



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 601 18 035 T2** 2006.11.16

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 362 396 B1**

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

(21) Deutsches Aktenzeichen: **601 18 035.6**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US01/49089**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 994 296.0**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2002/060024**

(86) PCT-Anmeldetag: **18.12.2001**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **01.08.2002**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **19.11.2003**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **15.03.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **16.11.2006**

(30) Unionspriorität:

**751422                      29.12.2000                      US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,  
LI, LU, MC, NL, PT, SE, TR**

(73) Patentinhaber:

**Finisar Corp., Sunnyvale, Calif., US**

(72) Erfinder:

**COX, Allen, James, New Brighton, MN 55112, US;  
MORGAN, A., Robert, Plymouth, MN 55447, US**

(74) Vertreter:

**Hoefer & Partner, 81545 München**

(54) Bezeichnung: **RESONANZREFLEKTOR ZUR VERWENDUNG MIT OPTOELEKTRONISCHEN EINRICHTUNGEN**

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****Hintergrund der Erfindung**

**[0001]** Diese Erfindung betrifft das Gebiet der optoelektronischen Vorrichtungen, und genauer Resonanzreflektoren zur Verwendung mit optoelektronischen Vorrichtungen.

**[0002]** Verschiedene Formen von optoelektronischen Vorrichtungen wurden entwickelt und haben weitverbreitete Verwendung gefunden, einschließlich z. B. Halbleiter-Photodioden, Halbleiter-Photodetektoren usw.. Halbleiter-Laser haben weitverbreitet Verwendung in moderner Technologie gefunden, als ausgewählte Lichtquelle für verschiedene Vorrichtungen, z. B. Kommunikationssysteme, Compact Disc Player, usw.. Für viele dieser Anwendungen ist ein Halbleiter-Laser über eine Glasfaserverbindung oder sogar freien Raum mit einem Halbleiter-Detektor (z. B. einer Photodiode) verbunden. Diese Konfiguration bietet einen Hochgeschwindigkeits-Kommunikationspfad, der für viele Anwendungen sehr vorteilhaft sein kann.

**[0003]** Ein typischer Kantenemissions-Halbleiterlaser ist eine doppelte Heterostruktur mit einer Schicht mit einem engen Bandabstand und hohem Brechungsindex, umgeben auf gegenüberliegenden Hauptseiten von Schichten mit einem breiten Bandabstand und niedrigem Brechungsindex, oftmals Mantelschichten genannt. Die Schicht mit geringem Bandabstand wird als die „aktive Schicht“ bezeichnet, und die Mantelschichten dienen dazu, sowohl die Ladungsträger als auch die optische Energie in der aktiven Schicht oder dem aktiven Bereich zu beschränken. Gegenüberliegende Enden der aktiven Schicht weisen Spiegelfacetten auf, welche den Laserhohlraum bilden. Wenn Strom durch die Struktur fließt, verbinden sich Elektronen und Löcher in der aktiven Schicht, um Licht zu erzeugen.

**[0004]** Ein weiterer Typ eines Halbleiterlasers ist ein Oberflächenemissionslaser. Mehrere Typen von Oberflächenemissionslasern wurden entwickelt, einschließlich des Vertikalhohlraum-Oberflächenemissionslasers (VCSEL – Vertical Cavity Surface Emitting Laser). (Siehe z. B. „Surface-emitting microlasers for photonic switching and interchip connections“, Optical Engineering, 29, Seiten 210–214, März 1990, für eine Beschreibung dieses Lasers). Für weitere Beispiele, siehe US-Patent Nr. 5,115,442 von Yong H. Lee u.a., erteilt 19.5.1992, mit dem Titel „Top-emitting Surface Emitting Laser Structures“ und US-Patent Nr. 5,475,701 erteilt am 12.12.1995 an Mary K. Hibbs-Brenner, mit dem Titel „Integrated Laser Power Monitor“. Siehe außerdem „Top-surface-emitting GaAs four-quantum-well lasers emitting at 0,85  $\mu\text{m}$ “, Electronic Letters, 26, Seiten 710–711, 24.5.1990.

**[0005]** Vertikalhohlraum-Oberflächenemissionslaser bieten vielfältige Leistungs- und Potentialherstellbarkeits-Vorteile gegenüber herkömmlichen Kantenemissionslasern. Diese umfassen viele Vorteile in Zusammenhang mit ihrer Geometrie, einschließlich ihrer Zugänglichkeit für ein- und zweidimensionale Arrays, Qualifikation von Wafer-Niveau und erwünschte Strahleneigenschaften, typischerweise kreisförmige symmetrische Niederdivergenz-Strahlen.

**[0006]** VCSELs haben typischerweise einen aktiven Bereich mit einem Volumenmaterial (bulk) oder einer oder mehreren Quantentopfschichten. Auf gegenüberliegenden Seiten des aktiven Bereichs sind Spiegelstapel, oft durch verzahnte Halbleiterschichten gebildet, die jeweils an der gewünschten Betriebswellenlänge (im Medium) eine viertel Wellenlänge dick sind. Die Spiegelstapel haben typischerweise entgegengesetzte Leitfähigkeit auf beiden Seiten des aktiven Bereichs, und der Laser wird typischerweise durch Verändern des Stroms durch die Spiegelstapel und den aktiven Bereich ein- und ausgeschaltet.

**[0007]** VCSELs mit hohem Ertrag und hoher Leistung wurden vorgeführt und vermarktet. Oberflächenemittierende VCSELs auf AlGaAs-Basis können auf eine Weise analog zu integrierten Halbleiterschaltungen hergestellt werden, und sind einer Herstellung mit geringen Kosten und hohem Ausstoß und Integration mit existierenden Elektroniktechnologieplattformen zugänglich. Weiterhin wurde die Einheitlichkeit und Reproduzierbarkeit von VCSELs unter Verwendung einer genormten, unmodifizierten, im Handel erhältlichen, metallischen organischen Dampfphasenepitaxie-Kammer (MOVPE) und Molekularstrahlepitaxie (MBE) mit sehr hoher Geräteausbeute dargestellt. Es wird erwartet, dass VCSELs einen Leistungs- und Kostenvorteil in schnellen (z. B. Gbit/s) Einzel- oder Multikanal-Datenverbindungsanwendungen mittlerer Distanzen (z. B. bis ca. 1000 Meter) und vielen optischen und/oder bildgebenden Anwendungen bieten. Dies resultiert aus ihrer inhärenten Geometrie, welche potentiell günstige Hochleistungstransmitter mit flexiblen und wünschenswerten Eigenschaften bereitstellt.

**[0008]** Ein verwandter Photodetektor ist als Resonanzhohlraum-Photodetektor (RCPD) bekannt. Resonanzhohlraum-Photodetektoren sind typischerweise ähnlich wie VCSELs aufgebaut, arbeiten aber in einem umgekehrten Vorspannungsmodus. Ein Resonanzhohlraum-Photodetektor kann effizienter als eine herkömmliche Photodiode sein, da das Licht, das durch einen der Spiegel in den optischen Hohlraum eintritt, wirksam viele Male durch den aktiven Bereich reflektiert werden kann. Das Licht kann somit zwischen den Spiegelstapeln reflektiert werden, bis das Licht entweder vom aktiven Bereich absorbiert wird oder es durch einen der Spiegelstapel entweicht.

Da die Spiegelstapel typischerweise nahe der Resonanz stark reflektierend sind, wird das meiste Licht, das in den Hohlraum eintritt, vom aktiven Bereich absorbiert.

**[0009]** Bei vielen optoelektronischen Vorrichtungen, welche einen Resonanzhohlraum aufweisen, sind die oberen und/oder unteren Spiegelstapel Spiegel vom Typ Distributed Bragg Reflector (DBR). DBR-Spiegel umfassen typischerweise eine Anzahl von abwechselnden Schichten eines Halbleitermaterials, wie AlGaAs und AlAs. Oft umfassen sowohl die oberen als auch die unteren Spiegelstapel eine bedeutsame Anzahl von DBR-Spiegelperioden, um den erwünschten Reflexionsgrad zu erzielen. Ein Weg, die Anzahl der erforderlichen DBR-Spiegelperioden zu verringern ist es, einige der DBR-Spiegelperioden durch einen Resonanzreflektor zu ersetzen. Ein typischer Resonanzreflektor kann u. a. einen Wellenleiter und ein Gitter umfassen.

**[0010]** Trotz der Vorteile der Verwendung eines Resonanzreflektors in Verbindung mit einem DBR-Spiegelstapel wurde herausgefunden, dass der Reflexionsgrad des Resonanzreflektors beschränkt werden kann, wenn er nicht richtig zu den angrenzenden leitenden Schichten isoliert ist. Zu viel Energie im geführten Modus im Wellenleiter geht in die verlustreichen, leitenden DBR-Schichten der optoelektronischen Vorrichtung über. Was deshalb wünschenswert wäre, ist eine optoelektronische Vorrichtung, welche eine Isolierung zwischen dem Resonanzreflektor und angrenzenden leitenden Schichten der optoelektronischen Vorrichtung bietet.

**[0011]** Die US-A-6055262 offenbart einen VCSEL mit einem Resonanzreflektor, der mit einem DBR kombiniert ist.

**[0012]** Die vorliegende Erfindung überwindet viele der Nachteile des Standes der Technik durch Vorsehen einer optoelektronischen Vorrichtung, welche eine Isolierung zwischen einem Resonanzreflektor und einer angrenzenden leitenden Schicht der optoelektronischen Vorrichtung bietet.

**[0013]** Gemäß der vorliegenden Erfindung wird eine optoelektronische Vorrichtung bereitgestellt, umfassend:

einen oberen Spiegel und einen unteren Spiegel, wobei der obere Spiegel und der untere Spiegel zumindest teilweise leitend sind;  
einen Resonanzreflektor, der angrenzend an einen ausgewählten der oberen oder unteren Spiegel angeordnet ist, wobei der Resonanzreflektor einen Wellenleiter und ein Gitter umfasst, die so ausgelegt sind, dass ein Wellenvektor erster Beugungsordnung des Gitters im Wesentlichen einem Verbreitungsmodus des Wellenleiters entspricht, gekennzeichnet durch eine Mantel- oder Pufferschicht, die zwischen dem

Resonanzreflektor und dem ausgewählten oberen oder unteren Spiegel angeordnet ist, wobei die Mantel- oder Pufferschicht ausreichend dick ist oder einen ausreichend niedrigen Brechungsindex in Bezug auf den Brechungsindex des Wellenleiters aufweist, um im Wesentlichen zu verhindern, dass Energie des evaneszenten Teils des geführten Modus in dem Wellenleiter in den ausgewählten oberen oder unteren Spiegel eintritt.

**[0014]** Gemäß der vorliegenden Erfindung wird weiter ein monolithischer Transceiver mit einer Licht ausgebenden Vorrichtung und einer Licht empfangenden Vorrichtung bereitgestellt, umfassend:

einen unteren Spiegel auf einem Substrat, wobei der untere Spiegel zumindest teilweise leitend ist;  
einen aktiven Bereich auf dem unteren Spiegel;  
einen oberen Spiegel auf dem aktiven Bereich, wobei der obere Spiegel zumindest teilweise leitend ist;  
einen Wellenleiter;

eine Gitterschicht mit einer ersten geätzten Gitterstruktur über dem Wellenleiter, wobei der Wellenleiter und das Gitter so ausgelegt sind, dass ein Wellenvektor erster Beugungsordnung des Gitters im Wesentlichen einem Verbreitungsmodus des Wellenleiters entspricht, gekennzeichnet durch:

eine Mantel- oder Pufferschicht, die zwischen dem Wellenleiter und dem oberen Spiegel angeordnet ist, wobei die Mantel- oder Pufferschicht nicht-leitend ist, wobei die Mantel- oder Pufferschicht ausreichend dick ist oder einen ausreichend niedrigen Brechungsindex in Bezug auf den Brechungsindex des Wellenleiters aufweist, um im Wesentlichen zu verhindern, dass Energie des evaneszenten Teils des geführten Modus in dem Wellenleiter in den oberen Spiegel eintritt.

**[0015]** Gemäß der vorliegenden Erfindung wird weiter eine Vorrichtung bereitgestellt, umfassend:

ein erstes Substrat mit einer Vorderseite und einer Rückseite, wobei zumindest ein Teil einer optoelektronischen Vorrichtung auf der Vorderseite ausgebildet ist;

ein zweites Substrat mit einer Vorderseite und einer Rückseite mit einem Resonanzreflektor, der einen Wellenleiter und ein Gitter aufweist, die auf der Vorderseite ausgebildet sind, gekennzeichnet durch:

die Vorderseite des ersten Substrats ist mittels eines optischen Epoxydharzes, das ausreichend dick ist oder einen ausreichend niedrigen Brechungsindex in Bezug auf den Brechungsindex des Resonanzreflektor-Wellenleiters aufweist, mit der Vorderseite des zweiten Substrats verbunden, um im Wesentlichen zu verhindern, dass Energie eines evaneszenten Teils eines geführten Modus in dem Wellenleiter in das erste Substrat eintritt.

