



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 601 18 974 T2 2007.01.04**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 352 455 B1**

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

(21) Deutsches Aktenzeichen: **601 18 974.4**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US01/50214**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 994 427.1**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2002/059938**

(86) PCT-Anmeldetag: **20.12.2001**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **01.08.2002**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **15.10.2003**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **19.04.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **04.01.2007**

(30) Unionspriorität:
751423 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:
**MORGAN, A., Robert, Plymouth, MN 55447, US;
STRZELECKI, M., Eva, San Jose, CA 95124, US**

(74) Vertreter:
Samson & Partner, Patentanwälte, 80538 München

(54) Bezeichnung: **RÄUMLICH MODULIERTER REFLEKTOR FÜR EINE OPTOELEKTRONISCHE VORRICHTUNG**

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 optoelektronischer Vorrichtungen und im Spezielleren Resonanzreflektoren für optoelektronische Vorrichtungen.

[0002] Herkömmliche Halbleiterlaser haben eine weit verbreitete Anwendung bei moderner Technologie als die Lichtquelle der Wahl für verschiedene Vorrichtungen gefunden, z. B. Kommunikationssysteme, Laserdrucker, Kompaktdiskabspielgeräte usw. Für viele dieser Anwendungen ist ein Halbleiterlaser über eine faseroptische Verbindung oder auch einen Freiraum mit einem Halbleiterempfänger (z. B. Photodiode) gekoppelt. Diese Konfiguration kann für einen Hochgeschwindigkeitskommunikationsweg sorgen. Laser, die eine Ausgabe mit einer einzelnen oder reduzierten Mode haben, sind für viele dieser Anwendungen besonders geeignet, weil sie unter anderem eine kleine Lichtfleckgröße bereitstellen können.

[0003] Ein typischer Halbleiterkantenstrahlerlaser ist eine doppelte Heterostruktur mit einer Schicht geringen Bandabstands, hohen Brechungsindex, die auf einander gegenüber liegenden Hauptoberflächen von Schichten mit großem Bandabstand, niedrigem Brechungsindex umgeben ist. Die Schicht mit geringem Bandabstand wird als die "aktive Schicht" bezeichnet und die Bandabstands- und Brechungsindexunterschiede dienen dazu, sowohl Ladungsträger als auch optische Energie auf die aktive Schicht oder Bereich zu begrenzen. Gegenüber liegende Enden der aktiven Schicht weisen Spiegelflächen auf, die die Kavität des Lasers bilden. Die Plattierungsschichten weisen entgegengesetzte Ladungstypen auf und, wenn Strom durch die Struktur hindurchgeführt wird, kombinieren sich Elektronen und Löcher in der aktiven Schicht, um Licht zu erzeugen.

[0004] Ein weiterer Typ eines Halbleiterlasers, der im letzten Jahrzehnt Bedeutung erlangt hat, sind von einer Oberfläche emittierende Laser. Einige Typen oberflächenemittierender Laser sind entwickelt worden. Ein solcher vielversprechender Laser wird als ein "vertical cavity surface emitting laser" (VCSEL) bezeichnet. (Für eine Beschreibung dieses Lasers siehe zum Beispiel "Surface-emitting microlasers for photonic switching and interchip connections", Optical Engineering, 29, Seiten 210-214, März 1990. Für andere Beispiele beachte U.S.-Patent Nr. 5,115,442 von Yong H. Lee et al., erteilt am 19. Mai 1992 und mit dem Titel "Top-emitting Surface Emitting Laser Structures" und das U.S.-Patent Nr. 5,475,701, das am 12. Dezember 1995 an Man K. Hibbs-Brenner erteilt worden ist und den Titel "Integrated Laser Power Monitor" trägt. Siehe auch "Top-surface-emitting GaAs four-quantum-well lasers emitting at 0.85 μm ", Electronic Letters, 26, Seiten 710-711, 24. Mai 1990.

[0005] Oberflächenemittierende Laser mit vertikaler Kavität bieten gegenüber herkömmlichen kantene-mittierenden Lasern zahlreiche Leistungs- und potentielle Herstellbarkeitsvorteile. Diese umfassen viele Vorteile, die mit deren Geometrie verbunden sind, wie zum Beispiel die Zugänglichkeit für ein- und zwei-dimensionale Arrays, Waferniveau-Qualifikation und wünschenswerte Strahlcharakteristika, typischer Weise kreisförmig symmetrische Strahlen mit geringer Divergenz.

[0006] VCSELs haben typischer Weise einen aktiven Bereich mit Halbleiter- oder einer oder mehreren Quantentopf-Schichten. An einander gegenüber liegenden Seiten des aktiven Bereichs befinden Spiegelstapel, die typischer Weise durch verschachtelte Halbleiterschichten gebildet sind, die Eigenschaften aufweisen, so dass jede Schicht typischer Weise bei der im Interesse stehenden Wellenlänge (in dem Medium) eine Viertelwellenlänge dick ist, wodurch die Spiegel für die Laserkavität gebildet werden. Es gibt Bereiche mit entgegengesetzter Leitfähigkeit an einander gegenüber liegenden Seiten des aktiven Bereichs und typischer Weise wird der Laser ein- und ausgeschaltet, indem der Strom durch den aktiven Bereich variiert wird.

[0007] Hochleistungs-VCSELs hoher Güte sind vorgestellt und zur Kommerzialisierung genutzt worden. AlGaAs-basierte VCSELs, die an einer oberen Oberfläche emittieren, sind auf eine Weise analog zu integrierten Halbleiterschaltkreisen herstellbar und sind einer Herstellung mit geringen Kosten in großem Umfang und einer Integration mit vorhandenen elektronischen Technologieplattformen zugänglich. Außerdem ist die Gleichmäßigkeit und Reproduzierbarkeit von VCSELs unter Verwendung einer herkömmlichen, nicht modifizierten, kommerziell verfügbaren Kammer zur metallorganischen Dampfphasenepitaxie (MOVPE; engl.: Metal Organic Vapor Phase Epitaxy) und molekularer Strahlepitaxie (MBE; engl.: Molecular Beam Epitaxy) nachgewiesen worden, die sehr große Vorrichtungsmengen ermöglichen.

[0008] Es wird davon ausgegangen, dass VCSELs für Leistung und Kostenvorteile bei schnellen (z. B. Gbit/s) Einzel- oder Mehrkanalverbindungsanwendungen mittlerer Distanz (z. B. bis zu näherungsweise 1000 Meter) und vielen optischen und/oder bildgebenden Anwendungen sorgen. Dies resultiert aus deren inhärenten Geometrie, die für mögliche Hochleistungssender niedriger Kosten mit flexiblen und wünschenswerten Eigenschaften sorgt.

[0009] Die meisten VCSELs praktischer Abmessungen haben inhärent mehrere (Quer)-Moden. VCSELs mit einer einzelnen Mode kleinster Größenordnung sind zum Einkoppeln in Einzelmodenfasern bevorzugt und für freiraum- und/oder wellenlängenemp-

findliche Systeme vorteilhaft und können auch zur Verwendung beim Erweitern des Bandbreiten-Längen-Produkts einer herkömmlichen 50 μm und 62,5 μm GRIN-Faser mit mehreren Moden förderlich sein. Es ist jedoch seit langem bekannt, dass, auch wenn die kurze optische Kavität (2λ) der VCSEL eine einzelne Längsmodenemission favorisiert, die lateralen Abmessungen von mehreren Wellenlängen (10λ) einen Betrieb mit mehreren Quermoden erleichtern.

[0010] Moden höherer Ordnung haben typischer Weise entfernt von dem Zentrum der optischen oder Laserlicht abgebenden Kavität eine stärkere laterale Konzentration von Energie. Somit besteht die nahe- liegendste Weise, den Laser dazu zu bringen, nur in einer kreisförmig symmetrischen Mode kleinster Ordnung zu oszillieren, die laterale Abmessung des aktiven Bereichs klein genug zu gestalten, um zu verhindern, dass Moden höherer Ordnung den Grenzwert erreichen. Dies erfordert jedoch laterale Abmessungen von weniger als etwa 5 μm für typische VCSELS. Solche kleinen Bereiche können zu einem übermäßigen Widerstand führen und an die Grenzen stoßen, die durch herkömmliche Herstellungsverfahren erreichbar sind. Dies trifft insbesondere für Implantationstiefen von mehr als etwa 1 μm zu, wo laterale Streuung ein limitierender Faktor werden kann. Somit bleibt die Steuerung von Quermoden für VCSELS mit praktischen Abmessungen schwierig.

