



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 02 387 T2** 2004.02.12

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 037 341 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 02 387.7**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 102 463.7**

(96) Europäischer Anmeldetag: **04.02.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **20.09.2000**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **02.05.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **12.02.2004**

(51) Int Cl.7: **H01S 5/04**

**H01S 5/026, H01S 5/183**

(30) Unionspriorität:

**263696                      05.03.1999                      US**

(73) Patentinhaber:

**Agilent Technologies, Inc. (n.d.Ges.d.Staates  
Delaware), Palo Alto, Calif., US**

(74) Vertreter:

**BOEHMERT & BOEHMERT, 80336 München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**DE, FR, GB**

(72) Erfinder:

**Tan, Michael R. T., Menlo Park, US; Babic,  
Dubravko I., Sunnyvale, US; Corzine, Scott W.,  
Sunnyvale, US; Ranganath, Tirmula R., Palo Alto,  
US; Wang, Shih-Yuan, Palo Alto, CA 94306, US; Bi,  
Wayne, Fremont, CA 94536, US**

(54) Bezeichnung: **Optisch gepumpter VCSEL**

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

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

**Beschreibung**

## Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung betrifft allgemein oberflächenemittierende Laser mit Vertikalkavität und insbesondere einen optisch gepumpten oberflächenemittierenden Laser mit Vertikalkavität.

## Beschreibung des verwandten Standes der Technik

[0002] Oberflächenemittierende Laser mit Vertikalkavität (VCSELs) besitzen mehrere Vorzüge gegenüber herkömmlichen randemittierenden Lasern, wie geringere Herstellungskosten, eine gute Strahlqualität und skalierbare Geometrien. Diese Eigenschaften machen VCSELs vorteilhaft für viele Anwendungen. Insbesondere sind VCSELs, die langwelliges Licht (1300 nm bis 1550 nm) erzeugen können, für optische Datenübertragungen von Interesse.

[0003] Ein VCSEL kann durch elektrischen Strom betrieben werden oder er kann optisch gepumpt werden, um das Ausgabelaserlicht zu erzeugen. Ein konventioneller stromgespeicherter VCSEL umfaßt einen aktiven Bereich, der zwischen zwei verteilten Bragg-Reflektoren (DBRs) angeordnet ist, die auf einem Substrat ausgebildet sind. Zusätzlich umfaßt der stromgespeiste VCSEL zwei Ohm'sche Kontakte, um elektrischen Strom an den aktiven Bereich anzulegen. Typischerweise befindet sich einer der Ohm'schen Kontakte unter dem Substrat, während sich der andere Ohm'sche Kontakt oberhalb der Oberseite des DBR befindet. Wenn eine Spannung an die Kontakte angelegt wird, wird ein Strom in den aktiven Bereich eingespeist, wodurch eine Lichtemission des aktiven Bereichs hervorgerufen wird. Das emittierte Licht wird zwischen den zwei DBRs reflektiert. Ein Teil des emittierten Lichts kann durch den oberen DBR oder durch den unteren DBR als das Ausgabelicht des Lasers propagieren.

[0004] Ein konventioneller optisch gepumpter VCSEL umfaßt ebenfalls einen aktiven Bereich zwischen zwei DBRs. Der optisch gepumpte VCSEL umfaßt jedoch eine Lichtquelle oder ist betriebswirksam mit einer solchen verbunden. Die Lichtquelle kann ein anderer VCSEL oder eine lichtemittierende Diode sein. Der optisch gepumpte VCSEL erzeugt ein Ausgabelaserlicht durch Absorbieren von „Pumplicht“, das von der Lichtquelle bereitgestellt wird. Das Pumplicht wird von dem aktiven Bereich absorbiert, wodurch eine Emission des Ausgabelaserlichts hervorgerufen wird.

[0005] US-Patent Nr. 5 513 204 von Jayaraman offenbart eine optisch gepumpte VCSEL-Vorrichtung, die einen kurzwelligen VCSEL umfaßt, der einen langwelligen VCSEL optisch pumpt, der mit dem kurzwelligen VCSEL gekoppelt ist. Eine Ausführungsform der optisch gepumpten VCSEL-Vorrichtung von Jayaraman ist in **Fig. 1** gezeigt. In dieser Ausführungsform umfaßt eine VCSEL-Vorrichtung **10** einen kurz-

welligen VCSEL **12**, der auf einem GaAs-Substrat **14** ausgebildet ist. Der kurzwellige VCSEL **12** umfaßt einen aktiven Bereich **16** und Spiegel **18** und **20**. Die VCSEL-Vorrichtung **10** umfaßt auch einen langwelligen VCSEL **22**, der auf einem GaAs-Substrat **24** ausgebildet ist. Der langwellige VCSEL **22** umfaßt einen aktiven Bereich **26** und Spiegel **28** und **30**. Der Spiegel **28** ist aus alternierenden Schichten von GaAs und AlAs hergestellt, während der Spiegel **30** aus alternierenden Schichten von SiO<sub>2</sub> und TiO<sub>2</sub> hergestellt ist. Der langwellige VCSEL **22** ist mit dem kurzwelligen VCSEL **12** durch eine Schicht **32** eines Klebstoffs verbunden. Der Klebstoff kann ein optisch transparenter Klebstoff oder ein metallisches Bondmaterial sein. In einer alternativen Ausführungsform sind die VCSELs **12** und **22** wärmeverbunden, um eine monolithische Struktur zu bilden.