**[0016]** Gemäß der vorliegenden Erfindung wird weiter ein Verfahren zum Bilden einer optoelektronischen Vorrichtung bereitgestellt, umfassend:

Vorsehen eines unteren Spiegels auf einem Substrat, wobei der untere Spiegel zumindest teilweise leitend ist;

Vorsehen eines aktiven Bereichs über dem unteren Spiegel;

Vorsehen eines oberen Spiegels über dem aktiven Bereich, wobei der obere Spiegel zumindest teilweise leitend ist;

Vorsehen eines Wellenleiters und eines Gitters über der Mantel- oder Pufferschicht, wobei der Wellenleiter und das Gitter so ausgelegt sind, dass ein Wellenvektor erster Beugungsordnung des Gitters im Wesentlichen einem Verbreitungsmodus des Wellenleiters entspricht; gekennzeichnet durch:

Vorsehen einer Mantel- oder Pufferschicht über dem oberen Spiegel, wobei die Mantel- oder Pufferschicht nicht-leitend ist, wobei die Mantel- oder Pufferschicht ausreichend dick ist oder einen ausreichend niedrigen Brechungsindex in Bezug auf den Brechungsindex des Wellenleiters aufweist, um im Wesentlichen zu verhindern, dass Energie des evaneszenten Teils des geführten Modus in dem Wellenleiter in den oberen Spiegel eintritt.

**[0017]** Weitere Ziele der vorliegenden Erfindung und viele der vorhandenen Vorteile der vorliegenden Erfindung wird man zu schätzen wissen, wenn diese unter Bezugnahme auf die beigefügte genaue Beschreibung besser verständlich werden, wenn man sie in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen berücksichtigt, in welchen gleiche Bezugszeichen gleiche Teile in allen Figuren bezeichnen und in denen:

**[0018]** [Fig. 1](#) ein schematisches Diagramm eines ebenen, stromgeführten GaAs/AlGaAs oberflächenemittierenden Vertikalhohlraumlasers gemäß dem Stand der Technik ist;

**[0019]** [Fig. 2](#) eine schematische Querschnitts-Seitenansicht eines ebenen, stromgeführten GaAs/AlGaAs oberflächenemittierenden Vertikalhohlraumlasers mit einem erläuternden Resonanzreflektor ist;

**[0020]** [Fig. 3](#) eine Kurve ist, welche das Reflexionsvermögen gegenüber der Wellenlänge des Resonanzreflektors der [Fig. 2](#) zeigt, sowohl mit einer nicht-leitenden ( $k = 0$ ) Wellenleiterschicht als auch einer gering leitenden ( $k = 10^{-5}$ ) Wellenleiterschicht;

**[0021]** [Fig. 4](#) eine Kurve ist, welche das Reflexionsvermögen gegenüber der Wellenlänge eines vollständig nichtleitenden ( $k = 0$ ) Resonanzreflektors zeigt, der an einen oberen Spiegel angrenzt, der ebenfalls nicht-leitend ist ( $k = 0$ );

**[0022]** [Fig. 5](#) das Reflexionsvermögen gegenüber der Wellenlänge eines vollständig nicht-leitenden Resonanzreflektors zeigt, der an einen oberen Spiegel angrenzt, der geringfügig leitend ist ( $k = 10^{-5}$ );

**[0023]** [Fig. 6](#) eine schematische Querschnitts-Seitenansicht eines ebenen, stromgeführten GaAs/AlGaAs oberflächenemittierenden Vertikalhohlraumlasers ist, der eine Mantel- oder Pufferschicht aufweist, die zwischen der Wellenleiterschicht des Resonanzreflektors und dem oberen DBR-Spiegel angeordnet ist;

**[0024]** [Fig. 7](#) eine Kurve ist, welche das Reflexionsvermögen gegenüber der Wellenlänge des Resonanzreflektors der [Fig. 6](#) zeigt, wenn die oberen Schichten des oberen DBR-Spiegels **86** nicht-leitend sind ( $k = 0$ );

**[0025]** [Fig. 8](#) eine Kurve ist, welche das Reflexionsvermögen gegenüber der Wellenlänge des Resonanzreflektors der [Fig. 6](#) zeigt, wenn die oberen Schichten des oberen DBR-Spiegels **86** geringfügig leitend sind ( $k = 10^{-5}$ );

**[0026]** [Fig. 9](#) eine schematische Querschnitts-Seitenansicht eines oberflächenemittierenden Vertikalhohlraumlasers zeigt, der ähnlich zu dem in [Fig. 6](#) gezeigten ist, aber einen modifizierten Gitterfüllfaktor aufweist;

**[0027]** [Fig. 10](#) eine schematische Querschnitts-Seitenansicht eines oberflächenemittierenden Vertikalhohlraumlasers zeigt, der ähnlich zu dem in [Fig. 6](#) gezeigten ist, aber eine Gitterfolie aufweist, die eine bestimmte Ätztiefe aufweist;

**[0028]** [Fig. 11](#) eine schematische Querschnittsansicht eines Vertikalhohlraum-Oberflächenemissionslasers ist, der durch Verkleben eines Resonanzreflektors, der auf einem ersten Substrat hergestellt wurde, mit dem oberen Spiegel des Vertikalhohlraum-Oberflächenemissionslasers, der auf einem zweiten Substrat hergestellt wurde, geformt wird;

**[0029]** [Fig. 12](#) eine schematische Querschnitts-Seitenansicht des Vertikalhohlraum-Oberflächenemissionslasers der [Fig. 11](#) ist, wobei eine Mikrolinse, die auf der Rückseite des Substrats positioniert ist, auf dem der Resonanzreflektor ausgebildet wurde; und

**[0030]** [Fig. 13](#) eine schematische Querschnitts-Seitenansicht eines beispielhaften monolithischen Substrats mit einem RCPD, einem VCSEL und einem MSM ist.

Ausführliche Beschreibung der bevorzugten Ausführungsbeispiele

**[0031]** [Fig. 1](#) ist eine schematische Darstellung eines ebenen, stromgeführten GaAs/AlGaAs oberflächenemittierenden Vertikalhohlraumlasers **10** gemäß dem Stand der Technik. Auf einem n-gedopten Galliumarsenid(GaAs)-Substrat **14** ist ein n-Kontakt **12** ausgebildet. Das Substrat **14** ist mit Fremdatomen ei-

nes ersten Typs (d. h. n-Typ) dotiert. Auf dem Substrat **14** ist ein n-Typ-Spiegelstapel **16** ausgebildet. Auf dem Stapel **16** ist ein Abstandshalter **18** ausgebildet. Der Abstandshalter **18** weist eine untere Begrenzungsschicht **20** und eine obere Begrenzungsschicht **24**, welche den aktiven Bereich **22** umgibt, auf. Ein p-Typ-Spiegelstapel **26** ist auf der oberen Begrenzungsschicht **24** ausgebildet. Eine p-Metallschicht **28** ist auf dem Stapel **26** ausgebildet. Der Emissionsbereich kann eine Passivierungsschicht **30** aufweisen.

**[0032]** Ein Isolationsbereich **29** begrenzt den Bereich des Stromflusses **27** durch den aktiven Bereich. Der Bereich **29** kann durch tiefe H<sup>+</sup>-Ionenimplantation gebildet sein. Während ein tiefes H<sup>+</sup>-Implantat als Beispiel vorgesehen ist, wird erwogen, dass jede Art von Strom- und Feldbeschränkung verwendet werden kann, einschließlich z. B. verstärkungsgeführte Oxidbeschränkung oder jedes andere Mittel. Der Durchmesser „g“ kann so festgelegt sein, um den gewünschten aktiven Bereich bereitzustellen, und somit die Verstärkungsapertur des VCSELs **10**. Ferner kann der Durchmesser „g“ durch den gewünschten Widerstand des p-Typ-Spiegelstapels **26** festgelegt sein, insbesondere durch den nicht-leitenden Bereich **29**. Somit führt der nicht-leitende Bereich **29** die Verstärkungsführungsfunktion durch. Der Durchmesser „g“ ist typischerweise durch Herstellungseinschränkungen beschränkt, wie seitliche Streuung während des Implantationsschritts.

**[0033]** Der Abstandshalter **18** kann einen Volumenmaterial- oder Quantentopf-Aktivbereich enthalten, der zwischen den Spiegelstapeln **16** und **26** angeordnet ist. Der Quantentopf-Aktivbereich **22** kann abwechselnde Schichten aus Aluminium-Galliumarsenid (AlGaAs) Grenzschichten und GaAs-Quantentopfschichten aufweisen. InGaAs-Quantentöpfe können auch im aktiven Bereich verwendet werden, insbesondere wenn eine Emissionswellenlänge (z. B.  $\lambda = 980$  nm) gewünscht ist, bei der GaAs transparent ist. Die Stapel **16** und **16** sind Stapel vom Typ Distributed Bragg Reflector (DBR) und können periodische Schichten aus dotiertem AlGaAs und Aluminiumarsenid (AlAs) umfassen. Das AlGaAs des Stapels **16** ist mit dem gleichen Typ von Fremdatom wie das Substrat **14** dotiert (z. B. n-Typ), und das AlGaAs des Stapels **26** ist mit der anderen Art von Fremdatom dotiert (z. B. p-Typ).

**[0034]** Metallkontaktschichten **12** und **28** sind Ohmsche Kontakte, welche eine geeignete elektrische Vorspannung der Laserdiode **10** ermöglichen. Wenn die Laserdiode **10** mit einer positiveren Spannung am Kontakt **28** als am Kontakt **12** vorgespannt ist, gibt der aktive Bereich **22** Licht **31** aus, welches durch den Stapel **26** verläuft.

**[0035]** Ein typischer infrarotnaher VCSEL erfordert ein hohes Reflexionsvermögen (> 99%). Somit benö-

tigt ein vollständiger Halbleiter-DBR typischerweise 20 bis 40 Spiegelperioden mit einer Dicke von 2 bis 4  $\mu\text{m}$ . Die Epistruktur, die für einen kompletten VCSEL erforderlich ist, einschließlich der beiden oberen und unteren DBR-Spiegel, welche einen aktiven Abstandsbereich umgeben, umfasst also als solche mehr als 200 Schichten mit einer Dicke von mehr als 7 bis 8  $\mu\text{m}$ .

**[0036]** Wie im US-Patent Nr. 6 055 262 mit dem Titel „Resonant Reflector for Improved Optoelectronic Device Performance and Enhanced Applicability“ diskutiert, kann eine Hybrid-Spiegelstruktur verwendet werden, um die Gesamtspiegeldicke zu verringern. **Fig. 2** ist eine schematische Querschnitts-Seitenansicht eines ebenen, stromgeführten, GaAs/AlGaAs oberflächenemittierenden Vertikalhohlraumlasers mit einem hybriden oberen Spiegel, umfassend einen Resonanzreflektor **52** und einen Distributed Bragg-Reflektor **56**. Diese Vorrichtung kombiniert die anormalen Filtereigenschaften der Resonanz der geführten Moden in einem dielektrischen Wellenleitergitter mit den Reflexionseigenschaften eines herkömmlichen DBR-Spiegels.

**[0037]** Die hybride Spiegelstruktur umfasst z. B. einen Resonanzreflektor **52** und einen DBR-Spiegel **56**. Auch wenn es nicht ausdrücklich gezeigt ist, wird erwogen, dass der untere Spiegel auch eine Resonanzreflektorstruktur umfassen kann, falls erwünscht. Es ist bekannt, dass ein dielektrischer Resonanzreflektor **52** bei Resonanz sehr stark reflektiert, und bei der gleichen Wellenlänge stärker reflektierend sein kann als ein entsprechender Spiegel vom DBR-Typ. Somit wird durch die Verwendung eines Hybridansatzes erwogen, dass die Anzahl der DBR-Spiegelperioden, die für ein gegebenes Reflexionsvermögen erforderlich ist, verringert werden kann.

**[0038]** Es ist bekannt, dass seitliche Streueffekte während der Ionenimplantation des Verstärkungsbereichs **62** durch die DBR-Spiegel häufig die seitliche Abmessung **64** des aktiven Bereichs auf  $\geq 10$   $\mu\text{m}$  begrenzt. Dies beeinträchtigt direkt den minimal erzielbaren Schwellenstrom, den Einmode-Betrieb und indirekt die Geschwindigkeit des VCSELs. Durch Integrieren eines Resonanzreflektors in den oberen Spiegel können gleiche oder bessere Reflexionseigenschaften in einer Struktur erzielt werden, die fünf- bis zehnmal dünner ist. Dies kann in ein Ionenimplantat übertragen werden, das besser steuerbar ist, was das Volumen des aktiven Bereichs verringern kann. Ein kleinerer aktiver Bereich kann den Betriebsstrom und die Leistung der Vorrichtung verringern, die Ebenheit und somit die monolithische Integrierbarkeit des VCSELs mit Elektronik und Smart-Pixeln verbessern, und kann eine steuerbare Einmode- und Einzelpolarisationsemission mit verbesserter Modensteuerung bereitstellen.