[0011] Ein Ansatz, um Quermoden in VCSELS zu steuern, ist in dem U.S.-Patent Nr. 5,903,590 von Hadley et al. vorgeschlagen. Hadley et al. schlägt vor, einen Modensteuerbereich vorzusehen, der sich um die optische Kavität des VCSEL erstreckt. Der Modensteuerbereich sorgt für eine andere Länge der optischen Kavität als die Länge der optischen Kavität in der Nähe des Zentrums des VCSEL. Dies trägt dazu bei, das Reflexionsvermögen in dem Modensteuerbereich zu verringern. Eine Einschränkung von Hadley et al. besteht darin, dass der Modensteuerbereich nach der zentralen optischen Kavität ausgebildet wird, was bedeutsame Verarbeitungsschritte ergänzt und die Kosten der Vorrichtung erhöht. Zusätzlich gibt es eine abrupte Änderung des Reflexionsvermögens zwischen dem Modensteuerbereich und der optischen Kavität. Diese abrupte Änderung kann Beugungseffekte verursachen, die den Wirkungsgrad sowie die Qualität des VCSEL verringern können.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0012] Die vorliegende Erfindung überwindet viele der Nachteile der bekannten Technik, indem ein Resonanzreflektor bereitgestellt wird, der eine Modensteuerung verstärkt, ohne dabei eine bedeutsame Menge zusätzlicher Verarbeitungsschritte zu erfordern. Einige Resonanzreflektoren der vorliegenden Erfindung verringern oder beseitigen auch abrupte Änderungen des Reflexionsvermögens über dem

Resonanzreflektor. Dies kann unerwünschte Beugungseffekte verringern, die bei vielen Resonanzreflektoren üblich sind, insbesondere denen, die zur Modensteuerung optoelektronischer Vorrichtung verwendet werden.

[0013] US-A-5940422 offenbart einen Resonanzreflektor für eine optoelektronische Vorrichtung mit mehreren Schichten, von denen wenigstens eine einen gemusterten Bereich aufweist. US-A-6026111 offenbart einen Resonanzreflektor mit optischer Kavität. WO-A-0045483 offenbart einen Resonanzreflektor mit einem Spiegelbereich.

[0014] Die vorliegende Erfindung stellt einen Resonanzreflektor für eine auf eine Wellenlänge abgestimmte, optoelektronische Vorrichtung bereit, wobei der Resonanzreflektor umfasst:
eine Spiegelschicht; und
eine erste Materialschicht mit einem ersten Brechungsindex, wobei die erste Materialschicht einen oder mehrere gemusterte Bereiche, die sich nach unten durch die erste Materialschicht erstrecken, und nicht gemusterte Bereiche aufweist, die eine Dicke einer geraden Vielfachen eines Viertels der Wellenlänge aufweisen;
wobei eine Auswahl des einen oder der mehreren gemusterten Bereiche mit einem zweiten Material ausgestattet ist, das einen zweiten Brechungsindex hat, wobei das zweite Material eine Dicke der geraden Vielfachen eines Viertels der Wellenlänge aufweist, so dass bei der Auswahl des einen oder der mehreren gemusterten Bereiche das zweite Material innerhalb des einen oder der mehreren gemusterten Bereiche im Wesentlichen bündig mit der ersten Materialschicht ist, und wobei die Spiegelschicht einen ersten Brechungsindex hat und benachbart zu der ersten Materialschicht angeordnet ist.

[0015] Vorzugsweise ist der (erste) Brechungsindex größer als der zweite Brechungsindex.

[0016] Vorzugsweise verringert der eine oder die mehreren gemusterten Bereiche das Reflexionsvermögen des Resonanzreflektors in diesen Bereichen.

[0017] Vorzugsweise sind der eine oder die mehreren gemusterten Bereiche angeordnet, um für eine Steuerung der optoelektronischen Vorrichtung zu sorgen.

[0018] Die vorliegende Erfindung stellt auch einen Resonanzreflektor für eine auf eine Wellenlänge abgestimmte, optoelektronische Vorrichtung bereit, wobei der Resonanzreflektor umfasst:
eine Spiegelschicht, die aus einer ersten Materialschicht mit einem ersten Brechungsindex hergestellt ist, wobei die erste Materialschicht einen oder mehrere gemusterte Bereiche, die sich nach unten durch die erste Materialschicht erstrecken, und nicht ge-

musterte Bereiche aufweist, die eine Dicke einer geraden Vielfachen eines Viertels der Wellenlänge haben;

wobei eine Auswahl des einen oder der mehreren gemusterten Bereiche mit einem zweiten Material ausgestattet ist, das einen zweiten Brechungsindex hat, wobei das zweite Material eine Dicke der geraden Vielfachen eines Viertels der Wellenlänge aufweist, so dass bei der Auswahl des einen oder der mehreren gemusterten Bereiche das zweite Material innerhalb des einen oder der mehreren gemusterten Bereiche im Wesentlichen bündig mit der ersten Materialschicht ist.

[0019] Vorzugsweise erstreckt sich das zweite Material außerhalb des einen oder der mehreren gemusterten Bereiche über nicht gemusterte Bereiche der ersten Materialschicht.

[0020] Vorzugsweise umfassen die gemusterten Bereiche der ersten Materialschicht geätzte Teile der ersten Materialschicht in dem Bereich oder Bereichen, die eine gewünschte optische Kavität der optoelektronischen Vorrichtung begrenzen.

[0021] Vorzugsweise sind die ersten und zweiten Brechungsindize kleiner als der dritte Brechungsindex.

[0022] Vorzugsweise umfassen die gemusterten Bereiche der ersten Materialschicht geätzte Teile der ersten Materialschicht in dem Bereich oder Bereichen, die eine gewünschte optische Kavität der optoelektronischen Vorrichtung begrenzen.

[0023] Vorzugsweise erstreckt sich das zweite Material außerhalb des einen oder der mehreren gemusterten Bereiche über nicht gemusterte Bereiche der ersten Materialschicht.

[0024] Vorzugsweise ist der erste Brechungsindex größer als der zweite Brechungsindex.

[0025] Bei einem anderen veranschaulichenden Verfahren ist eine erste im Wesentlichen planare Materialschicht gefolgt von einer Photoresistschicht vorgesehen. Die Photoresistschicht wird dann gemustert, wobei vorzugsweise eine Photoresistinsel gebildet wird. Die Photoresistinsel wird dann erwärmt, um zu bewirken, dass sie sich erneut verflüssigt. Dies führt zu einer nicht planaren oberen Oberfläche auf der Photoresistschicht und vorzugsweise zu einer, die sich nach unten auf die erste Materialschicht hin verjüngt. Als nächstes werden die Photoresistschicht und die erste Materialschicht für eine spezifizierte Zeitdauer geätzt. Das Ätzmittel ätzt selektiv sowohl die Photoresistschicht als auch die erste Materialschicht, wodurch die Form der nicht planaren oberen Oberfläche der Photoresistschicht auf die erste Materialschicht übertragen wird. Dann wird eine zweite

Materialschicht über der ersten Materialschicht, falls erwünscht, bereitgestellt. Weil die erste Materialschicht die Form der Photoresistinsel annimmt und somit eine obere Oberfläche aufweist, die sich nach unten verjüngt, bildet die zweite Materialschicht eine Grenzfläche mit der ersten Materialschicht, die zu der optischen Achse der optoelektronischen Vorrichtung nicht parallel ist. Wie oben angegeben, kann dies die Beugungseffekte reduzieren, die durch abrupte Änderungen des Brechungsindex eines Resonanzreflektors verursacht werden.