[0006] Im Betrieb wird der kurzwellige VCSEL **12** anfänglich aktiviert, um Licht **34** mit einer kurzen Peak-Wellenlänge zu emittieren. Die Aktivierung des VCSEL **12** erfordert die Einspeisung von Strom in den aktiven Bereich **16** über Ohm'sche Kontakte (nicht gezeigt). Das Licht **34** propagiert durch den Spiegel **30** des langwelligen VCSEL **22** und trifft auf den aktiven Bereich **26** auf. Das Licht **34** wird von dem aktiven Bereich **26** absorbiert, wodurch Elektronen-Loch-Paare entstehen. Diese Paare sammeln sich in den Quantenpotentialtöpfen innerhalb des aktiven Bereichs **26**, wo sie unter Erzeugung von Laserlicht **36** mit einer langen Peak-Wellenlänge rekombinieren. Das Laserlicht **36** verläßt die VCSEL-Vorrichtung **10** als Ausgabelaserlicht am Spiegel **28** des langwelligen VCSEL **22**.

[0007] Ein Problem bei der VCSEL-Vorrichtung **10** ist, daß ein signifikanter Anteil des Lichts **34** von dem kurzwelligen VCSEL **12**, der zum langwelligen VCSEL **22** gepumpt wurde, mit dem Laserlicht **36** transmittiert wird. Idealerweise enthält das Ausgabelaserlicht nur das langwellige Laserlicht **36**, das von dem langwelligen VCSEL **12** erzeugt wird. Wenn jedoch das kurzwellige Licht **34** den aktiven Bereich **26** des kurzwelligen VCSEL **22** erreicht, wird ein Teil des kurzwelligen Lichts **34** von dem aktiven Bereich **26** nicht absorbiert und wird durch den Spiegel **28** transmittiert. Der Spiegel **28** kann so konstruiert werden, daß er das kurzwellige Licht **34** reflektiert. Es ist jedoch unvermeidbar, daß einiges des kurzwelligen Lichts **34** durch den Spiegel **28** zusammen mit dem Laserlicht **36** als ein Teil des Ausgabelaserlichts transmittiert wird. Wenn die VCSEL-Vorrichtung **10** an ein Lichtleiterkabel gekoppelt ist, kann eine Filtereinrichtung erforderlich sein, um selektiv nur das langwellige Laserlicht **36** von der VCSEL-Vorrichtung **10** durchzulassen, wodurch das System, welches die VCSEL-Vorrichtung **10** verkörpert, komplizierter und kostenintensiver wird.

[0008] Eine andere interessante optisch gepumpte VCSEL-Vorrichtung ist in dem US-Patent Nr. 5 754 578 beschrieben, welches ebenfalls auf Jayaraman veröffentlicht ist. Eine Ausführung der optisch ge-

pumpten VCSEL-Vorrichtung, die in diesem Patent offenbart ist, ist in **Fig. 2** dargestellt. In dieser Ausführungsform umfaßt eine VCSEL-Vorrichtung **38** einen kurzwelligen VCSEL **40** und einen langwelligen VCSEL **42**, die auf einem einzelnen GaAs-Substrat **44** ausgebildet sind. Der kurzwellige VCSEL **40** umfaßt einen aktiven Bereich **46** und Spiegel **48** und **50**. Die Spiegel **48** und **50** sind aus alternierenden Schichten von GaAs und AlGaAs hergestellt. Der kurzwellige VCSEL **40** umfaßt Metallkontakte **52** und **54**, die Strom an die Aktivierungsschicht **46** abgeben. Zusätzlich umfaßt der kurzwellige VCSEL **40** eine Strombegrenzung, die durch Protonenimplantationen oder durch eine Oxidationsschicht **56** realisiert sein kann. Der langwellige VCSEL **42** umfaßt einen aktiven Bereich **58** und Spiegel **60** und **62**. Der Spiegel **62** ist aus alternierenden Schichten von GaAs und AlGaAs hergestellt. Der Spiegel **60** kann jedoch aus vielen verschiedenen Materialien hergestellt sein, die zum Herstellen eines Spiegels in einem VCSEL geeignet sind. Es ist beschrieben, daß der Spiegel **62** in dem gleichen epitaktischen Wachstumsschritt wie der kurzwellige VCSEL **40** aufgewachsen ist.