**[0039]** Es ist anerkannt, dass der Hybridansatz der [Fig. 2](#) mit alternativ bestehenden Verstärkungstechniken kompatibel ist, einschließlich geätzter Säulen (mit oder ohne Planartechnik und/oder Nachwachsen), seitlicher Oxidation, ausgewähltem Wachstum usw.. Durch Verringern der Gesamtdicke der VCSEL-Spiegel, kann der Resonanzreflektor die Verarbeitbarkeit und Leistung der wechselnden Stromführungsansätze verbessern. Während Ionenimplantation als ein Beispiel bereitgestellt wird, wird erwogen, dass jede Art von Strom- und Feldbeschränkung verwendet werden kann, einschließlich z. B. verstärkungsgeführte Oxidbeschränkung oder jedes andere Mittel.

**[0040]** Der Resonanzreflektor **52** der [Fig. 2](#) umfasst eine dreischichtige Wellenleitergitterstruktur, die zur Verwendung in einem infrarotnahen VCSEL geeignet ist. Der dreischichtige Stapel kann so ausgelegt sein, dass er sowohl als eine Antireflexions-Beschichtung (AR) nahe der Emissionswellenlänge für das Substrat der VCSEL-Struktur und unabhängig als ein Führungsmodus-Resonanzreflektor-Wellenleitergitter dienen kann. Die drei Schichten des Resonanzreflektors **52** können einen nichtreflektierenden Bereich bilden, der wenig Reflexionsvermögen für zumindest einen vorbestimmten Bereich von Wellenlängen, einschließlich einer Resonanzwellenlänge, bietet. Die bei **52** gezeigte Gitter-Mehrschicht-Wellenleiterstruktur verursacht, dass die Struktur im Wesentlichen stärker reflektierend wird, zumindest bei der Resonanzwellenlänge.

**[0041]** Alternativ kann der dreischichtige Stapel **52** so ausgelegt sein, dass er sowohl als eine stark reflektierende Beschichtung für das Substrat der VCSEL-Struktur und unabhängig als ein Führungsmodus-Resonanzreflektor-Wellenleitergitter dient. In diesem Ausführungsbeispiel bildet die dreischichtige Struktur **52** einen hochreflektierenden Spiegelbereich, der ein Reflexionsvermögen für zumindest einen vorbestimmten Bereich der Wellenlängen, einschließlich einer Resonanzwellenlänge (z. B. nahe 980 nm) bereitstellt. Das gesamte Reflexionsvermögen des oberen Spiegels, einschließlich der Schichten **66** und **68**, kann geringer sein als für das Lasern erforderlich. Dies kann z. B. durch Verringern der Anzahl der Spiegelperioden in dem oberen DBR-Spiegel **56** erreicht werden. Die Gitterschicht **58** verursacht, dass die Führungsmodus-Resonanzreflektorstruktur **52** wenigstens nahe der Resonanzwellenlänge wesentlich stärker reflektierend wird. In jedem Fall kann die Anzahl der DBR-Spiegelschichten unter dem Resonanzreflektor **52** in Bezug auf die herkömmliche VCSEL-Konstruktion, die in [Fig. 1](#) gezeigt ist, verringert werden.

**[0042]** Die Resonanz wird im Resonanzreflektor **52** durch Abgleichen des Wellenvektors erster Beugungsordnung des Gitters **58** mit dem Verbreitungs-

modus des Wellenleiters **66** erreicht. Da Letzterer von der Polarisierung abhängt, ist das Reflexionsvermögen inhärent polarisationsselektiv. Die Resonanzwellenlänge wird hauptsächlich durch die Gitterperiode **60** bestimmt, und die Bandbreite wird hauptsächlich durch die Modulation des Brechungsindex und des Füllfaktors des Gitters **58** bestimmt.

**[0043]** [Fig. 3](#) ist eine Kurve, welche die Kurven des Reflexionsvermögens für einen Resonanzreflektor zeigt, unter der Annahme von zwei Werten für die imaginäre Komponente des Brechungsindex ( $k = 0$  und  $10^{-5}$ ) in einer beliebigen Schicht der Wellenleitergitterstruktur, und  $k = 0$  in den anderen beiden Schichten. In diesem Beispiel sind die obere Schicht, die mittlere Schicht und die untere Schicht aus Indium-Zinnoxid (ITO), GaAs bzw. AlGaAs gebildet. Die Brechungsindizes für die obere, mittlere und untere Schicht sind 1,96, 3,5 bzw. 3,24, und die Dicken der oberen, mittleren und unteren Schicht sind vorzugsweise  $\lambda/4$ ,  $3\lambda/4$  bzw.  $\lambda/4$ . Für diese Messung werden die Schichten auf einem Substrat mit einem effektiven Brechungsindex von 3,2 angeordnet. Diese Struktur wird angeregt, eine quer elektrische (TE) Modenresonanz (mit einer Polarisierung parallel zum Gitter), keine senkrechte Resonanz und eine niedrige Ausgangs-Resonanzreflexion nahe  $10^{-6}$  zu haben.

**[0044]** Die imaginäre Komponente „ $k$ “ des Brechungsindex bezieht sich auf die optische Absorption und elektrische Leitfähigkeit des Resonanzreflektors. Der Fall  $k = 10^{-5}$ , der ungefähr der minimalen Leitfähigkeit entspricht, die erforderlich ist, um Strom durch den Resonanzreflektor einzuleiten, erzeugt etwa 5 % Absorption. Die gleichen drei Schichten, alle mit  $k = 0$ , was auf einen dielektrischen Resonanzreflektor hinweist, erzeugen theoretisch eine 100%ige Reflexion.

**[0045]** Diese Kurve illustriert die extreme Empfindlichkeit des Resonanzreflektors **52** hinsichtlich Absorption, oder allgemeiner gesagt, hinsichtlich Verlust jeder Art. Um somit das vom Resonanzreflektor bereitgestellte Reflexionsvermögen zu maximieren, sollte die Absorption (z. B.  $k = 0$ ) jeder der Schichten **58**, **66** und **68** nahe Null sein. Das bedeutet, dass die Leitfähigkeit des Resonanzreflektors ebenfalls Null sein sollte (z. B. nicht-leitend).

**[0046]** Trotz der Vorteile der Verwendung eines Resonanzreflektors in Verbindung mit einem DBR-Spiegelstapel wurde herausgefunden, dass das Reflexionsvermögen des Resonanzreflektors begrenzt sein kann, wenn er nicht in geeigneter Weise vom DBR-Spiegelstapel isoliert ist. [Fig. 4](#) ist eine Kurve, welche das Reflexionsvermögen gegenüber der Wellenlänge eines insgesamt nichtleitenden ( $k = 0$ ) Resonanzreflektors zeigt, der angrenzend an einen oberen Spiegel angeordnet ist, der ebenfalls nichtleitend ist ( $k = 0$ ). Die Reflexionskurve hat eine schmale



Bandbreite und erreicht ungefähr 100 % Reflexionsvermögen bei der Resonanzwellenlänge. Im Gegensatz dazu zeigt [Fig. 5](#) das Reflexionsvermögen gegenüber der Wellenlänge eines insgesamt nichtleitenden Resonanzreflektors, der angrenzend an einen oberen Spiegel angeordnet ist, der geringfügig leitend ist ( $k = 10^{-5}$ ). Wie man sieht, verschlechtert sich die Leistung des Resonanzreflektors deutlich bei einem angrenzenden oberen Spiegel, der geringfügig leitend ist. Zu viel Energie im geführten Modus in dem Wellenleiter geht über in die verlustreichen, leitenden DBR-Filme der optoelektronischen Vorrichtung.

**[0047]** Um diese und andere Schwierigkeiten zu überwinden, zieht die vorliegende Erfindung in Erwägung, den Resonanzreflektor von den angrenzenden leitenden Schichten zu isolieren. Die Isolierung wird vorzugsweise durch Vorsehen einer nicht-leitenden (z. B. dielektrischen) Puffer- oder Mantelschicht zwischen dem Resonanzreflektor und der angrenzenden leitenden Schicht der optoelektronischen Vorrichtung erreicht. Die nicht-leitende Mantel- oder Pufferschicht ist vorzugsweise ausreichend dick und/oder weist einen ausreichend niedrigen Brechungsindex in Bezug auf den Brechungsindex des Wellenleiters des Resonanzreflektors auf, um im Wesentlichen zu verhindern, dass Energie im evaneszenten Teil des geführten Modus in dem Wellenleiter in die angrenzende leitende Schicht der optoelektronischen Vorrichtung eintritt. In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel ist der Wellenleiter aus einem Nichtleiter gebildet, der einen Brechungsindex aufweist, der höher ist als der Brechungsindex der Puffer- oder Mantelschicht, und auch höher als der durchschnittliche Brechungsindex des Gitters. Die Dicke des Wellenleiters hängt vorzugsweise von der Brechungsindexdifferenz zwischen dem Wellenleiter und der Puffer- oder Mantelschicht ab.

**[0048]** [Fig. 6](#) ist eine schematische Querschnitts-Seitenansicht eines ebenen, stromgeführten GaAs/AlGaAs oberflächenemittierenden Vertikalhohlraumlasers mit einer Mantel- oder Pufferschicht **80**, die zwischen der Wellenleiterschicht **82** des Resonanzreflektors **84** und dem oberen DBR-Spiegel **86** angeordnet ist. Wie oben angedeutet, ist die Mantel- oder Pufferschicht **80** vorzugsweise ausreichend dick und/oder weist einen ausreichend niedrigen Brechungsindex in Bezug auf den Brechungsindex des Wellenleiters des Resonanzreflektors auf, um im Wesentlichen zu verhindern, dass Energie in dem evaneszenten Teil des geführten Modus in dem Wellenleiter in eine angrenzende leitende Schicht der optoelektronischen Vorrichtung eintritt.

**[0049]** In dem dargestellten Ausführungsbeispiel ist die Gitterschicht **90** SiO<sub>2</sub> mit einem Brechungsindex von ungefähr 1,484 und einer Dicke von 0,340 µm. Die Wellenleiterschicht **82** kann GaAs mit einem Bre-

chungsindex von 3,532 und einer Dicke von 0,280 µm sein. Alternativ kann der Wellenleiter eine Dreifach-Verbindung, wie z. B. Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As sein, wobei x nahe 1 ist, oder ein Nichtleiter mit hohem Brechungsindex, wie z. B. TiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>, HfO<sub>2</sub> oder Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>. Die Dicke des Wellenleiters hängt vorzugsweise von der Brechungsindexdifferenz zwischen dem Wellenleiter und der Puffer- oder Mantelschicht ab. Die Mantel- oder Pufferschicht **80** in dem dargestellten Ausführungsbeispiel ist AlO, mit einem Brechungsindex von 1,6 und einer Dicke von 0,766 µm. Schließlich kann die obere DBR-Spiegelschicht **92** AlGaAs mit einem Brechungsindex von 3,418 und einer Dicke von 0,072 µm sein. In diesem Ausführungsbeispiel hat die Mantel- oder Pufferschicht **80** eine vergrößerte Dicke und einen verringerten Brechungsindex in Bezug auf das in [Fig. 2](#) gezeigte Ausführungsbeispiel, wobei beides dabei hilft, zu verhindern, dass Energie im evaneszenten Teil des geführten Modus in der Wellenleiterschicht **82** in die obere DBR-Spiegelschicht **92** eintritt. Es wird jedoch erwogen, dass ähnliche Ergebnisse erzielt werden können, indem man entweder die Dicke vergrößert oder den Brechungsindex der Mantel- oder Pufferschicht **80** verringert, falls gewünscht.

**[0050]** Wie oben angedeutet, kann die Mantel- oder Pufferschicht **80** AlO sein, was einen relativ niedrigen Brechungsindex aufweist. In einem Verfahren kann dies erreicht werden, indem zu Beginn die Mantel- oder Pufferschicht **80** mit AlGaAs gebildet wird, mit einer relativ hohen Konzentration an Aluminium (z. B. > 95%). AlGaAs weist einen relativ hohen Brechungsindex auf. Dann werden die Wellenleiterschicht **82** und die Gitterschicht **90** vorgesehen. Die Mantel- oder Pufferschicht **80**, die Wellenleiterschicht **82** und das Gitter **90** können dann um den Umfang des gewünschten optischen Hohlraums entfernt werden. Kontakte **93** können dann auf dem freigelegten oberen Spiegel **86** abgeschieden werden, um einen elektrischen Kontakt zum oberen Spiegel herzustellen. Dann kann die Vorrichtung einer Oxidationsumgebung ausgesetzt werden, welche das AlGaAs-Material der Mantel- oder Pufferschicht oxidiert, was zu AlO führt, was einen relativ niedrigen Brechungsindex aufweist. Das AlGaAs-Material wird vorzugsweise seitlich nach innen von den freigelegten Kanten der Mantel- oder Pufferschicht **80** oxidiert.