[0026] Bei einem weiteren veranschaulichenden Verfahren der vorliegenden Erfindung ist eine erste im Wesentlichen planare Materialschicht vorgesehen und wird gemustert, was zu einer Insel aus der ersten Materialschicht führt. Die Insel der ersten Materialschicht weist vorzugsweise laterale Oberflächen auf, die sich nach oben zu einer oberen Oberfläche hin erstrecken, die durch obere periphere Kanten definiert ist. Danach wird eine Photoresistschicht über der gemusterten ersten Materialschicht einschließlich über den lateralen Oberflächen, den oberen peripheren Kanten und der oberen Oberfläche bereitgestellt. Der Schritt ausgehend von der oberen Oberfläche entlang der lateralen Oberflächen nach unten bewirkt, dass die Photoresistschicht in der Nähe der oberen peripheren Kanten dünner ist.

[0027] Die Photoresistschicht und die erste Materialschicht werden dann für eine spezifizierte Zeitdauer geätzt. Während dieses Ätzprozesses werden die Bereiche der ersten Materialschicht, die den dünneren Bereichen der Photoresistschicht benachbart sind, für eine längere Zeitdauer dem Ätzmittel als die Bereiche ausgesetzt, die den dickeren Bereichen der Photoresistschicht benachbart sind. Somit werden bei der veranschaulichenden Ausführungsform die oberen peripheren Kanten der ersten Materialschicht stärker als die Bereiche entfernt von den oberen peripheren Kanten geätzt. Nach dem Ätzprozess kann über der ersten Materialschicht eine zweite Materialschicht bereitgestellt werden.

[0028] Bei jeder der obigen Ausführungsformen kann die obere Oberfläche der zweiten Materialschicht eben gemacht werden, indem die zweite Materialschicht erwärmt wird, um zu bewirken, dass sie sich erneut verflüssigt. Alternativ oder zusätzlich kann die obere Oberfläche der zweiten Materialschicht unter Verwendung eines Prozesses zum chemischen mechanischen Polieren (CMP; engl.: Chemical Mechanical Polishing) eben gemacht werden. Alternativ kann die obere Oberfläche der zweiten Materialschicht im Wesentlichen nicht planar bleiben, wenn erwünscht.

[0029] Andere Aufgaben der vorliegenden Erfindung und viele der zugehörigen Vorteile der vorliegenden Erfindung werden einfach ersichtlich, wenn

diese durch Bezugnahme auf die folgende detaillierte Beschreibung unter Berücksichtigung der beigefügten Zeichnungen besser verstanden wird, in denen gleiche Bezugszeichen in den Figuren derselben gleiche Teile angeben und in denen:

[0030] [Fig. 1](#) ein schematisches Diagramm eines planaren, stromgeführten, oberflächenemittierenden GaAs/AlGaAs Laser mit vertikaler Kavität gemäß dem Stand der Technik ist;

[0031] [Fig. 2](#) eine schematische Querschnittsseitenansicht eines planaren, stromgeführten, oberflächenemittierenden GaAs/AlGaAs-Lasers mit vertikaler Kavität mit einem ersten veranschaulichenden Resonanzreflektor zur erhöhten Modensteuerung gemäß der vorliegenden Erfindung ist;

[0032] [Fig. 3A-Fig. 3D](#) schematische Querschnittsseitenansichten sind, die ein veranschaulichendes Verfahren zur Herstellung des Resonanzreflektors von [Fig. 2](#) zeigen;

[0033] [Fig. 4](#) eine schematische Querschnittsseitenansicht eines planaren, stromgeführten, oberflächenemittierenden GaAs/AlGaAs-Lasers mit vertikaler Kavität mit einem zweiten veranschaulichenden Resonanzreflektor zur verstärkten Modensteuerung gemäß der vorliegenden Erfindung ist;

[0034] [Fig. 5A-Fig. 5D](#) schematische Querschnittsseitenansichten sind, die ein veranschaulichendes Verfahren zur Herstellung des Resonanzreflektors von [Fig. 4](#) zeigen.

[0035] [Fig. 1](#) ist eine schematische Veranschaulichung eines planaren, stromgeführten, oberflächenemittierenden GaAs/AlGaAs-Lasers **10** mit vertikaler Kavität gemäß dem Stand der Technik. Auf einem n-dotierten Galliumarsenid-(GaAs)-Substrat **14** ist ein n-Kontakt **12** ausgebildet. Das Substrat **14** ist mit Störstellen eines ersten Typs (d. h. n-Typ) dotiert. Ein Spiegelstapel **16** vom n-Typ ist auf dem Substrat **14** ausgebildet. Auf dem Stapel **16** ist ein Abstandshalter **18** ausgebildet. Der Abstandshalter **18** weist eine untere Grenzschicht **20** und eine obere Grenzschicht **24** auf, die einen aktiven Bereich **22** umgeben. Ein Spiegelstapel **26** vom p-Typ ist auf der oberen Grenzschicht **24** ausgebildet. Auf dem Stapel **26** ist eine p-Metallschicht **28** ausgebildet. Der Emissionsbereich kann eine Passivierungsschicht **30** aufweisen.

[0036] Ein Isolationsbereich **29** begrenzt den Bereich des Stromflusses **27** durch den aktiven Bereich. Der Bereich **29** kann durch eine tiefe Implantation von H⁺ Ionen gebildet werden. Der Durchmesser "g" kann festgelegt sein, um den gewünschten Bereich und somit die Verstärkungsapertur des VCSEL **10** bereitzustellen. Ferner kann der Durchmesser "g" von dem gewünschten Widerstand des Spiegelsta-

pels **26** vom p-Typ, insbesondere durch den nicht leitenden Bereich **29** festgelegt sein. Somit führt der nicht leitende Bereich **29** die Verstärkungsführungsfunktion durch. Der Durchmesser "g" ist typischer Weise durch Herstellungsgrenzen beschränkt, wie zum Beispiele laterale Streuung während des Implantierungsschritts.

[0037] Der Abstandshalter **18** kann einen Substrat- oder aktiven Quantentopf-Bereich enthalten, der zwischen den Spiegelstapeln **16** und **26** angeordnet ist. Der aktive Quantentopf-Bereich **22** kann abwechselnde Schichten aus Aluminiumgalliumarsenid-(AlGaAs)-Grenzschichten und GaAs-Quantentopfschichten aufweisen. In dem aktiven Bereich können auch InGaAs-Quantentöpfe verwendet werden, insbesondere dort, wo eine Emissionswellenlänge (z. B. $\lambda = 980$ nm), bei der GaAs durchlässig ist, gewünscht ist. Die Stapel **16** und **26** sind verteilte Bragg-Reflektor-(DBR)-(engl.: Distributed Bragg Reflector)-Stapel und können periodische Stapel aus dotiertem AlGaAs und Aluminiumarsenid (AlAs) aufweisen. Das AlGaAs des Stapels **16** ist mit dem gleichen Störstellentyp wie das Substrat **14** dotiert (z. B. n-Typ) und das AlGaAs des Stapels **26** ist mit einer anderen Art Störstelle (z. B. p-Typ) dotiert.

[0038] Die Metallkontaktschichten **12** und **28** sind ohmsche Kontakte, die ein geeignetes elektrisches Vorspannen der Laserdiode **10** erlauben. Wenn die Laserdiode **10** an dem Kontakt **28** in Vorwärtsrichtung mit einer positiveren Spannung als an dem Kontakt **12** vorgespannt ist, emittiert der aktive Bereich **22** Licht **31**, das durch den Stapel **26** hindurch geht.

[0039] Die meisten VCSELs praktischer Abmessungen haben inhärent mehrere (Quer)-Moden. VCSELs mit einer einzelnen Anode kleinster Größenordnung sind zum Einkoppeln in Fasern mit einer einzelnen Mode bevorzugt und sind für freiraum- und/oder wellenlängenempfindliche Systeme vorteilhaft und können auch zur Verwendung beim Erweitern des Bandbreiten-Längen-Produkts einer herkömmlichen 50 μm und 62,5 μm GRIN-Mehrmodenfaser günstig sein. Es ist jedoch seit langem bekannt, dass, auch wenn die kurze optische Kavität (2λ) des VCSEL eine einzelne Längsmodenemission begünstigt, die lateralen Abmessungen mehrerer Wellenlängen (10λ) einen Mehrfachquermodenbetrieb fördern.