[0009] Die Arbeitsweise der VCSEL-Vorrichtung **38** ist praktisch identisch zu der Arbeitsweise der VCSEL-Vorrichtung **10** der **Fig. 1**. Zuerst wird Strom in den aktiven Bereich **46** des kurzwelligen VCSEL **40** über die Kontakte **52** und **54** eingespeist. Der eingespeiste Strom regt den aktiven Bereich **46** so an, daß Licht **63** mit einer kurzen Peak-Wellenlänge aus dem kurzwelligen VCSEL **40** emittiert wird. Das Licht **63** propagiert anschließend durch den Spiegel **62** des langwelligen VCSEL **42** und trifft auf den aktiven Bereich **58** auf. Das Licht **63** wird von dem aktiven Bereich **58** absorbiert, wodurch der aktive Bereich **48** angeregt wird, Laserlicht **64** mit einer langen Peak-Wellenlänge zu emittieren. Das Laserlicht **64** verläßt die VCSEL-Vorrichtung **38** als Ausgabelaserlicht von dem Spiegel **60** des langwelligen VCSEL **38**.

[0010] Für die VCSEL-Vorrichtung **38** der **Fig. 2** besteht das gleiche Problem wie für den VCSEL der **Fig. 1**. Das heißt, das Ausgabelaserlicht von der VCSEL-Vorrichtung **38** enthält einen signifikanten Anteil des kurzwelligen Lichts **63**, das von dem kurzwelligen VCSEL **40** emittiert wird. Es kann wieder eine kostenintensive Filtereinrichtung erforderlich sein, um das kurzwellige Licht **63** herauszufiltern und nur das Laserlicht **64** durchzulassen.

[0011] Was benötigt wird, ist eine optisch gepumpte VCSEL-Vorrichtung, die effizient Laserlicht mit einer langen Peak-Wellenlänge ausgeben kann, ohne daß ein externes Filter erforderlich ist.

#### Zusammenfassung der Erfindung

[0012] Bei einer optisch gepumpten oberflächene-mittierenden Laser-Vorrichtung mit Vertikalkavität (VCSEL) und bei einem Verfahren zum Herstellen der Vorrichtung werden zwei getrennte Substrate benutzt, welche einen Filtervorgang ausführen, um se-

lektiv nur Licht mit einer langen Peak-Wellenlänge zu transmittieren, das von der Vorrichtung erzeugt wird. Die optisch gepumpte VCSEL-Vorrichtung ist eine selbstpumpende Vorrichtung, welche das Pumplicht zum Betreiben der Vorrichtung erzeugen kann, um Ausgabelaserlicht mit einer langen Peak-Wellenlänge zu emittieren. Vorzugsweise besitzt das Ausgabelaserlicht eine Peak-Wellenlänge zwischen 1300 nm und 1550 nm, welche für Anwendungen auf dem Gebiet der optischen Datenübertragung wünschenswert ist.

[0013] Die Erfindung ist ferner in den Ansprüchen 1 bis 10 definiert.

[0014] Die optisch gepumpte VCSEL-Vorrichtung umfaßt zwei VCSELs, die unabhängig auf zwei separaten Substraten ausgebildet sind. Eines der beiden VCSELs ist ein strombetriebener kurzwelliger VCSEL, während der andere VCSEL ein optisch gepumpter langwelliger VCSEL ist. Der kurzwellige VCSEL stellt das Licht zur Verfügung, das zum optischen Pumpen des langwelligen VCSEL benötigt wird. Vorzugsweise ist der langwellige VCSEL so konstruiert, daß er Licht mit einer Peak-Wellenlänge zwischen 1250 nm und 1700 nm emittiert, während der kurzwellige VCSEL so konstruiert ist, daß er Licht mit einer Peak-Wellenlänge von weniger als 920 nm, bevorzugt 850 nm, emittiert.

[0015] Der kurzwellige VCSEL umfaßt einen aktiven Bereich und zwei verteilte Bragg-Reflektor Spiegel (DBR), die auf einem der zwei separaten Substrate ausgebildet sind. Der kurzwellige VCSEL kann ein konventioneller VCSEL sein, der kommerziell erhältlich ist. Das Substrat, in dem der kurzwellige VCSEL ausgebildet ist, kann ein GaAs-Substrat sein. Die zwei DBR-Spiegel können Halbleiterspiegel sein, die Materialien umfassen, die typischerweise zum Herstellen eines kurzwelligen VCSEL verwendet werden. Beispielsweise können beide Halbleiter-Spiegel alternierende Schichten von AlGaAs mit einem niedrigen Brechungsindex und AlGaAs mit einem hohen Brechungsindex sein. Der aktive Bereich kann GaAs-Quantenpotentialtöpfe umfassen.