**[0051]** [Fig. 7](#) ist eine Kurve, welche das Reflexionsvermögen gegenüber der Wellenlänge des Resonanzreflektors der [Fig. 6](#) zeigt, wenn die oberen Schichten des oberen DBR-Spiegels **86** nicht-leitend sind ( $k = 0$ ). Die Reflexionskurve hat eine schmale Bandbreite (0,00975 nm) und erreicht theoretisch ein 100%iges Reflexionsvermögen an der Resonanzwellenlänge. [Fig. 8](#) ist eine Kurve, welche das Reflexionsvermögen gegenüber der Wellenlänge des Resonanzreflektors der [Fig. 6](#) zeigt, wenn die oberen Schichten des oberen DBR-Spiegels **86** geringfügig

leitend sind ( $k = 10^{-5}$ ). Wie zu sehen ist, hat die Reflexionskurve immer noch eine schmale Bandbreite (0,0097 nm) und erreicht theoretisch ein 100%iges Reflexionsvermögen an der Resonanzwellenlänge. Deshalb, und anders als bei [Fig. 5](#), gibt es kaum oder gar keine Verschlechterung der beobachteten Reflexionsfähigkeit des Resonanzreflektors, auch wenn er angrenzend an eine leitende Schicht angeordnet ist.

**[0052]** [Fig. 9](#) ist eine schematische Querschnitts-Seitenansicht eines oberflächenemittierenden Vertikalhohlraumlasers ähnlich zu dem in [Fig. 6](#) gezeigten, aber mit einem modifizierten Gitterfüllfaktor. Der Gitterfüllfaktor wird als der Gitterabstand **102** geteilt durch die Gitterperiode **100** definiert. Die Resonanzwellenlänge eines Resonanzreflektors wird häufig durch die Gitterperiode **100** bestimmt, und die Spektralbandbreite wird häufig durch die Modulation des Brechungsindex und des Füllfaktors des Gitters bestimmt.

**[0053]** Wenn das Gitter aus einem Oxid wie  $\text{SiO}_2$  gebildet ist, bezieht sich die Modulation des Brechungsindex auf die Differenz zwischen den dielektrischen Konstanten des Gittermaterials und dem Material, das die Räume zwischen den Gitterelementen füllt, geteilt durch die durchschnittliche dielektrische Konstante über das Gitter. Die durchschnittliche dielektrische Konstante über das Gitter kann verändert werden, indem der Füllfaktor des Gitters verändert wird. Als Beispiel, und unter der Annahme einer konstanten Gitterperiode, kann der Gitterfüllfaktor erhöht werden, indem die Breite jedes Gitterelements verringert wird. Eine Grenze des Erreichens einer gewünschten Spektralbandbreite eines Resonanzreflektors durch Ändern des Gitterfüllfaktors ist, dass die Konstruktionsregeln vieler Herstellungsvorgänge die minimale Breite der Gitterelemente beschränken. Um einige Spektralbandbreiten zu erhalten, müssen somit die Konstruktionsregeln verschoben werden, was die Ausbeute bei der Herstellung der Vorrichtungen verringern kann.

**[0054]** [Fig. 10](#) ist eine schematische Querschnitts-Seitenansicht eines oberflächenemittierenden Vertikalhohlraumlasers ähnlich zu dem in [Fig. 6](#) gezeigten, aber mit einer Gitterfolie, die eine festgelegte Ätztiefe aufweist, um die Spektralbandbreite des Resonanzreflektors zu steuern. Wie oben ist eine Gitterfolie **120** vorgesehen und wird nachfolgend geätzt, um zwei oder mehr beabstandete Gitterbereiche **122a–122c** zu bilden, die durch einen oder mehrere beabstandete Ätzbereiche **124a–124b** getrennt sind. Anstatt jedoch einen Ätzbereich durch die gesamte Gitterfolie **120** durchzuführen, um einen gewünschten Gitterfüllfaktor, und somit eine gewünschte Spektralbandbreite, zu erhalten, wird die Tiefe der Ätzung festgelegt. Durch Festlegen der Tiefe der Ätzung kann eine gewünschte durchschnittliche dielektrische Konstante über das Gitter erzielt werden. Ein Vorteil

dieses Ansatzes ist, dass die Gitterbreite und die Gitterabstände optimal an die Konstruktionsregeln des Herstellungsvorgangs angepasst werden können, und die Ätztiefe kann festgelegt werden, um die gewünschte Spektralbandbreite zu erzielen. Zum Beispiel ist ein Füllfaktor von ca. 50 % bevorzugt. Dies kann die Produktivität und die Ausbeute des Resonanzreflektors steigern.

**[0055]** [Fig. 11](#) ist eine schematische Querschnitts-Seitenansicht eines Vertikalhohlraum-Oberflächenemissionslasers, der durch Verkleben eines Resonanzreflektors **132**, der auf einem ersten Substrat **130** hergestellt ist, mit einem oberen Spiegel **134** eines Vertikalhohlraum-Oberflächenemissionslasers, der auf einem zweiten Substrat hergestellt ist, gebildet wird. Gemäß diesem Ausführungsbeispiel wird ein Resonanzreflektor auf einer Vorderseite **131** eines ersten Substrats **130** ausgebildet. Dies umfasst das Ausbilden zumindest eines Wellenleiters **136** und eines Gitters **138**, wie gezeigt. Dann wird zumindest ein Bereich einer optoelektronischen Vorrichtung, wie ein Vertikalhohlraum-Oberflächenemissionslaser oder ein Resonanzhohlraum-Photodetektor, auf einer Vorderseite eines zweiten Substrats hergestellt. In [Fig. 11](#) umfasst dieses einen unteren DBR-Spiegel, einen aktiven Bereich, einen oberen DBR-Spiegel **134** und einen oder mehrere Kontakte **140**.

**[0056]** Danach wird die Vorderseite des ersten Substrats **130** mit der Vorderseite des zweiten Substrats verklebt, um die optoelektronische Vorrichtung fertigzustellen. Das erste Substrat **130** kann unter Verwendung eines optischen Epoxydharzes **144**, und bevorzugt einem nicht-leitenden optischen Epoxydharz, mit dem zweiten Substrat verklebt werden. Dieses optische Epoxydharz ist vorzugsweise ausreichend dick oder weist einen ausreichend niedrigen Brechungsindex in Bezug auf den Brechungsindex des Wellenleiters **136** des Resonanzreflektors **132** auf, so dass im Wesentlichen verhindert wird, dass Energie vom evaneszenten Wellenvektor im Wellenleiter **136** in die optoelektronische Vorrichtung auf dem ersten Substrat eintritt. Eine nicht-reflektierende Beschichtung **148** kann dann auf der Rückseite des ersten Substrats **130** aufgebracht werden, wie gezeigt.

**[0057]** Es ist bekannt, dass die relative Position des Wellenleiters **136** und des Gitters **138** verändert werden kann. Als Beispiel, und wie in [Fig. 11](#) gezeigt, kann das Gitter näher zur Vorderseite des ersten Substrats als zum Wellenleiter angeordnet sein. Alternativ kann der Wellenleiter jedoch näher zur Vorderseite des ersten Substrats als zum Gitter angeordnet sein, falls gewünscht.

**[0058]** [Fig. 12](#) ist eine schematische Querschnitts-Seitenansicht des Vertikalhohlraum-Oberflächenemissionslasers der [Fig. 11](#) mit einer Mikrolinse **150**, die auf der Rückseite des ersten Substrats **130**



angeordnet ist. Für oberflächenemittierende Vorrichtungen kann eine Mikrolinse, wie eine kollimierende Mikrolinse, auf der Rückseite des ersten Substrats **130** angeordnet sein. Für rückseitenemittierende Vorrichtungen kann eine kollimierende Mikrolinse auf der Rückseite des Substrats, welches den unteren Spiegel, den aktiven Bereich und den oberen Spiegel der optoelektronischen Vorrichtung trägt, ausgebildet sein. In beiden Fällen wird die kollimierende Mikrolinse **150** vorzugsweise in Übereinstimmung mit der Ausgabe der optoelektronischen Vorrichtung angeordnet, wie gezeigt.

**[0059]** Es wird erwogen, dass eine Anzahl von optoelektronischen Vorrichtungen auf einem gemeinsamen Substrat ausgebildet werden können, wie in [Fig. 13](#) gezeigt. Eine Anwendung für eine solche Konfiguration ist ein monolithischer Transceiver, der eine oder mehrere lichtemittierende Vorrichtungen **190** und eine oder mehrere lichtempfangende Vorrichtungen **192** und **194** umfasst. In diesem erläuternden Ausführungsbeispiel sind sowohl die lichtemittierenden als auch die lichtempfangenden Vorrichtungen auf einem gemeinsamen Substrat (nicht gezeigt) ausgebildet. In einem Beispiel wird ein unterer Spiegel zuerst auf dem gemeinsamen Substrat ausgebildet. Der untere Spiegel kann als der untere Spiegel für mehr als eine der optoelektronischen Vorrichtungen **190**, **192** und **194** dienen, und ist bevorzugt ein DBR-Spiegelstapel, der dotiert ist, um zumindest teilweise leitend zu sein. Ein aktiver Bereich **200** wird dann auf dem unteren Spiegel ausgebildet, gefolgt von einem oberen Spiegel **202**. Wie der untere Spiegel ist der obere Spiegel **202** vorzugsweise ein DBR-Spiegelstapel und ist dotiert, um eine entgegengesetzte Leitfähigkeit zum unteren Spiegel aufzuweisen. Der aktive Bereich **200** kann Mantelschichten **204** auf jeder Seite des aktiven Bereichs **200** aufweisen, um die Fokussierung der Lichtenergie und des Stroms im aktiven Bereich zu unterstützen.

**[0060]** Ein tiefes H<sup>+</sup>-Ionenimplantat, wie bei **206a–206c** gezeigt, kann Verstärkungsführungsöffnungen für ausgewählte optoelektronische Vorrichtungen bereitstellen, und kann ferner angrenzende Vorrichtungen elektrisch gegeneinander isolieren. Während ein tiefes H<sup>+</sup>-Implantat als ein Beispiel bereitgestellt wird, wird erwogen, dass jede Art von Strom- oder Feldbeschränkung verwendet werden kann, einschließlich z. B. verstärkungsgeführte Oxidbeschränkung oder jedes andere Mittel. Kontakte **208a–208d** können auf dem oberen Spiegel **202** und auf der unteren Oberfläche des gemeinsamen Substrats vorgesehen sein, um einen elektrischen Kontakt mit jeder der optoelektronischen Vorrichtungen herzustellen.

**[0061]** Als nächstes kann eine Mantel- oder Pufferschicht **210** über dem oberen Spiegel **202** vorgesehen sein. Ein Resonanzreflektor kann dann oben auf

der Mantel- oder Pufferschicht **210** vorgesehen sein. Der Resonanzreflektor kann einen Wellenleiter **212** und einen Gitterfilm **214** umfassen. Für manche optoelektronischen Vorrichtungen, wie oberflächenemittierende Vorrichtungen **190**, kann der Gitterfilm **214** geätzt werden, um ein Gitter, wie gezeigt, zu bilden. Das Gitter kann im Wesentlichen das Reflexionsvermögen des Resonanzreflektors in diesen Bereichen erhöhen. Für andere optoelektronische Vorrichtungen, wie oberflächenempfangende Vorrichtungen **192**, kann der Gitterfilm entweder eine andere Gitterstruktur (z. B. breitere Spektralbandbreite) umfassen oder ungeätzt bleiben, wie gezeigt. Dies kann das Reflexionsvermögen des Resonanzreflektors verringern, wodurch ermöglicht wird, dass Licht einfacher in den optischen Hohlraum eintreten kann. Für noch andere optoelektronische Vorrichtungen, wie Metall-Halbleiter-Metall (MSM) empfangende Vorrichtungen **194**, kann der Gitterfilm vollständig entfernt werden, und ein Metallgitter **214a–214c** kann auf dem Wellenleiter **212** oder der Mantel- oder Pufferschicht **210** ausgebildet werden, falls gewünscht.

**[0062]** Um den Resonanzreflektor von den optoelektronischen Vorrichtungen, und insbesondere dem leitenden oberen Spiegel **202**, zu isolieren, kann die Mantel- oder Pufferschicht **210** ausreichend dick sein, um im Wesentlichen zu verhindern, dass Energie im evaneszenten Teil des geführten Modus im Wellenleiter **212** in den oberen Spiegel **202** eintritt. Alternativ, oder zusätzlich, kann die Mantel- oder Pufferschicht **210** aus einem Material gebildet sein, dass einen ausreichend niedrigen Brechungsindex in Bezug auf den Brechungsindex des Wellenleiters **212** aufweist, um im Wesentlichen zu verhindern, dass Energie im evaneszenten Teil des geführten Modus in dem Wellenleiter **212** in den oberen Spiegel **202** eintritt.

**[0063]** Die Implementierung der beschriebenen Resonanzreflektor-Optoelektronikstrukturen ermöglicht die Steuerung von Polarisierung, Emissionswellenlänge und Modus bzw. Moden. Diese Strukturen und Eigenschaften können unter Verwendung von Techniken wie Lithographie oder Holographie konzipiert und hergestellt werden, und müssen nicht nur Wachstumsdickeveränderungen alleine unterworfen sein. Die obigen Techniken können angewandt werden, um z. B. VCSELs mit Hochleistungs-Einzelmodes/Polarisationsemission aus Öffnungen größer als ein paar Mikron im Durchmesser herzustellen. Weiterhin kann eine Wellenlängen- und/oder Polarisationsvariation über einen Chip, ein Array oder einen Wafer für ein räumlich verändertes Wellenlängen/Polarisationsteilungs-Multiplexen, Multi-Wellenlängen-Spektroskopie usw. verwendet werden.

