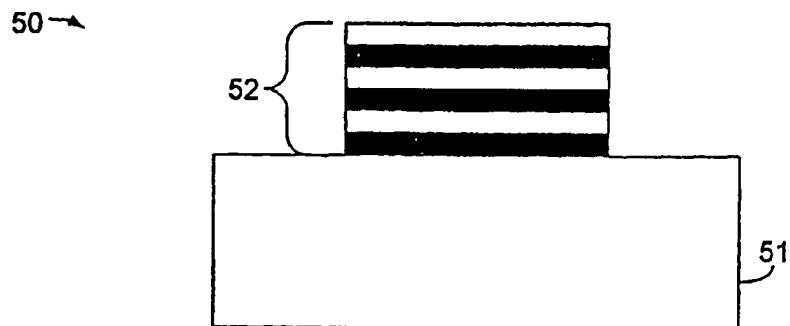
FIGUR 1C



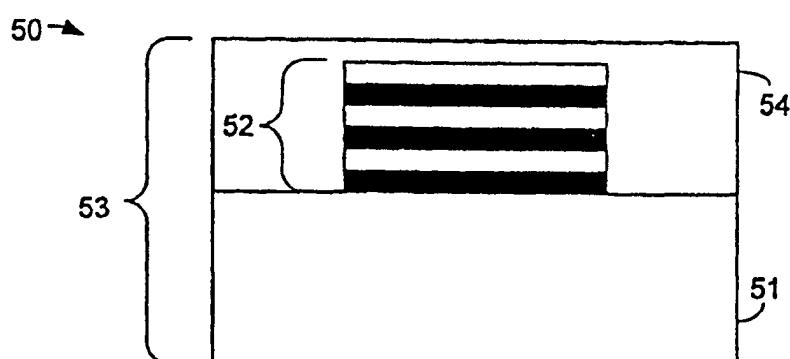
FIGUR 1D



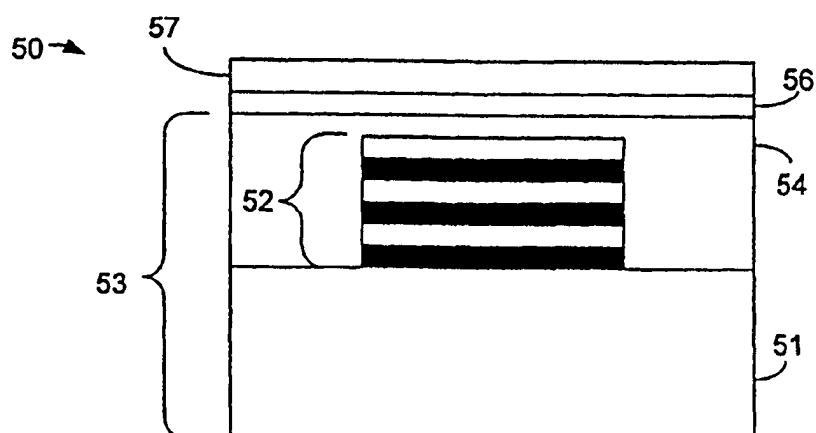
FIGUR 1E



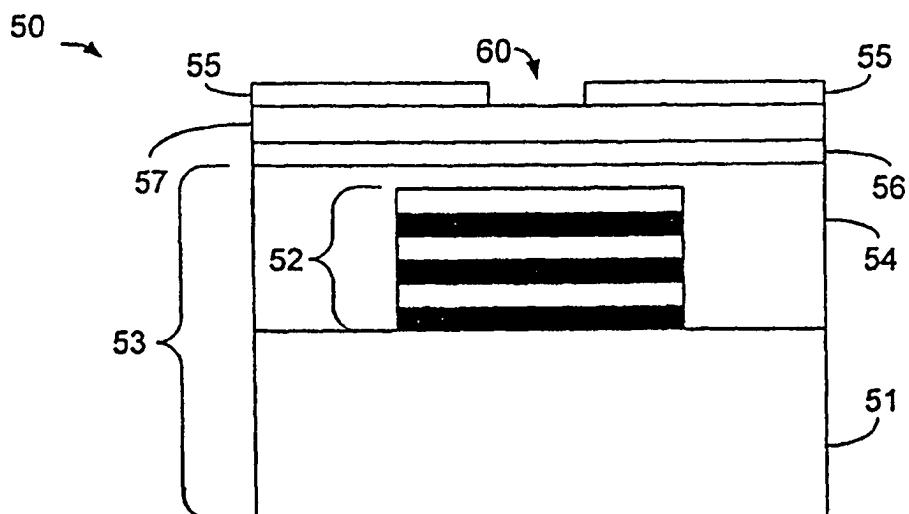