[0016] Der langwellige VCSEL umfaßt einen aktiven Bereich und zwei DBR-Spiegel, die auf dem gleichen Substrat ausgebildet sind. Das Substrat, in dem der langwellige VCSEL ausgebildet ist, kann ein InP-Substrat sein. Einer der zwei DBR-Spiegel des langwelligen VCSEL kann ein Halbleiter-Spiegel sein, während der andere Spiegel ein dielektrischer Spiegel sein kann. Beispielsweise kann der dielektrische DBR-Spiegel aus alternierenden Schichten von SiO<sub>2</sub> und TiO<sub>2</sub> hergestellt sein. Zusätzlich kann der Halbleiter-DBR-Spiegel aus alternierenden Schichten von InGaAsP und InP oder alternierenden Schichten von InGaAs und AlInP oder InP hergestellt sein. Der aktive Bereich kann InGaAsP- oder AlInGaAs-Quantenpotentialtöpfe umfassen. Die Materialien, die zum Herstellen der Komponenten des langwelligen VCSEL verwendet werden, sind für die Erfindung nicht kritisch.

[0017] Der langwellige VCSEL und der kurzwellige VCSEL werden miteinander verbunden, um eine optisch gepumpte VCSEL-Vorrichtung zu bilden. Die zwei VCSELs sind so befestigt, daß die zwei Substrate durch die aktiven Bereiche und die Spiegel der zwei VCSELs getrennt sind. Ein transparenter optischer Klebstoff oder ein metallisches Bondmaterial kann verwendet werden, um dem kurzwelligen VCSEL auf dem langwelligen VCSEL anzubringen. Die Art des Bondmaterials, das zum Koppeln der zwei VCSELs benutzt wird, ist für die Erfindung nicht kritisch.

[0018] Die optisch gepumpte VCSEL-Vorrichtung kann eine oberseitig emittierende Vorrichtung oder eine unterseitig emittierende Vorrichtung sein. Vorzugsweise ist die optisch gepumpte VCSEL-Vorrichtung eine oberseitig emittierende Vorrichtung, bei der der langwellige VCSEL oberhalb des kurzwelligen VCSEL angeordnet ist. Im Betrieb wird der kurzwellige VCSEL durch Anlegen einer Spannung über dem aktiven Bereich des kurzwelligen VCSEL aktiviert, wodurch ein Strom in den aktiven Bereich eingespeist wird. Die Stromeinspeisung bewirkt, daß der aktive Bereich ein erstes Licht mit einer kurzen Peak-Wellenlänge emittiert. Das emittierte Licht propagiert in eine Richtung nach oben und in eine Richtung nach unten. Das erste Licht, das in die Richtung nach unten propagiert, wird von dem Substrat absorbiert, auf dem der kurzwellige VCSEL ausgebildet wurde. Das erste Licht, das in die Richtung nach oben propagiert, trifft auf den aktiven Bereich des langwelligen VCSEL auf. Ein großer Teil des ersten Lichts wird dann von dem aktiven Bereich des langwelligen VCSEL absorbiert.

[0019] Die Absorption des ersten Lichts betreibt (d. h. pumpt optisch) den aktiven Bereich des langwelligen VCSELs, so daß ein zweites Licht mit einer langen Peak-Wellenlänge emittiert wird. Das zweite Licht, das in die Richtung nach unten propagiert, tritt durch das Substrat durch, auf dem der langwellige VCSEL ausgebildet wurde, und verläßt die optisch gepumpte VCSEL-Vorrichtung als Ausgabelaserlicht. Ein hoher Prozentsatz des ersten Lichts, das durch den langwelligen VCSEL propagiert, wird jedoch von dem gleichen Substrat absorbiert, welches dem zweiten Licht den Durchtritt ermöglicht. Daher enthält das Ausgabelaserlicht keinen signifikanten Anteil des ersten Lichts mit der kurzen Peak-Wellenlänge. Das zweite Licht, das in die Richtung nach unten propagiert, tritt durch den kurzwelligen VCSEL und durch das Substrat, auf dem der kurzwellige VCSEL ausgebildet wurde, hindurch und verläßt somit die optisch gepumpte VCSEL-Vorrichtung. Eine Fotodiode kann unter dem Substrat angeordnet werden, auf dem der kurzwellige VCSEL ausgebildet wurde, um das zweite Licht zu überwachen, das von dem langwelligen VCSEL emittiert wird. Da das erste Licht größtenteils von dem kurzwelligen Substrat absorbiert wird, wird die Fotodiode im wesentlichen nur das zweite Licht mit der langen Peak-Wellenlänge empfangen.

[0020] Das Verfahren zum Herstellen einer optisch gepumpten VCSEL-Vorrichtung entsprechend der vorliegenden Erfindung umfaßt einen Schritt, in dem ein kurzwelliger VCSEL auf einem ersten Substrat ausgebildet wird. Ein langwelliger VCSEL wird unabhängig auf einem zweiten Substrat ausgebildet. Der kurzwellige VCSEL wird dann direkt mit dem langwelligen VCSEL verbunden, so daß das erste und zweite Substrat von dem kurzwelligen und dem langwelligen VCSEL getrennt sind. Ein transparenter optischer Klebstoff oder ein metallisches Bondmaterial kann benutzt werden, um den kurzwelligen VCSEL mit dem langwelligen VCSEL zu verbinden. Vorzugsweise werden Flip-Chip-Techniken für den Schritt des Verbindens benutzt. Das Verfahren kann einen optionalen Schritt umfassen, bei dem der langwellige VCSEL mit einem Winkel gegenüber dem kurzwelligen VCSEL positioniert wird, so daß eine ebene Oberfläche des langwelligen VCSEL und eine gegenüberliegende ebene Oberfläche des kurzwelligen VCSEL vor dem Schritt des Verbindens den Winkel zueinander bilden.