**[0064]** Nachdem somit die bevorzugten Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung beschrieben wurden, werden die Fachleute auf dem Gebiet

leicht anerkennen, dass die hier zu findenden Lehren auch noch auf weitere Ausführungsbeispiele innerhalb des Umfangs der hier angefügten Ansprüche angewandt werden können.

### Patentansprüche

1. Optoelektronische Vorrichtung, umfassend:  
einen oberen Spiegel (**134, 202**) und einen unteren Spiegel, wobei der obere Spiegel und der untere Spiegel zumindest teilweise leitend sind;  
einen Resonanzreflektor (**52, 84, 32**), der angrenzend an einen ausgewählten der oberen oder unteren Spiegel angeordnet ist, wobei der Resonanzreflektor einen Wellenleiter (**66, 82, 136, 212**) und ein Gitter (**58, 90, 138, 214**) umfasst, die so ausgelegt sind, dass ein Wellenvektor erster Beugungsordnung des Gitters im Wesentlichen einem Verbreitungsmodus des Wellenleiters entspricht, gekennzeichnet durch:

eine Mantel- oder Pufferschicht (**80, 210**), die zwischen dem Resonanzreflektor und dem ausgewählten oberen oder unteren Spiegel angeordnet ist, wobei die Mantel- oder Pufferschicht ausreichend dick ist oder einen ausreichend niedrigen Brechungsindex in Bezug auf den Brechungsindex des Wellenleiters aufweist, um im Wesentlichen zu verhindern, dass Energie des evaneszenten Teils des geführten Modus in dem Wellenleiter in den ausgewählten oberen oder unteren Spiegel eintritt.

2. Optoelektronische Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Mantel- oder Pufferschicht (**80, 210**) nicht-leitend ist.

3. Optoelektronische Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Mantel- oder Pufferschicht (**80, 210**) und der Wellenleiter (**166, 82, 136, 212**) jeweils einen Brechungsindex aufweisen, wobei der Brechungsindex der Mantel- oder Pufferschicht wesentlich kleiner als der Brechungsindex des Wellenleiters ist.

4. Optoelektronische Vorrichtung nach Anspruch 3, wobei der ausgewählte obere Spiegel (**134, 202**) oder der ausgewählte untere Spiegel eine angrenzende Schicht umfasst, die angrenzend an die Mantel- oder Pufferschicht (**80, 210**) angeordnet ist, wobei der Brechungsindex der Mantel- oder Pufferschicht kleiner als der Brechungsindex der angrenzenden Schicht ist.

5. Optoelektronische Vorrichtung nach Anspruch 4, wobei die Dicke der Mantel- oder Pufferschicht (**80, 210**) größer als die angrenzende Schicht ist.

6. Optoelektronische Vorrichtung nach Anspruch 5, wobei die Dicke der Mantel- oder Pufferschicht (**80, 210**) von dem Unterschied des Brechungsindex zwischen der Mantel- oder Pufferschicht und dem Wellenleiter (**66, 82, 136, 212**) abhängt.

7. Optoelektronische Vorrichtung nach Anspruch 2, wobei die Mantel- oder Pufferschicht (**80, 210**) eine dielektrische Schicht ist.

8. Optoelektronische Vorrichtung nach Anspruch 7, wobei die Mantel- oder Pufferschicht (**80, 210**) eine Aluminiumoxidschicht ist.

9. Optoelektronische Vorrichtung nach Anspruch 7, wobei der Bereich des Wellenleiters (**166, 82, 136, 212**) AlGaAs umfasst.

10. Optoelektronische Vorrichtung nach Anspruch 7, wobei der Bereich des Wellenleiters (**166, 82, 136, 212**) einen Nichtleiter mit hohem Brechungsindex umfasst.

11. Optoelektronische Vorrichtung nach Anspruch 7, wobei das Gitter (**58, 90, 138, 214**) eine dielektrische Schicht ist.

12. Optoelektronische Vorrichtung nach Anspruch 7, wobei das Gitter (**58, 90, 138, 212**) eine Siliziumoxidschicht ist.

13. Optoelektronische Vorrichtung nach Anspruch 7, wobei die Mantel- oder Pufferschicht (**80, 210**) als Teil des Resonanzreflektors (**52, 84, 132**) wirkt.

14. Monolithischer Transceiver mit einer Licht ausgebenden Vorrichtung und einer Licht empfangenden Vorrichtung, umfassend:

einen unteren Spiegel auf einem Substrat, wobei der untere Spiegel zumindest teilweise leitend ist;  
einen aktiven Bereich auf dem unteren Spiegel;  
einen oberen Spiegel (**134, 202**) auf dem aktiven Bereich, wobei der obere Spiegel zumindest teilweise leitend ist;

einen Wellenleiter (**66, 82, 136, 212**);  
eine Gitterschicht (**58, 90, 138, 214**) mit einer ersten geätzten Gitterstruktur über dem Wellenleiter, wobei der Wellenleiter und das Gitter so ausgelegt sind, dass ein Wellenvektor erster Beugungsordnung des Gitters im Wesentlichen einem Verbreitungsmodus des Wellenleiters entspricht, gekennzeichnet durch:  
eine Mantel- oder Pufferschicht (**80, 210**) zwischen dem Wellenleiter und dem oberen Spiegel, wobei die Mantel- oder Pufferschicht nicht-leitend ist, wobei die Mantel- oder Pufferschicht ausreichend dick ist oder einen ausreichend niedrigen Brechungsindex in Bezug auf den Brechungsindex des Wellenleiters aufweist, so dass im Wesentlichen verhindert wird, dass Energie des evaneszenten Teils des geführten Modus in dem Wellenleiter in den oberen Spiegel eintritt.

15. Monolithischer Transceiver nach Anspruch 14, ferner umfassend eine zweite geätzte Gitterstruktur über der Licht empfangenden Vorrichtung.

16. Monolithischer Transceiver nach Anspruch 14, wobei die Gitterschicht keine geätzte Gitterstruktur über der Licht empfangenden Vorrichtung aufweist.

17. Monolithischer Transceiver nach Anspruch 14, wobei die Gitterschicht (**58, 90, 138, 214**) über der Licht empfangenden Vorrichtung entfernt ist.

18. Vorrichtung, umfassend:  
ein erstes Substrat mit einer Vorderseite und einer Rückseite, wobei zumindest ein Teil einer optoelektronischen Vorrichtung auf der Vorderseite ausgebildet ist;  
ein zweites Substrat mit einer Vorderseite und einer Rückseite mit einem Resonanzreflektor (**52, 84, 132**), der einen Wellenleiter (**66, 82, 136, 212**) und ein Gitter (**58, 90, 138, 214**) aufweist, die auf der Vorderseite ausgebildet sind, dadurch gekennzeichnet, dass: die Vorderseite des ersten Substrats mittels eines optischen Epoxydharzes, das ausreichend dick ist oder einen ausreichend niedrigen Brechungsindex in Bezug auf den Brechungsindex des Resonanzreflektor-Wellenleiters aufweist, um im Wesentlichen zu verhindern, dass Energie eines evaneszenten Teils eines geführten Modus im Wellenleiter in das erste Substrat eintritt, mit der Vorderseite des zweiten Substrats verbunden ist.

19. Vorrichtung nach Anspruch 18, wobei das Gitter (**58, 90, 138, 214**) näher zur Vorderseite des zweiten Substrats als der Wellenleiter (**66, 82, 136, 212**) angeordnet ist.

20. Vorrichtung nach Anspruch 18, wobei der Wellenleiter (**66, 82, 136, 212**) näher zur Vorderseite des zweiten Substrats als das Gitter (**58, 90, 138, 214**) angeordnet ist.

21. Vorrichtung nach Anspruch 18, wobei das optische Epoxydharz nicht-leitend ist.

22. Vorrichtung nach Anspruch 18, wobei der Wellenleiter (**66, 82, 136, 212**) und das Gitter (**58, 90, 138, 214**) so ausgelegt sind, dass ein Wellenvektor erster Beugungsordnung des Gitters im Wesentlichen einem Verbreitungsmodus des Wellenleiters entspricht.

23. Vorrichtung nach Anspruch 18, ferner umfassend eine kollimierende Mikrolinse, die auf der Rückseite des zweiten Substrats angeordnet ist.

24. Vorrichtung nach Anspruch 23, wobei die kollimierende Mikrolinse zu dem Resonanzreflektor (**52, 84, 132**) und der optoelektronischen Vorrichtung ausgerichtet ist.

25. Verfahren zum Bilden einer optoelektronischen Vorrichtung, umfassend:

Vorsehen eines unteren Spiegels auf einem Substrat, wobei der untere Spiegel zumindest teilweise leitend ist;

Vorsehen eines aktiven Bereichs über dem unteren Spiegel;

Vorsehen eines oberen Spiegels (**34, 202**) über dem aktiven Bereich, wobei der obere Spiegel zumindest teilweise leitend ist;

Vorsehen eines Wellenleiters (**66, 82, 136, 212**) und eines Gitters (**58, 90, 138, 214**) über der Mantel- oder Pufferschicht, wobei der Wellenleiter und das Gitter so ausgelegt sind, dass ein Wellenvektor erster Beugungsordnung des Gitters im Wesentlichen einem Verbreitungsmodus des Wellenleiters entspricht, gekennzeichnet durch:

Vorsehen einer Mantel- oder Pufferschicht (**80, 120**) über dem oberen Spiegel, wobei die Mantel- oder Pufferschicht nicht-leitend ist, wobei die Mantel- oder Pufferschicht ausreichend dick ist oder einen ausreichend niedrigen Brechungsindex in Bezug auf den Brechungsindex des Wellenleiters aufweist, um im Wesentlichen zu verhindern, dass Energie des evaneszenten Teils des geführten Modus in dem Wellenleiter in den oberen Spiegel eintritt.

26. Verfahren nach Anspruch 25, wobei der Brechungsindex des Wellenleiters (**66, 82, 136, 212**) höher als der durchschnittliche Brechungsindex des Gitters (**58, 90, 138, 214**) ist.

27. Verfahren nach Anspruch 26, wobei der Wellenleiter (**66, 82, 136, 212**) einen ersten Nichtleiter umfasst und die Mantel- oder Pufferschicht (**80, 120**) eine zweite nicht-leitende Schicht umfasst, wobei der erste Nichtleiter einen höheren Brechungsindex als der zweite Nichtleiter aufweist.

28. Verfahren nach Anspruch 25, wobei die Mantel- oder Pufferschicht (**80, 210**) anfänglich AlGaAs ist und dann zu AlO oxidiert wird.

29. Verfahren nach Anspruch 28, wobei die Mantel- oder Pufferschicht (**80, 210**) seitlich oxidiert ist.

30. Verfahren nach Anspruch 25, wobei der Wellenleiter (**66, 82, 136, 212**) aus GaAs gebildet ist.

31. Verfahren nach Anspruch 25, wobei das Gitter (**58, 90, 138, 214**) durch Ätzen einer SiO<sub>2</sub>-Schicht zu einem Gitter gebildet wird.

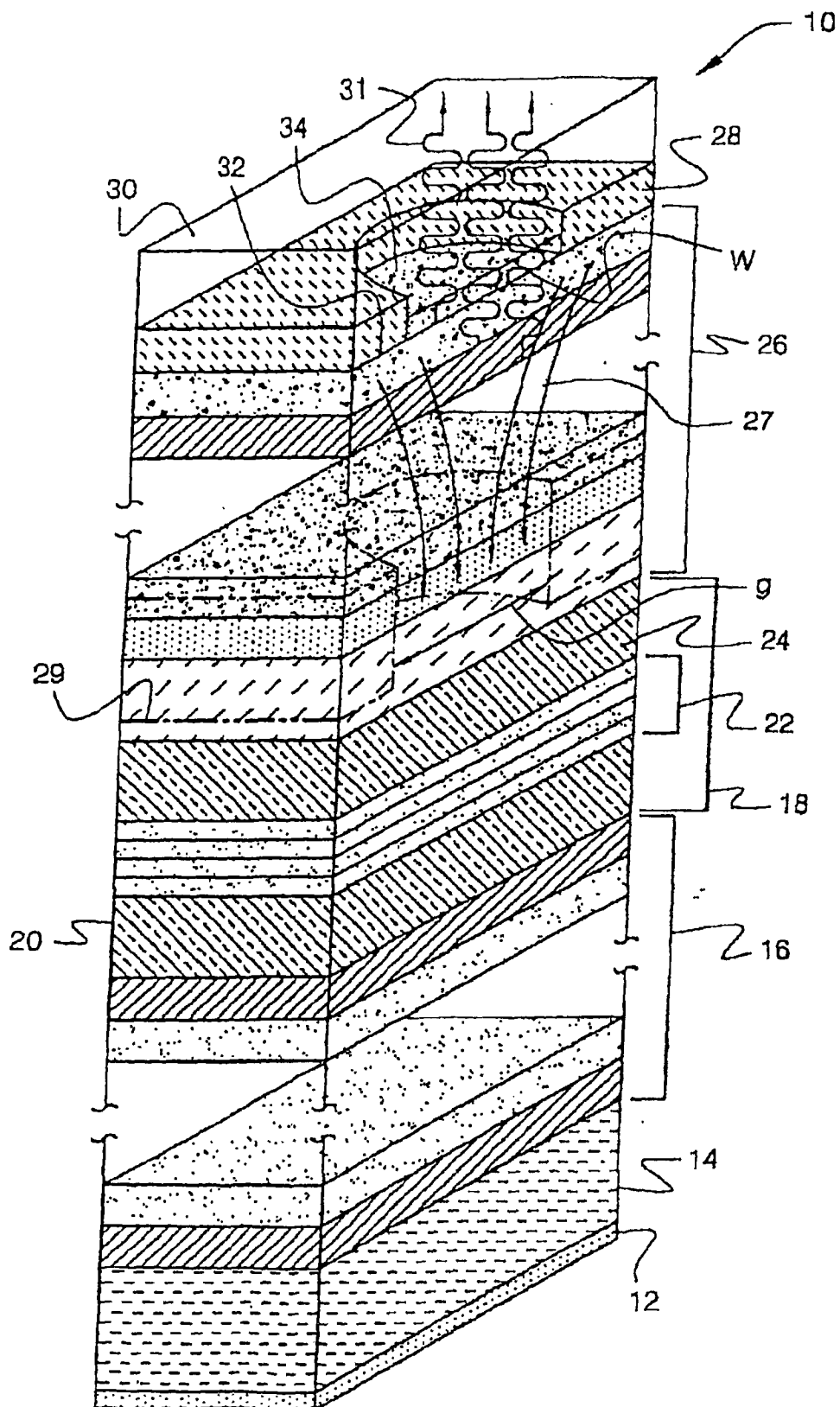
32. Verfahren nach Anspruch 25, wobei der obere Spiegel (**134, 202**) und der untere Spiegel Spiegel vom Typ „Distributed Bragg Reflector“ sind.