[0040] Wie oben angegeben, haben Moden höherer Ordnung typischer Weise entfernt von dem Zentrum der optischen oder Laserkavität eine größere laterale Konzentration von Energie. Somit besteht der naheliegenste Weg, den Laser dazu zu bringen, nur in einer kreisförmig symmetrischen Mode niedrigster Ordnung zu oszillieren, darin, die laterale Abmessung "g" des aktiven Bereich klein genug zu machen, um zu verhindern, dass Moden höherer Ordnung den Grenzwert erreichen. Dies erfordert jedoch laterale

Abmessungen von weniger als etwa 5 μm für typische VCSELs. Solche kleinen Bereiche können zu einem übermäßigen Widerstand führen und an die von herkömmlichen Herstellungsverfahren erreichbaren Grenzen stoßen. Dies trifft insbesondere für Implantationstiefen von mehr als etwa 1 μm zu, wo laterale Streuung ein begrenzender Faktor werden kann. Daher bleibt eine Steuerung von Quermoden für VCSELs praktischer Abmessungen schwierig.

[0041] Ein veranschaulichender Ansatz, Quermoden einer optoelektronischen Vorrichtung zu steuern, ist in [Fig. 2](#) gezeigt. [Fig. 2](#) ist eine schematische Querschnittsseitenansicht eines planaren, stromgeführten, oberflächenemittierenden GaAs/AlGaAs-Lasers mit vertikaler Kavität, wie in [Fig. 1](#), mit einem auf der Oberseite befestigten Modensteuerresonanzreflektor **50**. Der Resonanzreflektor **50** weist eine gemusterte erste Materialschicht **56** auf, die auf der Oberseite der oberen Spiegelschicht **52** des VCSEL **54** positioniert ist. Eine zweite Materialschicht **58** ist oberhalb der gemusterten ersten Materialschicht **56**, wie gezeigt, vorgesehen.

[0042] Die erste Materialschicht **56** hat vorzugsweise einen Brechungsindex, der größer als der Brechungsindex der zweiten Materialschicht **58** ist, und die ersten und zweiten Materialschichten **56** und **58** haben vorzugsweise einen Brechungsindex, der kleiner als der Brechungsindex der oberen Spiegelschicht **52** der optoelektronischen Vorrichtung **54** ist. Bei einem Beispiel ist die erste Materialschicht **56** SiO_2 , ist die zweite Materialschicht **58** Si_3N_4 oder TiO_2 und ist die obere Spiegelschicht **52** AlGaAs, auch wenn andere geeignete Materialsysteme vorgesehen sind. Jede Schicht ist vorzugsweise eine gerade Vielfache einer Viertelwellenlänge ($\lambda/4$) dick. Dies bewirkt eine Verringerung des Reflexionsvermögens des Resonanzreflektors **50** in den Bereichen, die den geätzten Bereichen **60** (siehe [Fig. 3B](#)) in der ersten Materialschicht **56** entsprechen, das heißt, den Bereichen, die mit der zweiten Materialschicht **58** gefüllt sind. Indem die geätzten Bereiche ausgelegt sind, um die gewünschte optische Kavität zu umgeben, kann dieser Unterschied im Reflexionsvermögen verwendet werden, um dazu beizutragen, eine Modensteuerung für den VCSEL **54** bereitzustellen.

[0043] Beim Herstellen des Resonanzreflektors **50** und nun Bezug nehmend auf [Fig. 3A](#), wird die erste Materialschicht **56** oberhalb der oberen Spiegelschicht **52** bereitgestellt. Wie in [Fig. 3B](#) gezeigt, wird die erste Materialschicht **56** gemustert, vorzugsweise durch Wegätzen der ersten Materialschicht **56** in dem Bereich oder den Bereichen, die die gewünschte optische Kavität des VCSEL **54** umgeben. Wie in [Fig. 3C](#) gezeigt, ist eine zweite Materialschicht **58** oberhalb der ersten Materialschicht **56** vorgesehen. Die zweite Materialschicht **58** ist vorzugsweise oberhalb sowohl der geätzten **60** als auch nicht geätzten

Bereichen der ersten Materialschicht **56** vorgesehen, kann aber, wenn erwünscht, von den nicht geätzten Bereich begrenzt sein. Ausgewählte Bereiche, wie zum Beispiel die Bereiche **62a** und **62b** der zweiten Materialschicht **58**, können dann entfernt werden, um für einen Zugang zu der oberen Spiegelschicht **52** zu sorgen. Dann kann, und wie in [Fig. 3](#) gezeigt, auf den freigelegten Bereichen der oberen Spiegelschicht **52** eine Kontaktschicht **64** bereitgestellt werden. Die Kontaktschicht **64** kann für einen elektrischen Kontakt zu der oberen Spiegelschicht **52** sorgen.

[0044] Bei einer verwandten Ausführungsform kann eine obere Spiegelschicht der optoelektronischen Vorrichtung, wie oben diskutiert, als die erste Materialschicht dienen. Daher kann die obere Spiegelschicht gemustert werden, vorzugsweise indem wenigstens teilweise in die obere Spiegelschicht in dem Bereich oder den Bereichen hinein geätzt wird, die die gewünschte optische Kavität der optoelektronischen Vorrichtung umgeben. Bei einer Ausführungsform kann die Schicht **52** unter der oberen Spiegelschicht als Ätzstoppschicht dienen. Dann ist eine zweite Materialschicht **58** oberhalb der oberen Spiegelschicht vorgesehen. Die zweite Materialschicht ist vorzugsweise über sowohl den geätzten als auch den nicht geätzten Bereichen der oberen Spiegelschicht vorgesehen, kann aber nur oberhalb der nicht geätzten Bereiche, falls erwünscht, vorgesehen sein. Bei dieser Ausführungsform sollten die in den [Fig. 2-3](#) mit **56** bezeichneten Bereiche das gleiche kreuzweise schraffierte Muster wie die Schicht **53** aufweisen und der Brechungsindex dieser Bereiche sollte kleiner als der Brechungsindex der Schicht **52** sein.

[0045] Ein weiterer veranschaulichender Ansatz zum Steuern von Quermoden einer optoelektronischen Vorrichtung ist in [Fig. 4](#) gezeigt. [Fig. 4](#) ist eine schematische Querschnittsseitenansicht eines planaren, stromgeführten, oberflächenemittierenden GaAs/AlGaAs-Lasers mit vertikaler Kavität, wie in [Fig. 1](#), mit einem weiteren veranschaulichenden auf der Oberseite befestigten Modensteuerresonanzreflektor **70**. Bei dieser Ausführungsform wird der Resonanzreflektor **70** gebildet, indem in eine oder mehrere der oberen Spiegelschichten **72** der optoelektronischen Vorrichtung hinein, aber nicht vollständig durchgeätzt wird. Der geätzte Bereich, im ganzen bei **74** gezeigt, begrenzt vorzugsweise die gewünschte optische Kavität der optoelektronischen Vorrichtung und hat eine Tiefe, die eine Phasenverschiebung bewirkt, die das Reflexionsvermögen des Resonanzreflektors **70** bei der gewünschten Betriebswellenlänge verringert, wie zum Beispiel eine Tiefe, die einer ungeraden Vielfachen von $\lambda/4$ entspricht. Um für eine weitere Differenzierung zu sorgen, kann ein Deckelspiegel **70** mit einer oder mehreren zusätzlichen Schichten auf gewählten nicht gemusterten Bereichen **78** der oberen Spiegelschicht **72** vorgesehen sein, wie zum Beispiel über der gewünschten opti-

schen Kavität der optoelektronischen Vorrichtung. Der Deckelspiegel **70** kann eine oder mehrere Perioden eines herkömmlichen Halbleiter-DBR-Spiegels und in höherem Maße bevorzugt ein schmalbandiges dielektrisches Reflexionsfilter aufweisen. Auf gewählten Bereichen der oberen Spiegelschicht **72** kann eine Metallschicht vorgesehen sein. Die Metallschicht kann als obere Kontaktschicht dienen.

[0046] Beim Herstellen des Resonanzreflektors **70** und nun Bezug nehmend auf die [Fig. 5A–Fig. 5D](#) wird eine obere Spiegelschicht **72** (oder eine andere obere Schicht) gemustert und geätzt, um einen oder mehrere geätzte Bereiche **74** zu bilden. Die geätzten Bereiche **74** sind vorzugsweise ausgebildet, um die gewünschte optische Kavität der optoelektronischen Vorrichtung zu begrenzen. Die geätzten Bereiche **74** sind vorzugsweise auch auf eine Tiefe hinunter geätzt, die eine Phasenverschiebung im einfallenden Licht verursacht, wodurch das Reflexionsvermögen des Resonanzreflektor **70** in diesen Bereichen verringert wird.