[0021] Eine eindimensionale Anordnung oder eine zweidimensionale Anordnung optisch gepumpter VCSEL-Vorrichtung können auch durch Verbinden einer Anordnung langwelliger VCSELs, die auf einem InP-Wafer ausgebildet sind, mit einer Anordnung kurzwelliger VCSELs, die auf einem GaAs-Wafer ausgebildet sind, hergestellt werden. Weiterhin können Wellenlängen-Multiplex-Anordnungen (WDM) in einer ähnlichen Weise hergestellt werden. Die Herstellung der WDM-Anordnung kann dadurch ausgeführt werden, daß die Anordnung der langwelligen VCSELs so konfiguriert wird, daß jeder langwellige VCSEL in der Anordnung der langwelligen VCSELs in der Lage ist, Licht mit einer speziellen Peak-Wellenlänge aus einer Auswahl von Wellenlängen erzeugt. Die Zahl der verschiedenen Peak-Wellenlängen kann abhängig von der Spezifikation der Anlage, in der die WDM-Anordnung enthalten ist, variieren. Die Wellenlängen-Variation in der Anordnung der langwelligen VCSELs kann durch Aufwachsen auf ausgewählten Bereichen des InP-Wafers realisiert werden, um die langwelligen VCSELs zu erstellen, die Licht mit verschiedenen Peak-Wellenlängen erzeugen können.

[0022] Ein Vorteil der Erfindung ist, daß zwei separate Substrate im wesentlichen das gesamte kurzwellige Licht absorbieren, das von dem kurzwelligen VCSEL emittiert wird. Daher umfaßt das Ausgabelaserlicht im wesentlichen nur das langwellige Licht, das von dem langwelligen VCSEL emittiert wird. Durch die Absorption des kurzwelligen Lichts besteht keine Notwendigkeit mehr, eine Filtervorrichtung einzusetzen, um das kurzwellige Licht aus dem Ausgabelaserlicht herauszufiltern.

[0023] Ein anderer Vorteil besteht darin, daß ein Großteil des kurzwelligen Lichts, das in einer Richtung zu dem langwelligen VCSEL propagiert, den langwelligen VCSEL erreicht, da das kurzwellige

Licht nicht durch ein Substrat propagieren muß, um den langwelligen VCSEL zu erreichen. Dadurch wird die Effizienz der Lichterzeugung des langwelligen VCSEL nicht verringert.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0024] **Fig. 1** ist eine schematische Darstellung einer ersten optisch gepumpten VCSEL-Vorrichtung aus dem Stand der Technik mit zwei Substraten.

[0025] **Fig. 2** ist eine schematische Darstellung einer zweiten optisch gepumpten VCSEL-Vorrichtung aus dem Stand der Technik mit einem einzelnen Substrat.

[0026] **Fig. 3** ist eine schematische Darstellung einer optisch gepumpten VCSEL-Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0027] **Fig. 4** ist ein Ablaufdiagramm eines Verfahrens zum Herstellen einer optisch gepumpten VCSEL-Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung.

#### Detaillierte Beschreibung

[0028] Unter Bezugnahme auf **Fig. 3** wird eine optisch gepumpte oberflächenemittierende Laservorrichtung mit Vertikalkavität (VCSEL) **66** gemäß der vorliegenden Erfindung gezeigt. Die VCSEL-Vorrichtung **66** kann in einem Telekommunikationssystem (nicht gezeigt) enthalten sein, um optische Daten zu übertragen. Die VCSEL-Vorrichtung **66** umfaßt einen kurzwelligen VCSEL **68**, der auf einem Substrat **70** ausgebildet ist, und einen langwelligen VCSEL **72**, der auf einem Substrat **74** ausgebildet ist. Vorzugsweise ist das Substrat **74** ein InP-Substrat, während das Substrat **70** ein halbleitendes GaAs-Substrat ist. Beide Substrate können jedoch auch GaAs sein, ohne daß von dem Konzept der Erfindung abgewichen wird. Der kurzwellige VCSEL **68** ist so konstruiert, daß er Licht **76** mit einer kurzen Peak-Wellenlänge aufgrund einer Stromeinspeisung emittiert. Der langwellige VCSEL **72** ist so konstruiert, daß er Licht **78** mit einer langen Peak-Wellenlänge aufgrund einer Absorption des kurzwelligen Lichts **76** emittiert. Daher betreibt der kurzwellige VCSEL **68** den langwelligen VCSEL **72** durch Emittieren des kurzwelligen Lichts **76**, das den langwelligen VCSEL **72** optisch pumpt. Vorzugsweise besitzt das kurzwellige Licht **76** eine Peak-Wellenlänge von 850 nm, und das langwellige Licht **78** besitzt eine Peak-Wellenlänge zwischen 1250 nm und 1700 nm.