33. Verfahren nach Anspruch 32, wobei die Spiegel vom Typ „Distributed Bragg Reflector“ abwechselnde Schichten aus AlGaAs und AlAs aufweisen.

34. Verfahren nach Anspruch 33, wobei eine

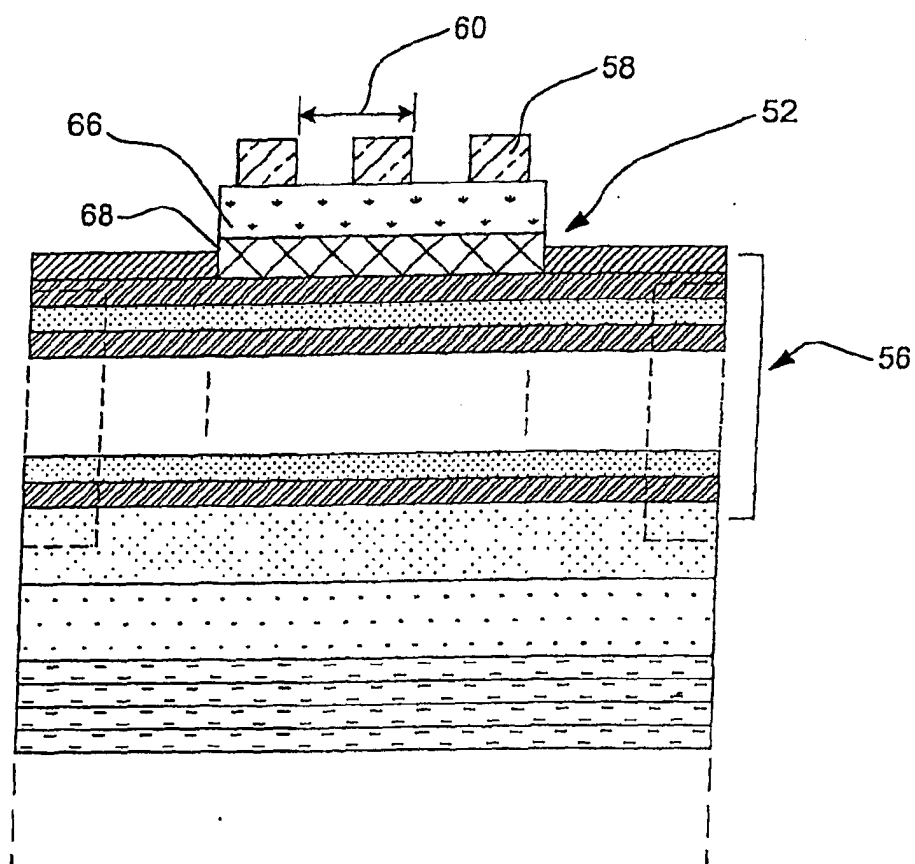
oberste Schicht des oberen Spiegels (**134**, **202**) AlG-aAs ist.

Es folgen 13 Blatt Zeichnungen



**FIG. 1**

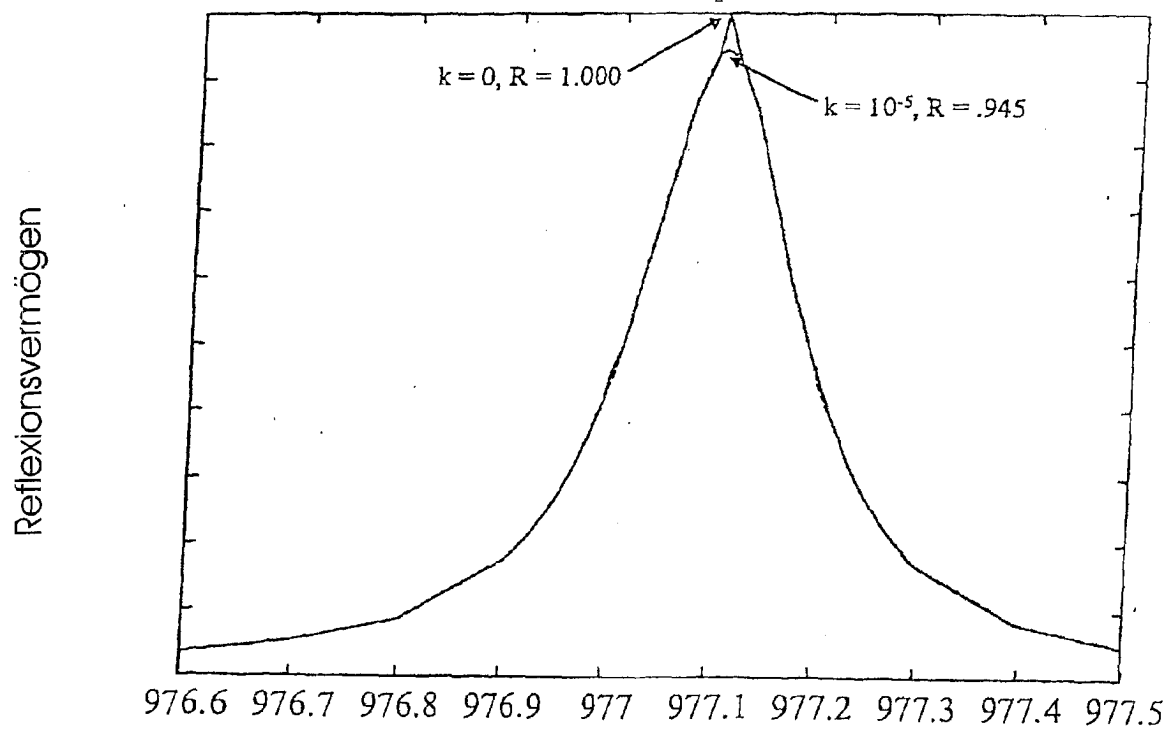




*FIG. 2*

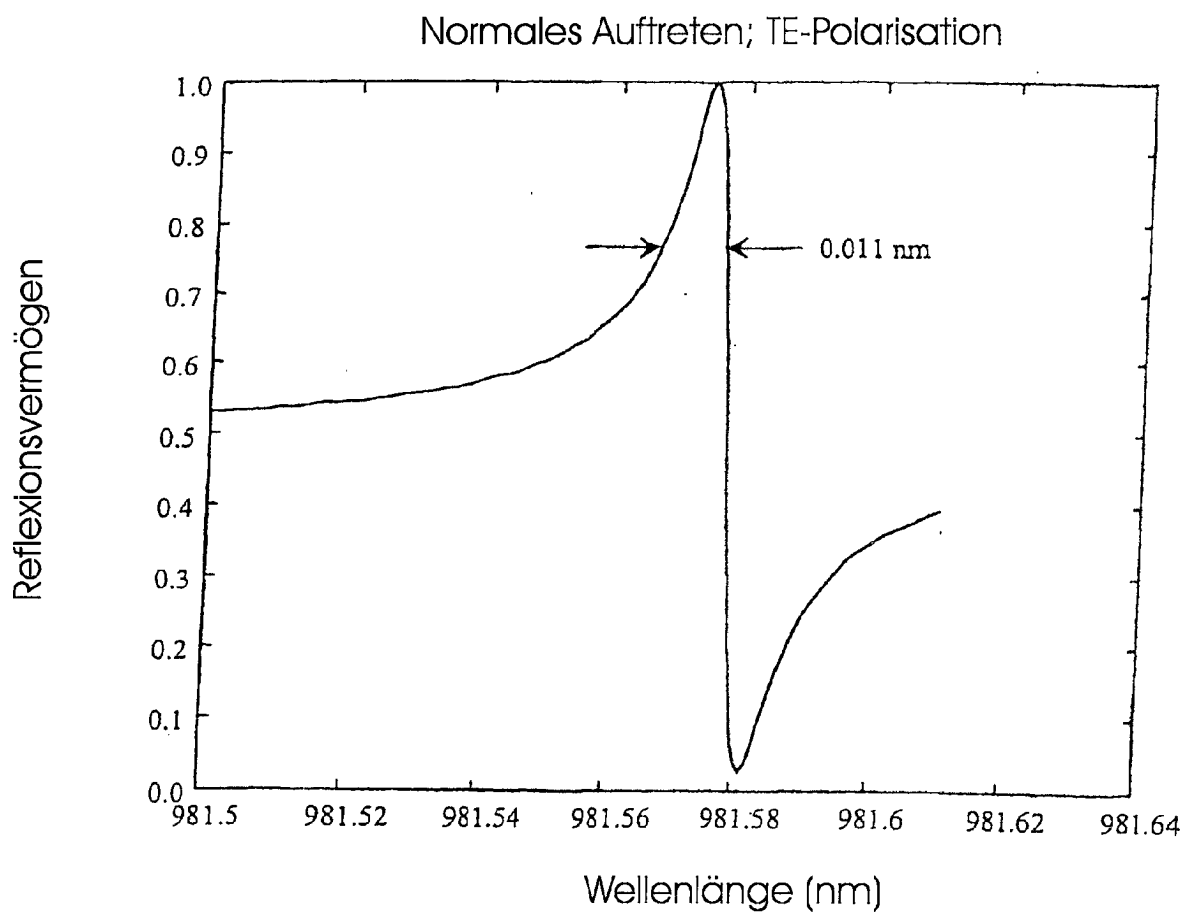
Vorhergesagtes Resonanzfilterreflexionsvermögen für 980 nm VCSEL  
Minimum  $k$  in Wellenleiterschicht

normales Auftreten; TE-Polarisation



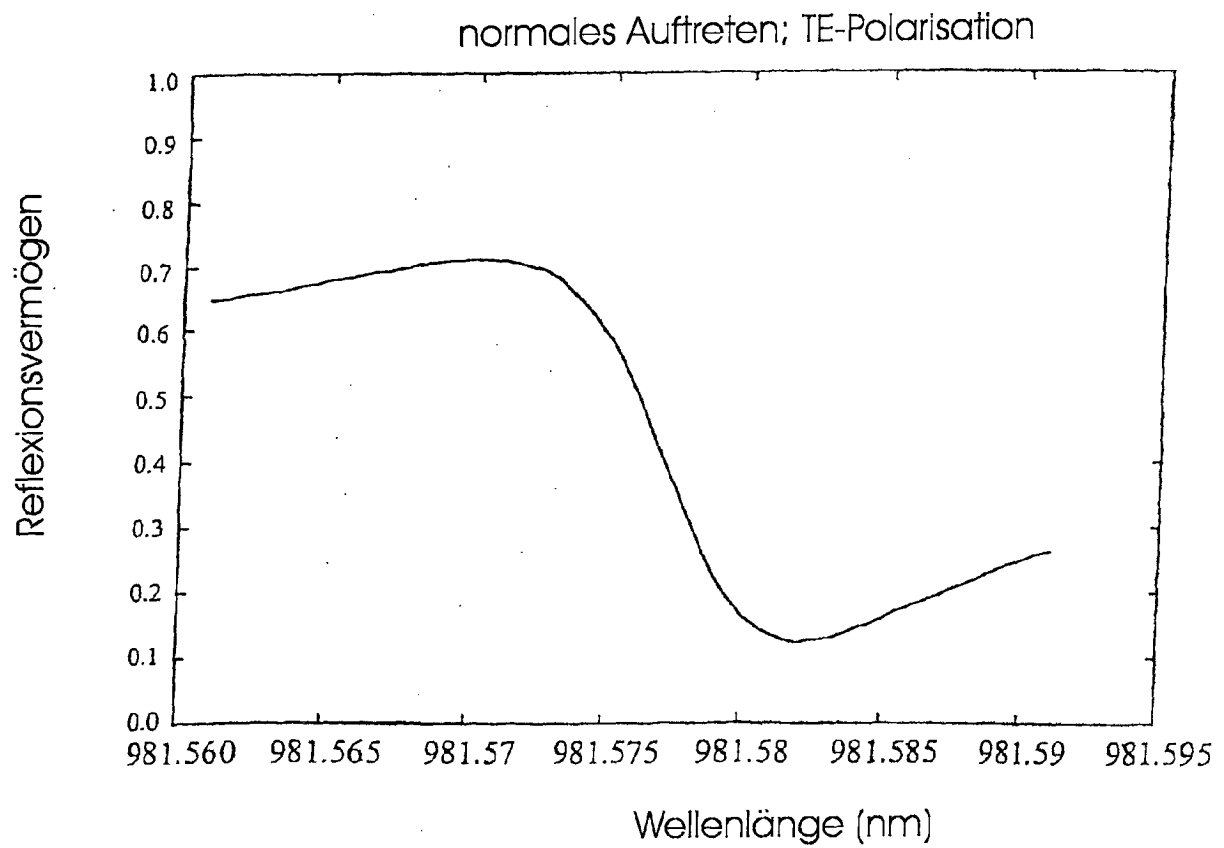
**FIG. 3**

Vorhergesagtes Resonanzfilterreflexionsvermögen für 980 nm VCSEL  
Einzelheiten der Resonanz