[0047] Als Nächstes und wie in [Fig. 5C](#) gezeigt, wird ein Deckelspiegel **76** auf der gemusterten oberen Spiegelschicht **72** ausgebildet. Wie oben angegeben, kann die obere Spiegelschicht **72** eine oder mehrere Halbleiter-DBR-Spiegelperioden und/oder ein schmalbandiges dielektrisches Reflexionsfilter aufweisen. In jedem Fall und um für eine weitere Differenzierung hinsichtlich des Reflexionsvermögens zu sorgen, kann der Deckelspiegel **76** abgesehen von den Bereichen weg geätzt werden, die der gewünschten optischen Kavität der optoelektronischen Vorrichtung entsprechen. Dies ist in [Fig. 5D](#) gezeigt. Alternativ kann der gemusterte Deckelspiegel **76** unter Verwendung von bekannten Abhebertechniken ausgebildet werden. Danach kann auf den gewählten Bereichen der oberen Spiegelschicht **72** eine Kontaktschicht **80** bereitgestellt werden. Die Kontaktschicht **80** kann für einen elektrischen Kontakt zu der oberen Spiegelschicht **72** sorgen.

[0048] Nach Beschreibung der bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung werden Fachleute auf dem Gebiet einfach erkennen, dass die darin gefundenen Lehren auf weitere Ausführungsformen innerhalb des Umfangs der beigefügten Ansprüche angewendet werden können.

Patentansprüche

1. Resonanzreflektor (**50**) für ein optoelektronisches Gerät (**54**), das auf eine Wellenlänge abgestimmt ist, wobei der Resonanzreflektor (**50**) umfasst: eine Spiegelschicht; und eine erste Materialschicht mit einem ersten Brechungsindex (**56**), wobei die erste Materialschicht einen oder mehrere gemusterte Bereiche (**60**), die sich nach unten durch die erste Materialschicht hindurch

erstrecken, und nicht gemusterte Bereiche mit einer Dicke einer geraden Vielfachen eines Viertels der Wellenlänge aufweist; wobei eine Auswahl des einen oder der mehreren gemusterten Bereiche mit einem zweiten Material (**58**) versehen ist, das einen zweiten Brechungsindex hat, wobei das zweite Material eine Dicke der geraden Vielfachen eines Viertels der Wellenlänge aufweist, so dass bei der Auswahl des einen oder der mehreren gemusterten Bereiche das zweite Material innerhalb des einen oder der mehreren Bereiche im Wesentlichen mit dem ersten Material bündig ist, und wobei die Spiegelschicht (**52**) einen dritten Brechungsindex aufweist und benachbart zu der ersten Materialschicht (**56**) angeordnet ist.

2. Resonanzreflektor (**50**) nach Anspruch 1, bei dem der erste Brechungsindex größer ist als der zweite Brechungsindex.

3. Resonanzreflektor (**50**) nach Anspruch 1, bei dem der eine oder die mehreren gemusterten Bereiche (**60**) das Reflexionsvermögen des Resonanzreflektors (**50**) in diesen Bereichen reduzieren.

4. Resonanzreflektor nach Anspruch 3, bei dem der eine oder die mehreren gemusterten Bereiche (**60**) angeordnet sind, um für eine Steuerung des optoelektronischen Geräts (**54**) zu sorgen.

5. Resonanzreflektor (**50**) für ein optoelektronisches Gerät (**54**), das auf eine Wellenlänge abgestimmt ist, wobei der Resonanzreflektor (**50**) umfasst: eine Spiegelschicht, die aus einer ersten Materialschicht mit einem ersten Brechungsindex (**56**) hergestellt ist, wobei die erste Materialschicht einen oder mehrere gemusterte Bereiche (**60**), die sich nach unten durch die erste Materialschicht hindurch erstrecken, und nicht gemusterte Bereiche mit einer Dicke einer geraden Vielfachen eines Viertels der Wellenlänge aufweist; wobei eine Auswahl des einen oder der mehreren gemusterten Bereiche mit einem zweiten Material (**58**) versehen ist, das einen zweiten Brechungsindex hat, wobei das zweite Material eine Dicke der geraden Vielfachen eines Viertels der Wellenlänge aufweist, so dass bei der Auswahl des einen oder der mehreren gemusterten Bereiche das zweite Material innerhalb des einen oder der mehreren Bereiche im Wesentlichen mit dem ersten Material bündig ist.

6. Resonanzreflektor (**50**) nach Anspruch 1, bei dem das zweite Material sich außerhalb des einen oder der mehreren gemusterten Bereiche über die nicht gemusterten Bereiche der ersten Materialschicht erstreckt.

7. Resonanzreflektor (**50**) nach Anspruch 1, bei dem die gemusterten Bereiche (**60**) der ersten Materialschicht (**56**) geätzte Abschnitte der ersten Materi-

alschicht in dem Bereich oder den Bereichen aufweisen, die einen gewünschten optischen Hohlraum des optoelektronischen Geräts begrenzen.

8. Resonanzreflektor (**50**) nach Anspruch 1, bei dem die ersten und zweiten Brechungsindizes kleiner als der dritte Brechungsindex sind.

9. Resonanzreflektor (**50**) nach Anspruch 5, bei dem die gemusterten Bereiche (**60**) der ersten Materialschicht (**56**) geätzte Abschnitte der ersten Materialschicht in dem Bereich oder den Bereichen aufweisen, die einen gewünschten optischen Hohlraum des optoelektronischen Geräts begrenzen.

10. Resonanzreflektor (**50**) nach Anspruch 5, bei dem das zweite Material sich außerhalb des einen oder der mehreren gemusterten Bereiche über die ungemusterten Bereiche der ersten Materialschicht erstreckt.

11. Resonanzreflektor (**50**) nach Anspruch 5, bei dem der erste Brechungsindex größer als der zweite Brechungsindex ist.