[0029] Die VCSEL-Vorrichtung **66** ist keine monolithische Struktur. Die VCSEL-Vorrichtung **66** ist aus zwei separaten Strukturen **80** und **82** hergestellt, die miteinander verbunden wurden. Die obere Struktur **80** umfaßt den langwelligen VCSEL **72** und das Substrat **74**. Die untere Struktur **82** umfaßt Kontaktschichten **84** und **86**, den kurzwelligen VCSEL **68** und das Substrat **70**. Der langwellige VCSEL **72** und der kurzwellige VCSEL **68** sind aneinander angrenzend angeordnet, so daß die Substrate **70** und **74**

von den VCSELs **68** und **72** getrennt werden. Die zwei Strukturen **80** und **82** sind mit einem Klebstoff **88** verbunden. Der Klebstoff **88** kann ein transparenter optischer Klebstoff oder ein metallisches Bondmaterial sein. Die Verbindung der Strukturen **80** und **82** wird vorzugsweise bei einer niedrigen Temperatur ausgeführt, um sicherzustellen, daß die VCSELs **68** und **72** beim Vorgang des Verbindens nicht beschädigt werden.

[0030] Der kurzwellige VCSEL **68** der Struktur **82** umfaßt einen aktiven Bereich **90** und eine strombegrenzende Oxidationsschicht **91**, die zwischen den Spiegeln **92** und **94** eingeschlossen ist. Die Spiegel **92** und **94** können aus Materialien hergestellt sein, die typischerweise zum Herstellen konventioneller kurzwelliger VCSELs verwendet werden. Vorzugsweise sind die Spiegel **92** und **94** halbleitende verteilte Bragg-Reflektoren (DBRs). Beispielsweise können die Spiegel **92** und **94** aus alternierenden Schichten von AlGaAs mit niedrigem Brechungsindex und AlGaAs mit hohem Brechungsindex hergestellt sein. Der Unterschied in den Brechungsindizes wird durch einen Unterschied im prozentualen Aluminiumgehalt in den Schichten hervorgerufen. Der aktive Bereich **90** umfaßt GaAs-Quantenpotentialtöpfe (nicht gezeigt). Die Kontaktschichten **84** und **86**, welche die obere und die untere Oberfläche der Struktur **82** definieren, sind aus einem metallischen Material, wie eine Aluminium-Germanium-Nickel-Legierung, hergestellt.

[0031] Der Licht-Emissions-Betrieb des kurzwelligen VCSEL **68** beginnt, wenn eine Spannung an den Kontaktschichten **84** und **86** angelegt wird. Die angelegte Spannung bewirkt, daß ein Strom in den aktiven Bereich **90** eingespeist wird, wodurch die Abstrahlung von Lichtenergie durch die Quantenpotentialtöpfe des aktiven Bereichs **90** hervorgerufen wird. Die abgestrahlte Lichtenergie wird zwischen den Spiegeln **92** und **94** reflektiert. Ein Teil der abgestrahlten Lichtenergie verläßt die Kavität, die durch die Spiegel **92** und **94** definiert ist, als das kurzwellige Licht **76**, das zu dem langwelligen VCSEL **72** propagiert. Ein Teil der abgestrahlten Lichtenergie entweicht jedoch aus der Kavität als Licht, das die gleiche Wellenlänge wie das Licht **76** besitzt, in der Richtung des Substrats **70**. Dieses Licht wird letztlich von dem Substrat **70** absorbiert. Die Eigenschaften des Substrats **70** sind so, daß Licht mit einer Wellenlänge von etwa 850 nm oder weniger von dem Substrat absorbiert wird.

[0032] Der langwellige VCSEL **72** des oberen Substrats **80** umfaßt einen aktiven Bereich **96**, der zwischen Spiegeln **98** und **100** angeordnet ist. Der Spiegel **98** ist ein halbleitender DBR, während der Spiegel **100** ein dielektrischer DBR ist. Der halbleitende DBR-Spiegel **98** kann aus alternierenden Schichten von InGaAsP und InP hergestellt sein. In einer alternativen Konfiguration kann der Spiegel **98** aus alternierenden Schichten von InGaAlAs und InP oder AlInP hergestellt sein. Der dielektrische DBR-Spiegel **100** kann aus alternierenden Schichten von SiO<sub>2</sub> und

TiO<sub>2</sub> hergestellt sein. Es können jedoch auch andere dielektrische Materialien benutzt werden. Der aktive Bereich **96** kann InGaAsP- oder AlInGaAs-Quantenpotentialtöpfe (nicht gezeigt) umfassen. Die Materialien, die zum Herstellen des aktiven Bereichs **96** und der Spiegel **98** und **100** benutzt werden, sind für die Erfindung nicht kritisch.