*FIG. 4*

Vorhergesagtes Resonanzfilterreflexionsvermögen für 980 nm VCSEL  
Einzelheiten der Resonanz mit leitendem DBR-Spiegel



*FIG. 5*

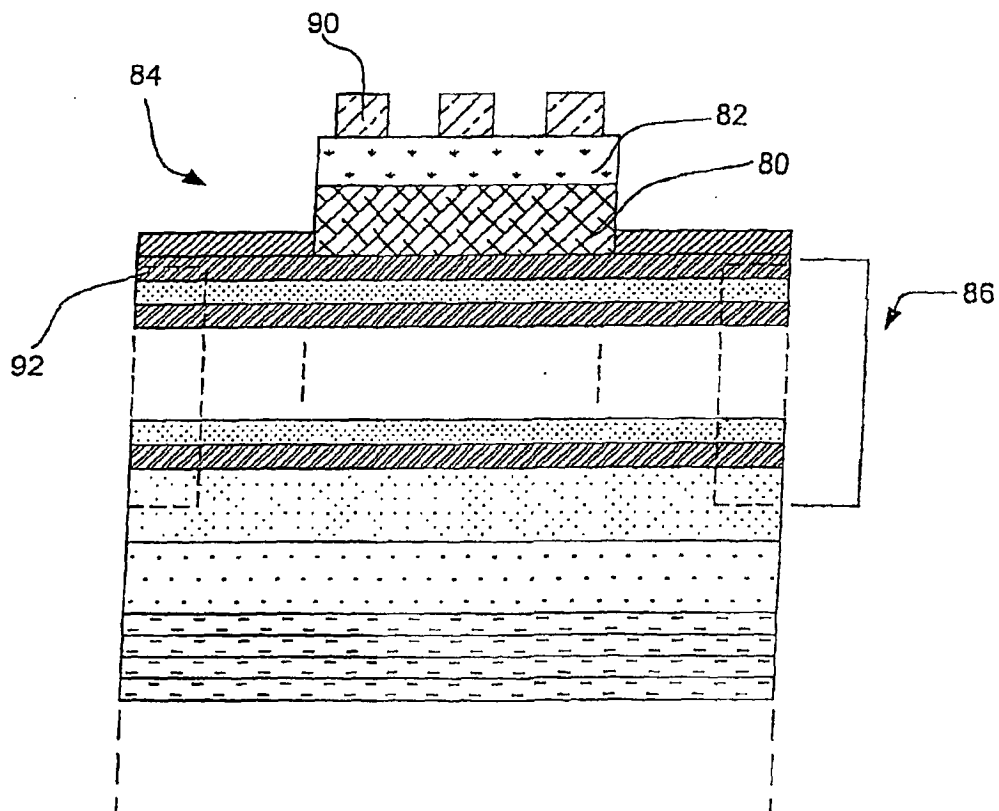
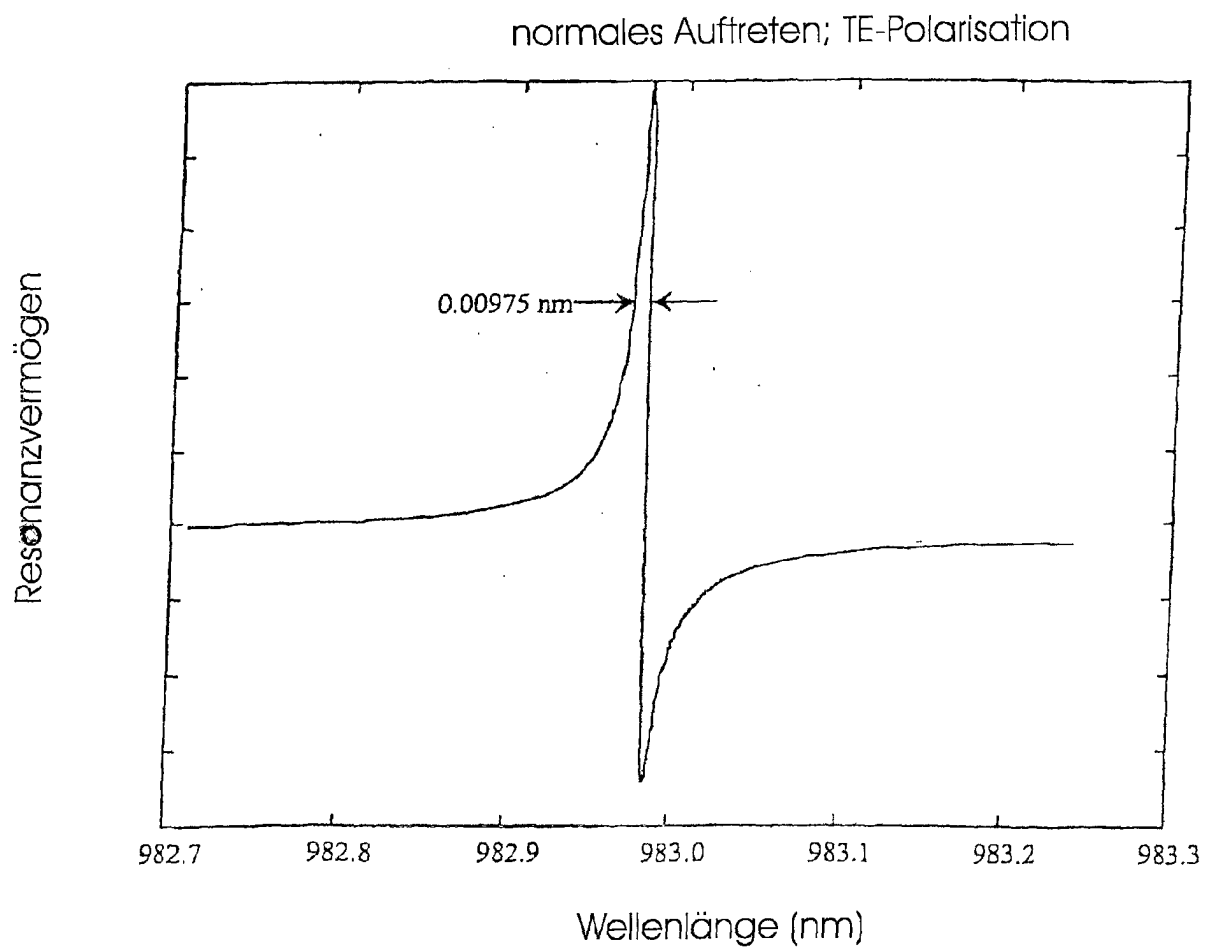


FIG. 6

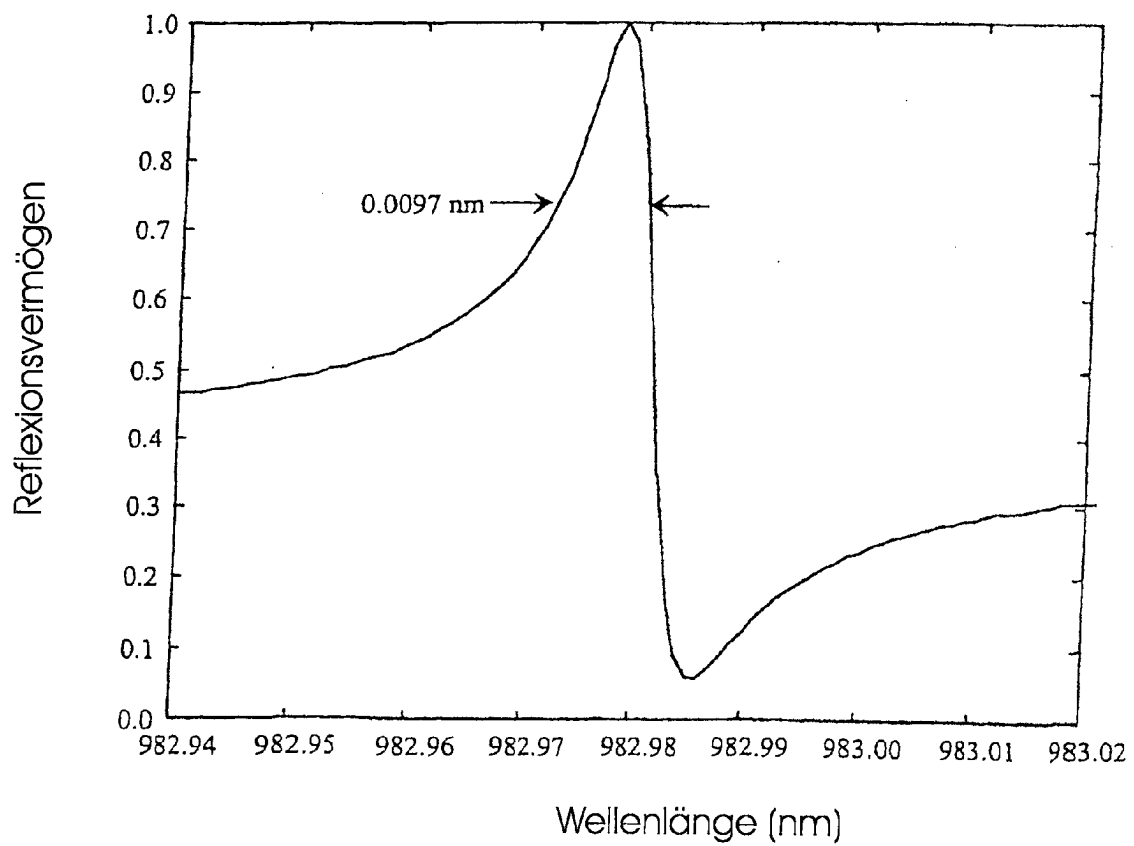


vorhergesagtes Resonanzfilterreflexionsvermögen für 980 nm VCSEL  
Einzelheiten der Resonanz