Es folgen 12 Blatt Zeichnungen

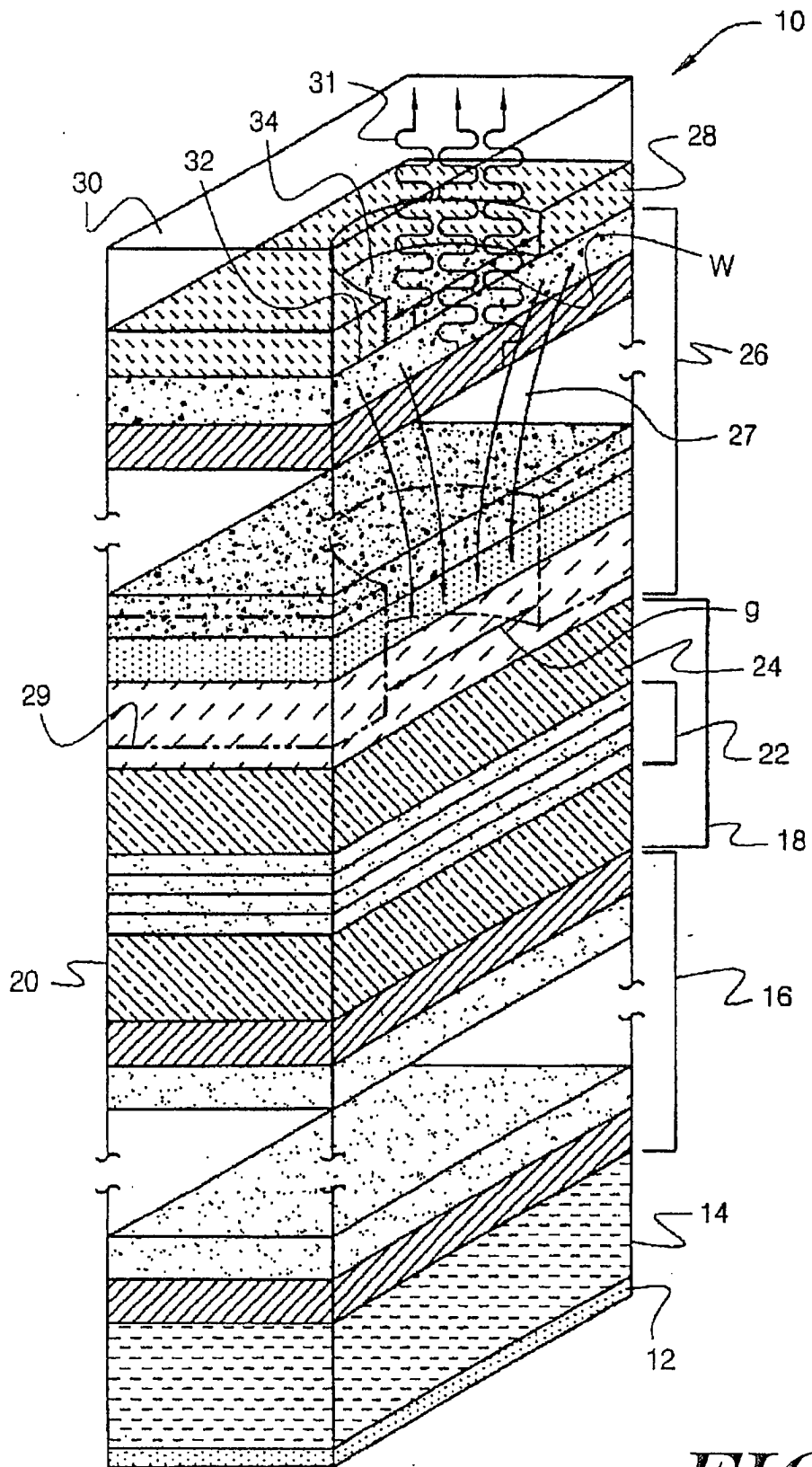


FIG. 1

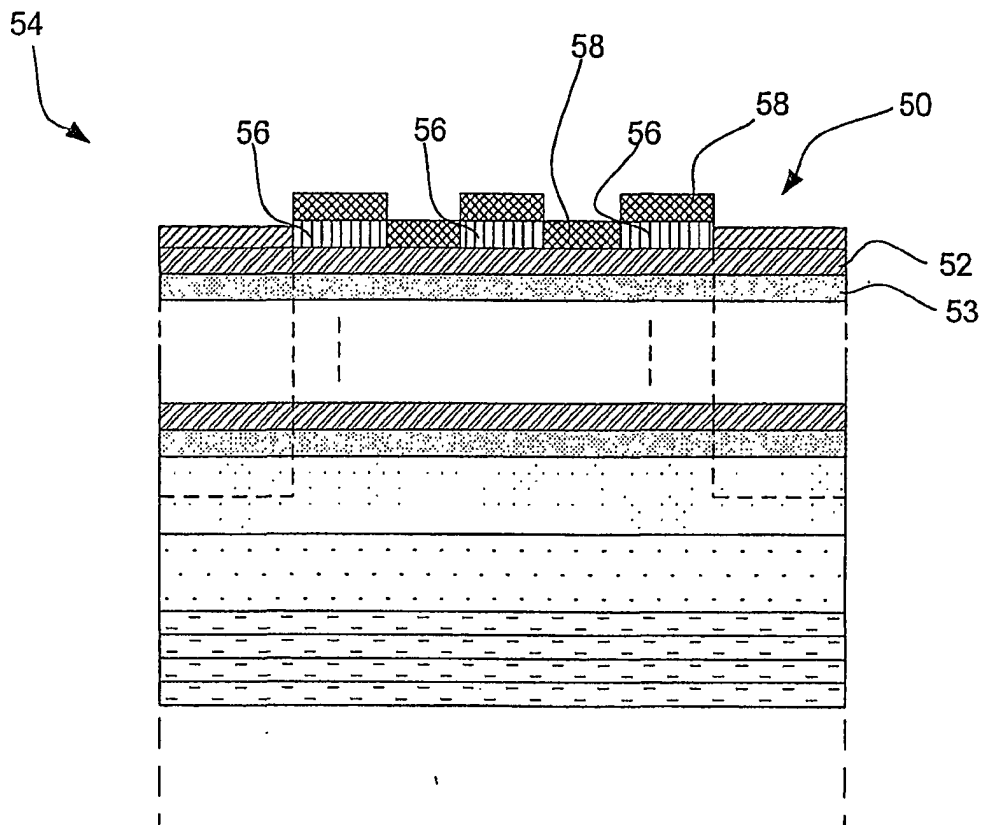


FIG. 2

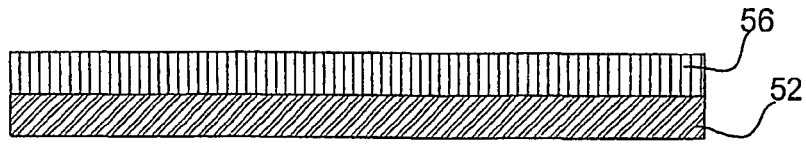


FIG. 3A

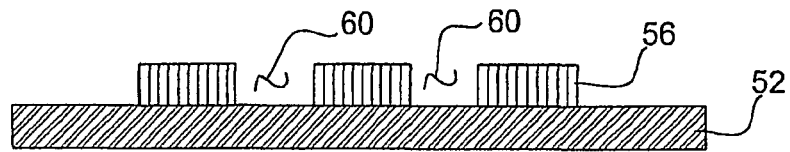


FIG. 3B

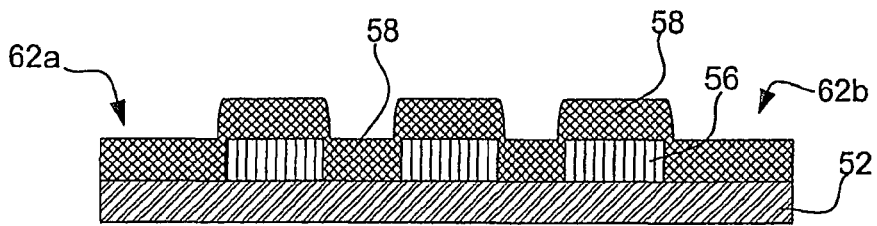


FIG. 3C

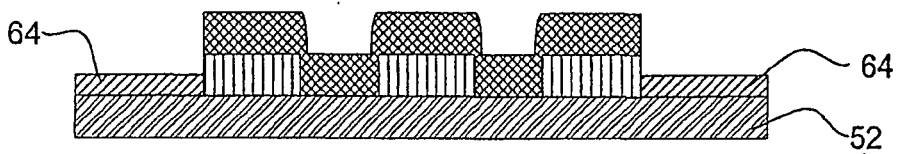


FIG. 3D

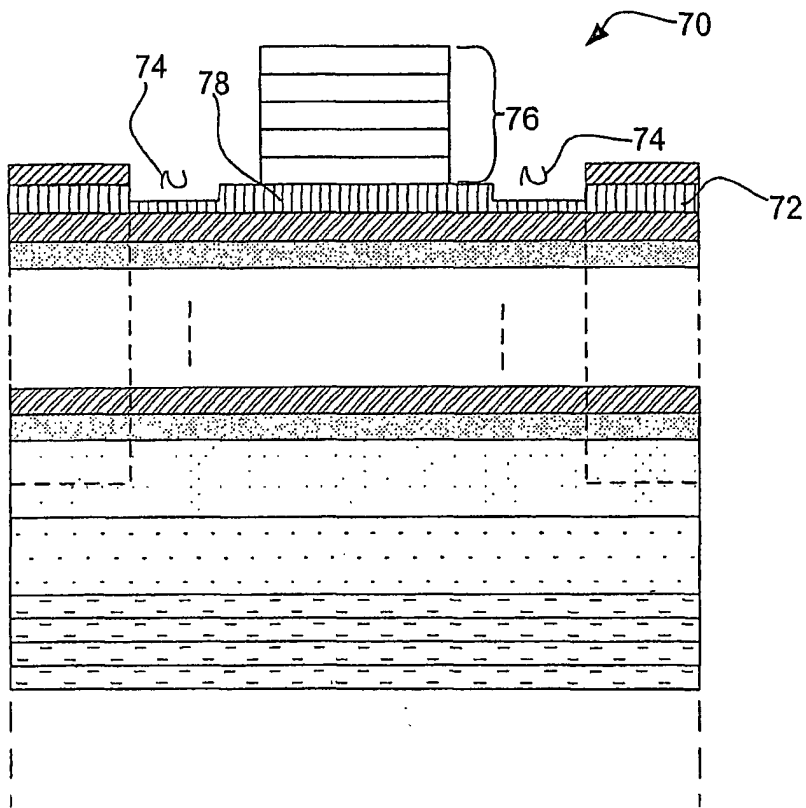


FIG. 4

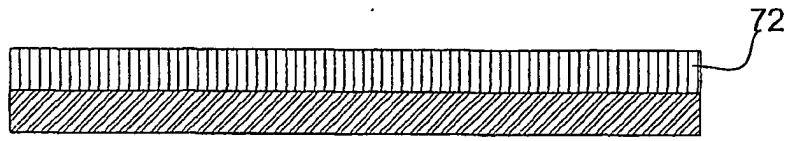


FIG. 5A

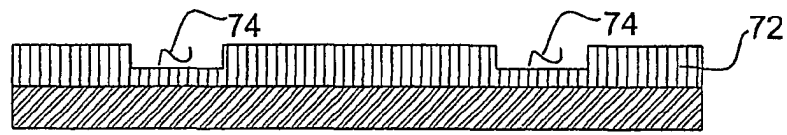


FIG. 5B