[0033] Der langwellige VCSEL **72** wird so betrieben, daß er langwelliges Licht **78** durch Absorbieren des kurzwelligen Lichts **76**, das von dem kurzwelligen VCSEL **98** emittiert wird, erzeugt. Das emittierte kurzwellige Licht **76** propagiert durch den unteren Spiegel **100** des langwelligen VCSEL **72** und wird von dem aktiven Bereich **96** absorbiert. Die Absorption des kurzwelligen Lichts **76** durch den aktiven Bereich **96** bringt den aktiven Bereich **96** dazu, langwelliges Licht zu emittieren. Ein Teil des emittierten langwelligen Lichts propagiert in einer Richtung nach oben zu dem Substrat **74**. Ein Teil des langwelligen Lichts wird jedoch von dem aktiven Bereich **96** in einer Richtung nach unten zu dem kurzwelligen VCSEL **68** emittiert. Dieses langwellige Licht propagiert durch den kurzwelligen VCSEL **96** und durch das GaAs-Substrat **70**. Das nach unten propagierte langwellige Licht entweicht letztlich aus der VCSEL-Vorrichtung **66** durch Austreten aus der Kontaktschicht **86**. Da das kurzwellige Licht, das von dem kurzwelligen VCSEL **68** emittiert wird, von dem Substrat **70** absorbiert wird, ist das einzige Licht, das den VCSEL **66** durch die Kontaktschicht **86** verläßt, ein Anteil des langwelligen Lichts, der von dem langwelligen VCSEL **72** emittiert wird. Daher kann die Intensität des langwelligen Lichts, das von dem langwelligen VCSEL **72** erzeugt wird, durch Anordnung einer Fotodiode unterhalb der Kontaktschicht **86** überwacht werden.

[0034] In der entgegengesetzten Richtung propagiert das langwellige Licht, das in der Richtung nach oben zu dem Substrat **74** emittiert wird, durch den Spiegel **96** und durch das Substrat **74**. Das Substrat **74** ist so gestaltet, daß es Licht mit einer Wellenlänge von etwa 920 nm oder weniger absorbiert. Wie vorhergehend erwähnt, besitzt in einer bevorzugten Ausführungsform das kurzwellige Licht **76**, das von dem kurzwelligen VCSEL **76** emittiert wird, eine Peak-Wellenlänge von 850 nm, während das langwellige Licht, das von dem langwelligen VCSEL **72** emittiert wird, eine Peak-Wellenlänge zwischen 1250 nm und 1700 nm besitzt. Daher wird das kurzwellige Licht **76** von dem Substrat **74** absorbiert und nur das langwellige Licht **78** ist in der Lage, durch das Substrat **74** zu propagieren. Das Substrat **74** filtert tatsächlich das kurzwellige Licht **76**, das durch das Substrat **74** propagiert, heraus, so daß keine Notwendigkeit für einen externen Filter besteht, der zwischen dem Substrat **74** und einem damit verbundenen optischen Lichtleiterkabel (nicht gezeigt) angeordnet ist.

[0035] In einer alternativen Ausführungsform ist die obere Struktur **80** gegenüber der ebenen Oberfläche der unteren Struktur **82** geneigt. Dies kann durch Vergrößern der Dicke des Klebstoffs **88** auf einer Seite

der oberen Struktur **80** erreicht werden. Die Neigung der oberen Struktur **80** erzeugt einen Winkel zwischen den gegenüberliegenden ebenen Oberflächen des kurzwelligen VCSEL **86** und des langwelligen VCSEL **72**. Der Winkel verhindert, daß ein großer Anteil des kurzwelligen Lichts **76**, das von der unteren Oberfläche des langwelligen VCSEL **72** reflektiert wird, zurück in den kurzwelligen VCSEL **68** transmittiert wird.

[0036] Ein Verfahren zum Herstellen einer optisch gepumpten VCSEL-Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung wird unter Bezugnahme auf die Fig. 4 beschrieben. In Schritt **102** wird ein kurzwelliger VCSEL auf einem ersten Substrat ausgebildet. Der kurzwellige VCSEL kann ein herkömmlicher, strombetriebener VCSEL sein. Vorzugsweise ist der kurzwellige VCSEL so eingerichtet, daß er Licht mit einer Peak-Wellenlänge von 850 nm emittiert. In Schritt **104** wird als nächstes ein langwelliger VCSEL unabhängig auf einem zweiten Substrat ausgebildet. Vorzugsweise ist der langwellige VCSEL so eingerichtet, daß er Licht mit einer Peak-Wellenlänge zwischen 1300 nm und 1550 nm durch Absorbieren des kurzwelligen Lichts, das von dem kurzwelligen VCSEL emittiert wird, emittiert. In einer bevorzugten Ausführungsform besitzen das erste und zweite Substrat eine übereinstimmende Transmissionscharakteristik beim Absorbieren des Lichts, das von dem kurzwelligen VCSEL emittiert wird, während dem Licht, das von dem langwelligen VCSEL emittiert wird, ermöglicht wird, durch die Substrate zu transmittieren. In Schritt **106** wird der kurzwellige VCSEL direkt mit dem langwelligen VCSEL verbunden, so daß das erste und zweite Substrat von dem kurzwelligen und dem langwelligen VCSEL getrennt werden. Ein transparenter optischer Klebstoff oder ein metallisches Bondmaterial kann benutzt werden, um den kurzwelligen VCSEL mit dem langwelligen VCSEL zu verbinden. Vorzugsweise werden bei dem Verbindungsschritt Flip-Chip-Techniken benutzt. Das Verfahren kann optional einen Schritt zum Positionieren des langwelligen VCSEL in einen Winkel gegenüber dem kurzwelligen VCSEL umfassen, so daß eine ebene Oberfläche des langwelligen VCSEL und eine gegenüberliegende ebene Oberfläche des kurzwelligen VCSEL einen Winkel zueinander vor dem Schritt **106** bilden.