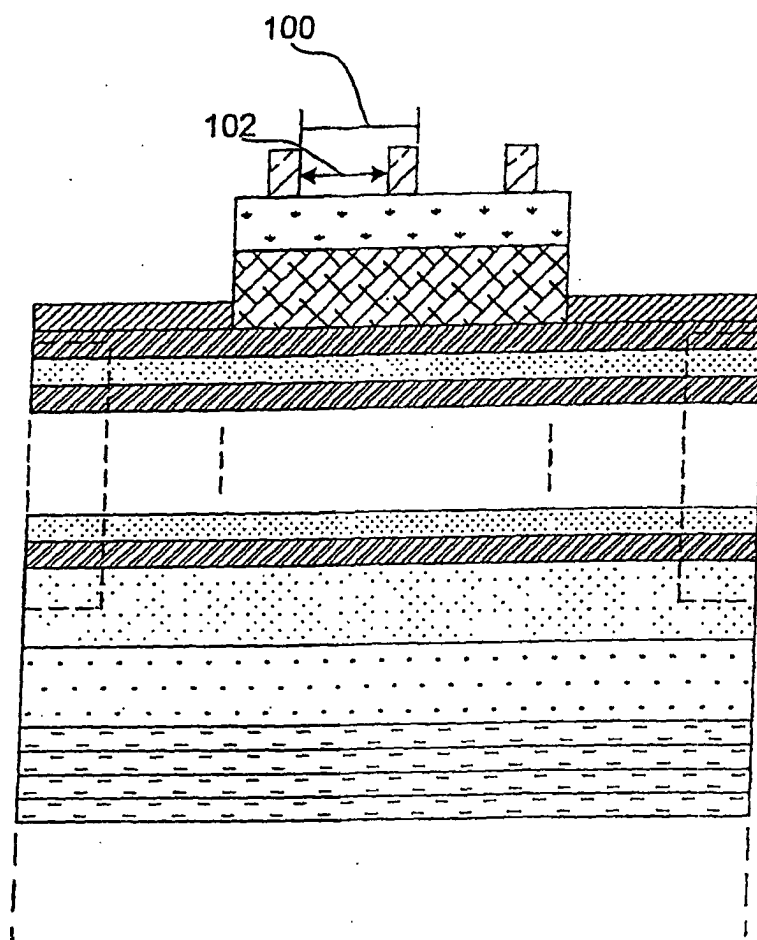


**FIG. 7**

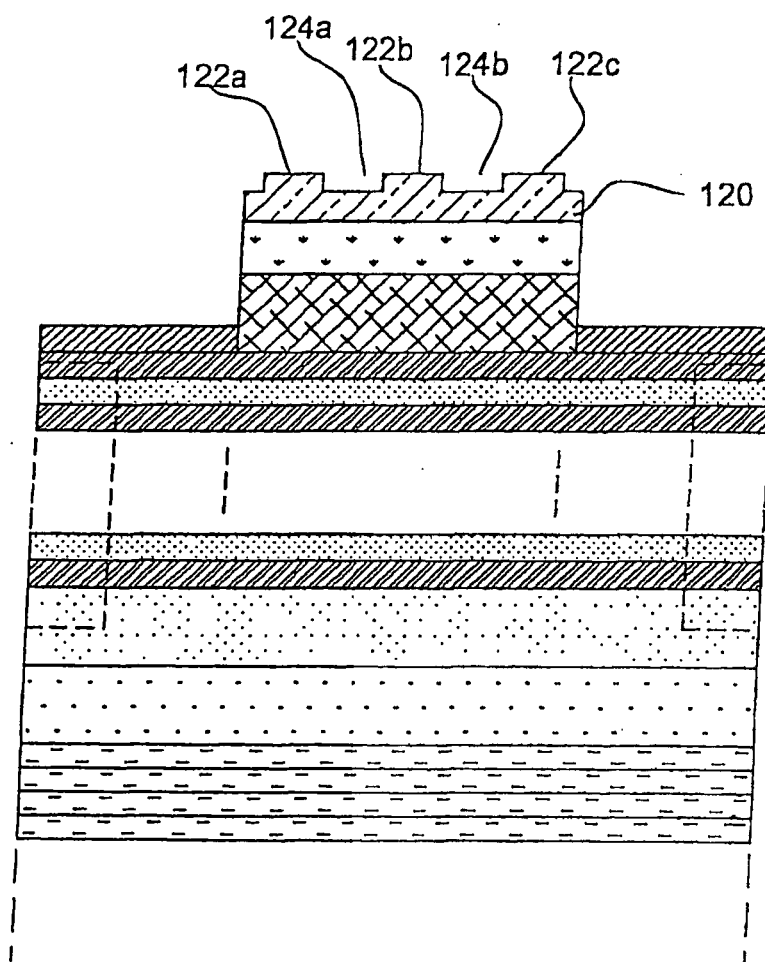
vorhergesagtes Resonanzfilterreflexionsvermögen für 980 nm VCSEL  
Einzelheiten der Resonanz mit leitendem DBR-Spiegel



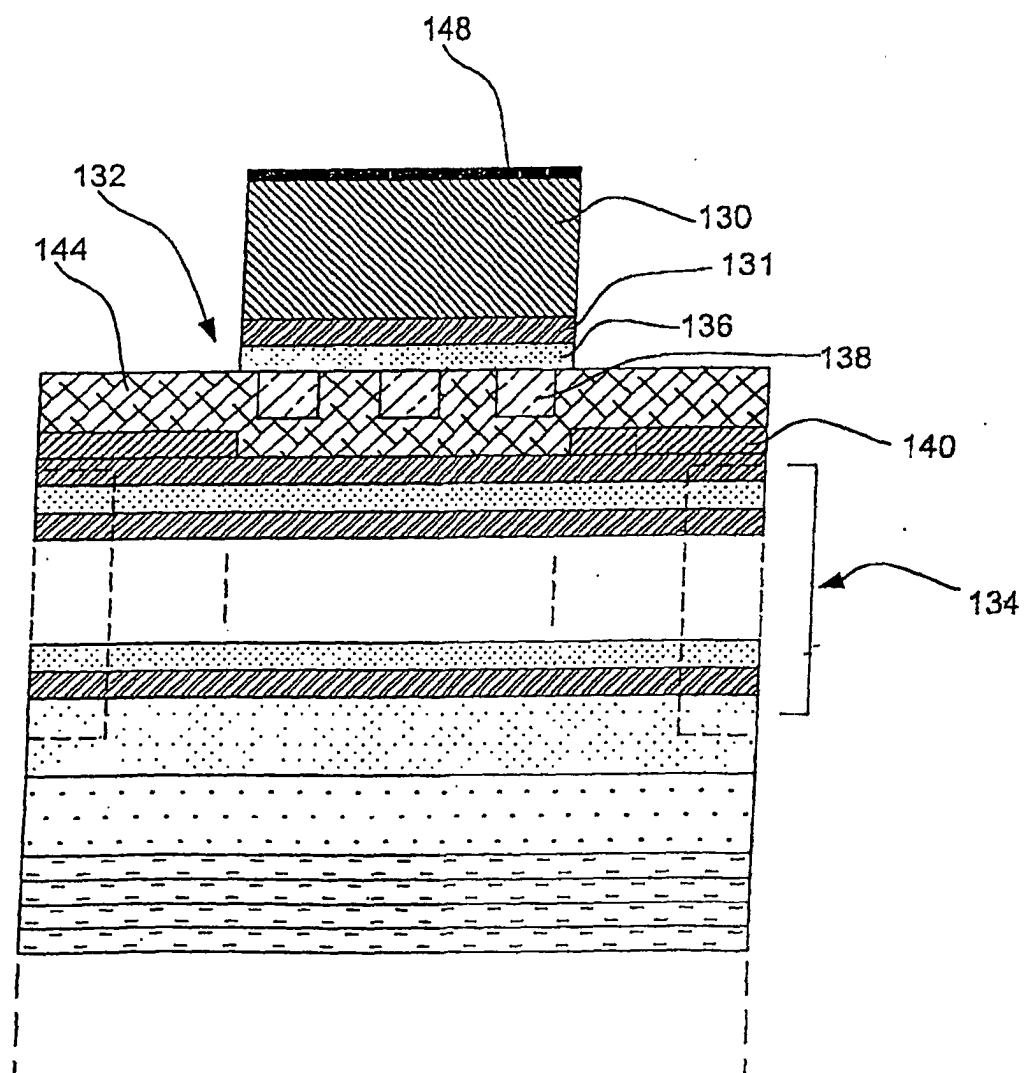
**FIG. 8**



*FIG. 9*

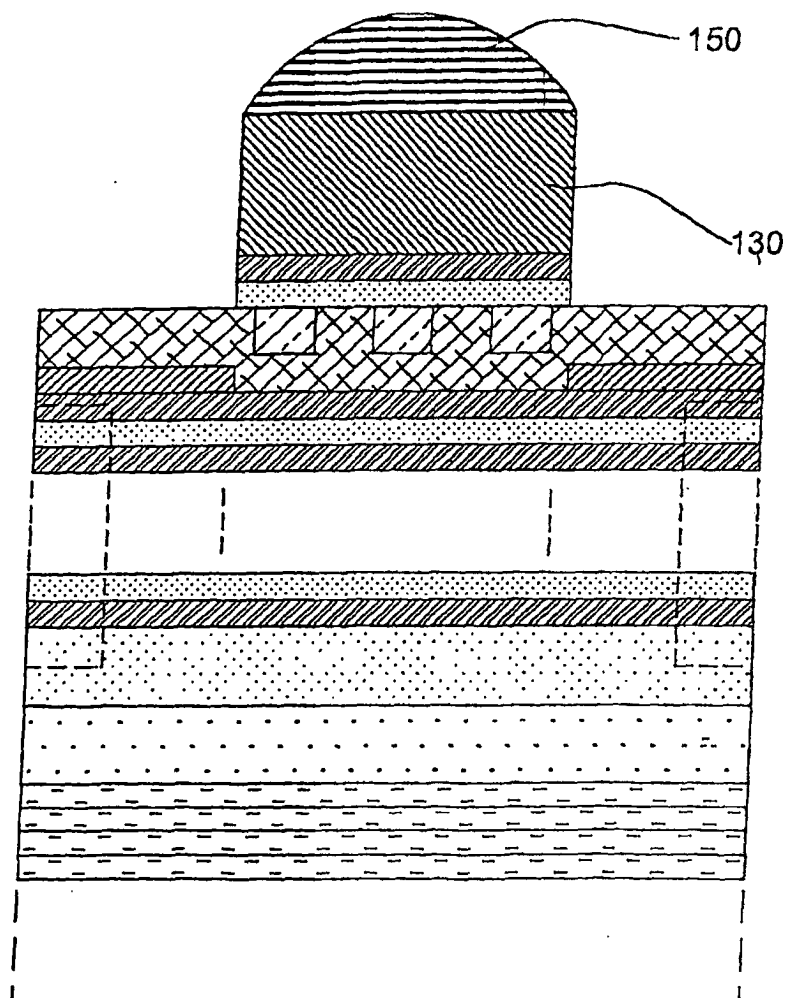


*FIG. 10*



*FIG. 11*





*FIG. 12*

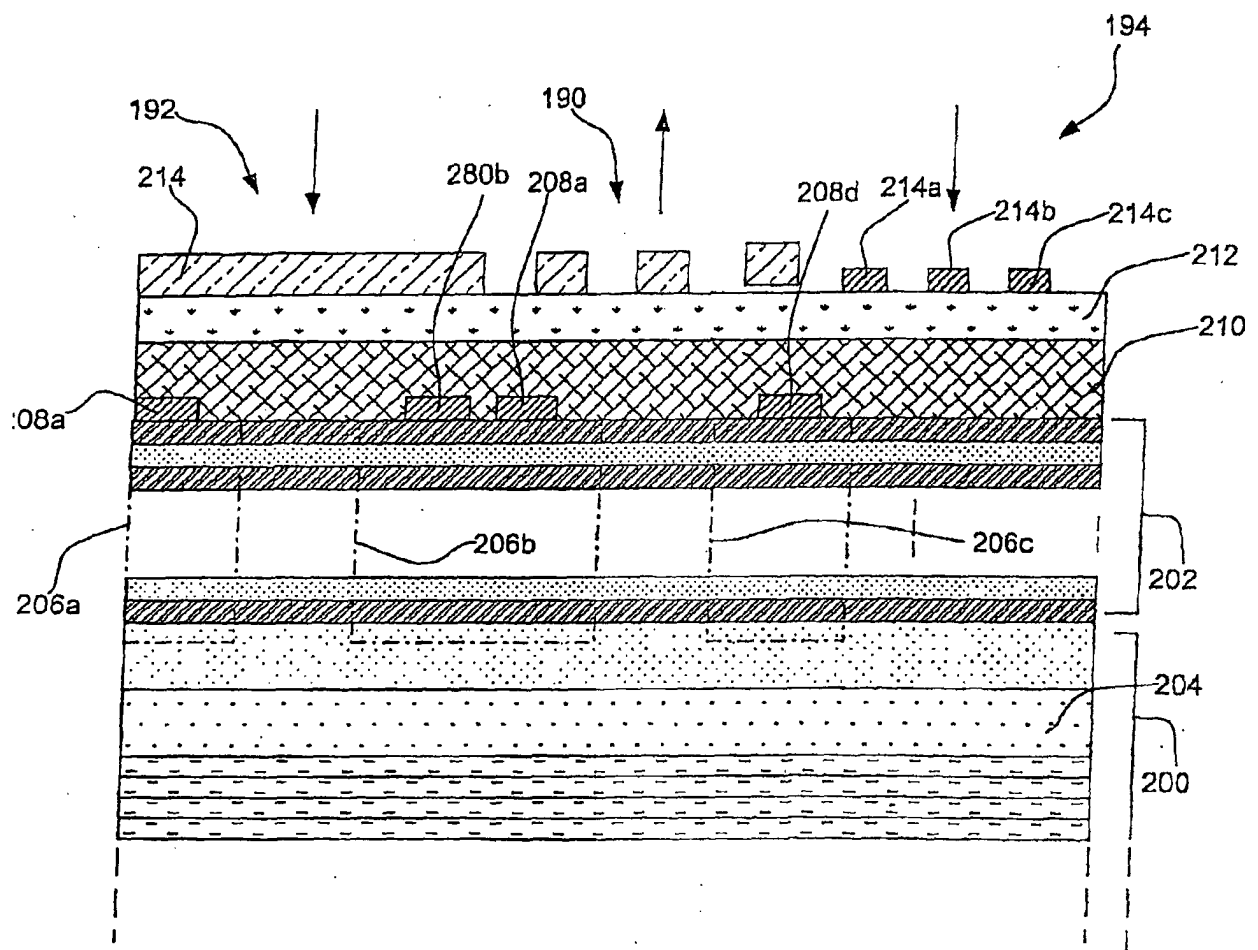


FIG. 13