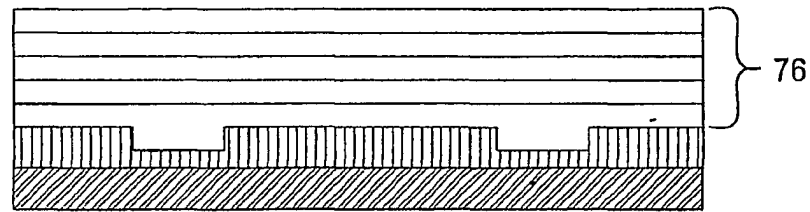


FIG. 5C

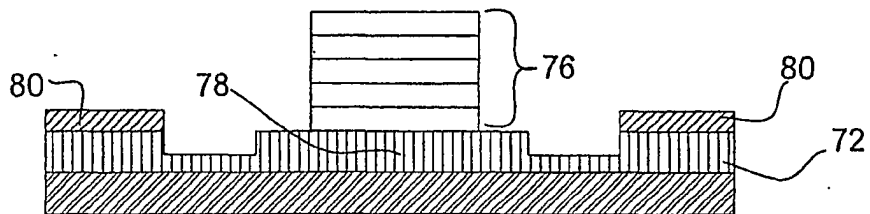


FIG. 5D

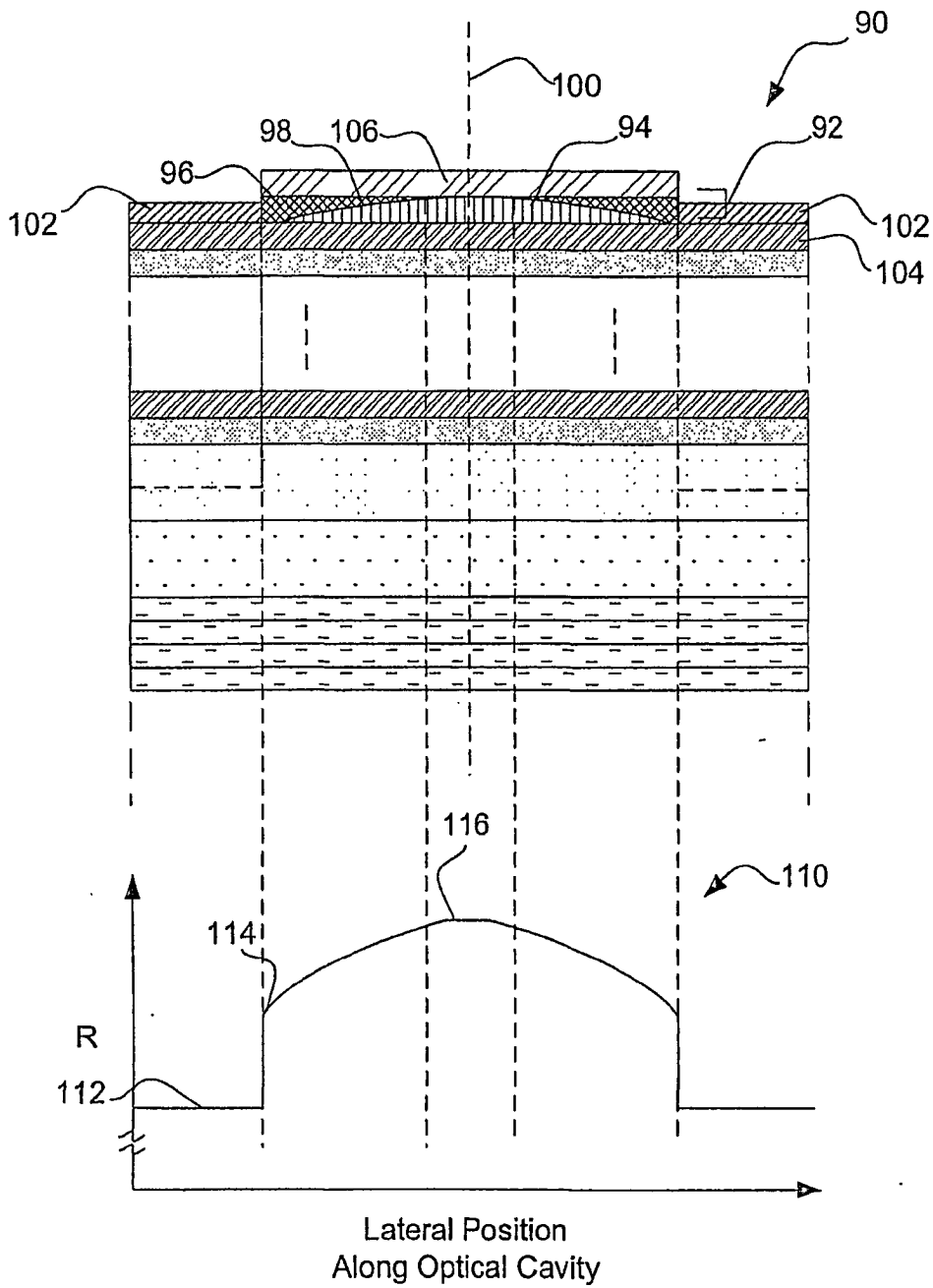


FIG. 6

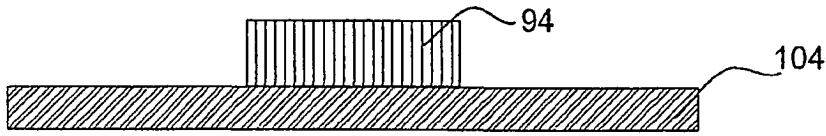


FIG. 7A

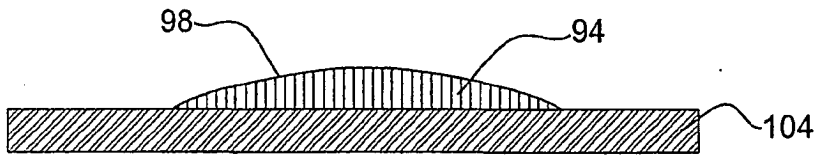


FIG. 7B

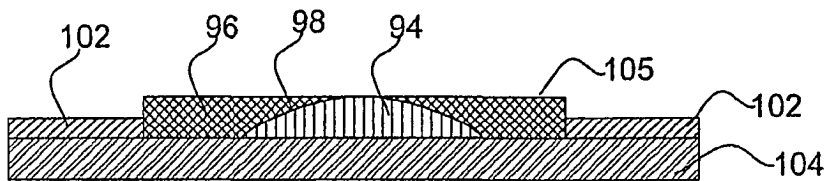


FIG. 7C

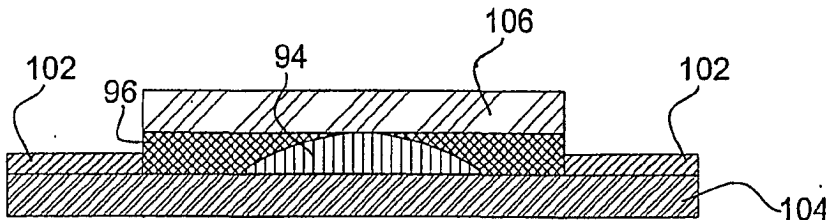


FIG. 7D

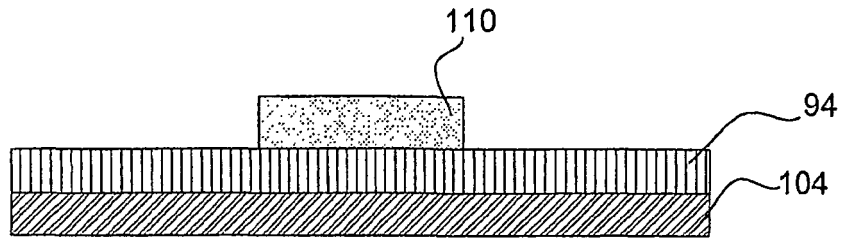


FIG. 8A

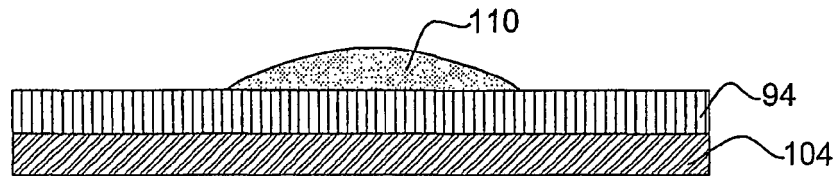


FIG. 8B

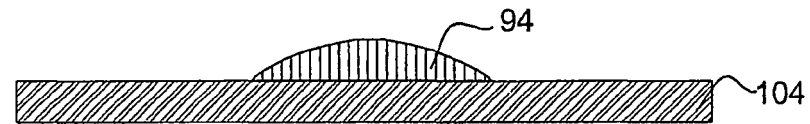


FIG. 8C