FIGUR 2A



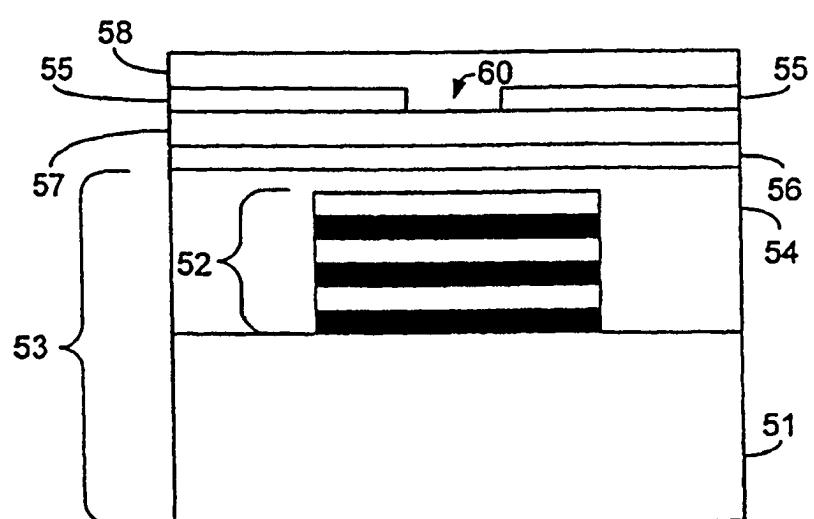
FIGUR 2B



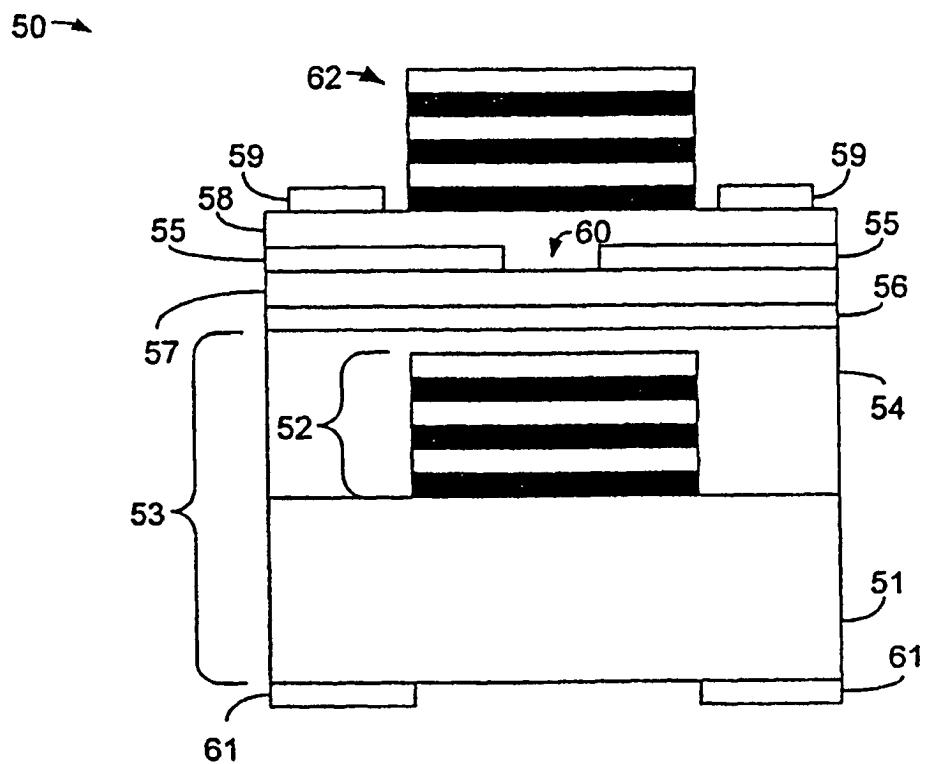
FIGUR 2C



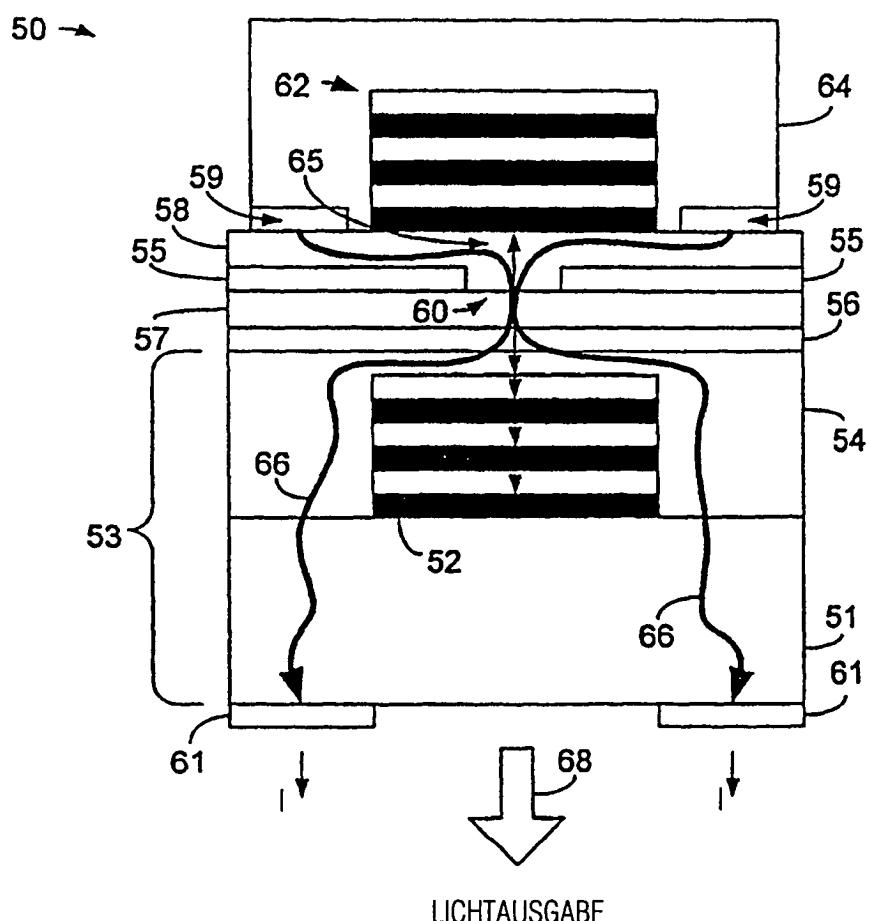
FIGUR 2D



FIGUR 2E



FIGUR 2F



FIGUR 2G