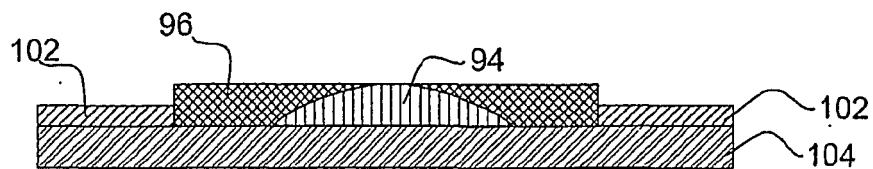


FIG. 8D

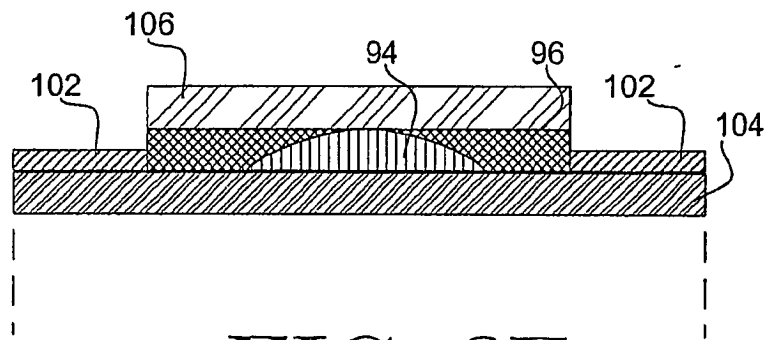


FIG. 8E

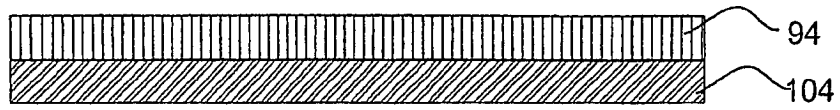


FIG. 9A

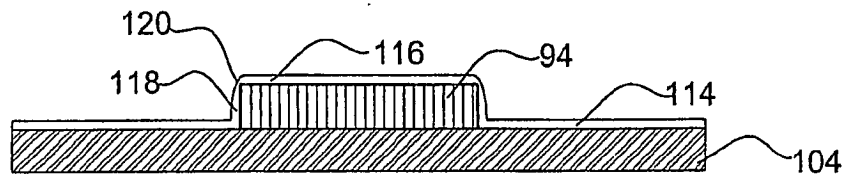


FIG. 9B

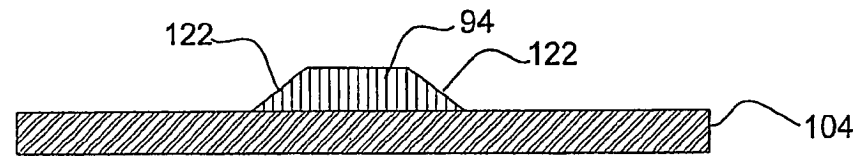


FIG. 9C

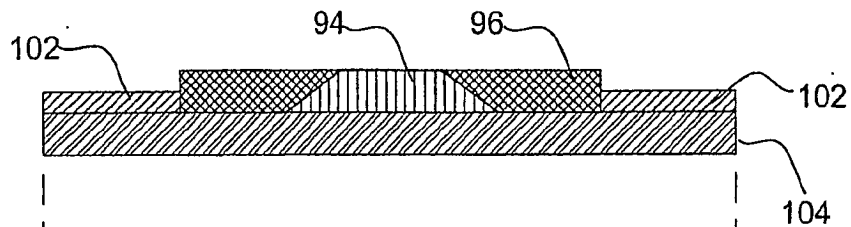


FIG. 9D

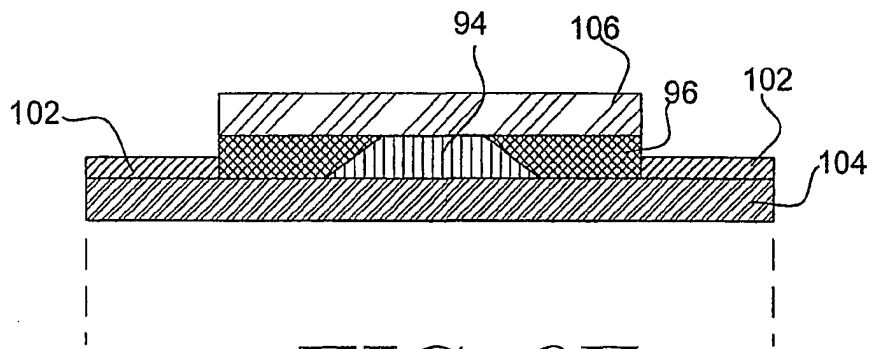


FIG. 9E

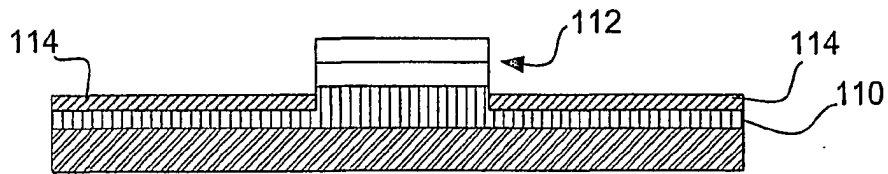


FIG. 10

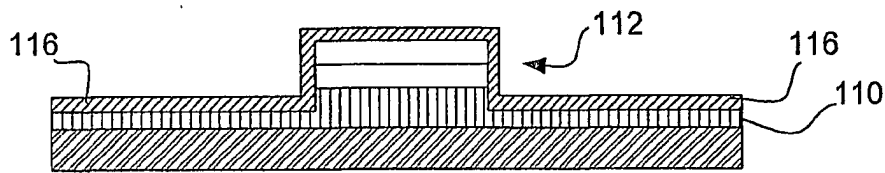


FIG. 11

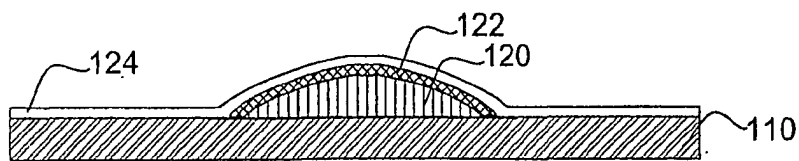


FIG. 12