[0037] Obgleich bei dem oben genannten Verfahren nur eine einzelne VCSEL-Vorrichtung hergestellt wird, können eine eindimensionale Anordnung oder eine zweidimensionale Anordnung von optisch gepumpten VCSEL-Vorrichtungen, die identisch zu der VCSEL-Vorrichtung **66** der Fig. 3 sind, hergestellt werden, indem eine Anordnung von langwelligen VCSELs, die auf einem InP-Wafer ausgebildet sind, mit einer Anordnung von kurzwelligen VCSELs, die auf einem GaAs-Wafer ausgebildet sind, verbunden werden. Weiterhin kann eine Wellenlängen-Multiplex-Anordnung (WDM) in einer ähnlichen Weise hergestellt werden. Die Herstellung der WDM-Anordnung kann

dadurch ausgeführt werden, daß die Anordnung der langwelligen VCSELs so konfiguriert wird, daß jedes langwellige VCSEL in der Anordnung der langwelligen VCSELs in der Lage ist, Licht mit einer bestimmten Peak-Wellenlänge aus einer Auswahl von Wellenlängen erzeugt. Die Zahl der verschiedenen Peak-Wellenlängen kann abhängig von der Spezifikation der Apparatur, in der die WDM-Anordnungen enthalten sind, variieren. Die Wellenlängenvariationen in der Anordnung der langwelligen VCSELs kann durch Aufwachsen auf selektiven Bereichen auf dem InP-Wafer realisiert werden, um die langwelligen VCSELs hervorzubringen, die Licht mit verschiedenen Peak-Wellenlängen erzeugen können.

### Patentansprüche

1. Optisch gepumpte oberflächenlichtemittierende Vorrichtung (**66**), die folgendes umfaßt: eine erste lichterzeugende Struktur (**68**), welche ein erstes Licht (**76**) mit einer ersten Peak-Wellenlänge abstrahlt, wobei die erste lichterzeugende Struktur auf einem ersten Substrat (**70**) angeordnet ist, und eine zweite lichterzeugende Struktur (**72**), die ein zweites Licht (**78**) mit einer zweiten Peak-Wellenlänge abstrahlt, wobei die zweite lichterzeugende Struktur auf einem zweiten Substrat (**74**) angeordnet ist und die zweite lichterzeugende Struktur an der ersten lichterzeugenden Struktur physisch so angebracht ist, daß die erste und die zweite lichterzeugende Struktur zwischen dem ersten und dem zweiten Substrat eingeschlossen sind, die zweite lichterzeugende Struktur mit der ersten lichterzeugenden Struktur optisch gekoppelt ist, um das zweite Licht mit der zweiten Peak-Wellenlänge in Reaktion auf das erste Licht mit der ersten Peak-Wellenlänge zu erzeugen, wobei das erste und das zweite Substrat ausgewählte Transmissionscharakteristiken hinsichtlich des ersten und des zweiten Lichts haben, so daß die oberflächenlichtemittierende Vorrichtung hinsichtlich des davon emittierten zweiten Lichts wellenlängenselektiv ist, und die Peak-Wellenlänge des ersten Lichts kürzer als die Peak-Wellenlänge des zweiten Lichts ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der das erste Substrat (**70**) und das zweite Substrat (**74**) eine Transmissionscharakteristik zum Absorbieren des ersten Lichts (**76**) mit der ersten Peak-Wellenlänge haben, während dem zweiten Licht (**78**) mit der zweiten Peak-Wellenlänge ermöglicht wird, durch das erste Substrat und das zweite Substrat transmittiert zu werden, wobei das erste und zweite Substrat dabei hinsichtlich propagierender Lichtenergie wellenlängenselektiv sind.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, bei der das erste Substrat (**70**) GaAs umfaßt und das zweite Substrat (**74**) InP umfaßt.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1, 2 oder 3, bei der die erste lichterzeugende Struktur (**68**) einen ersten oberflächenemittierenden Laser mit Vertikalkavität (VCSEL) definiert und die zweite lichterzeugende Struktur (**72**) einen zweiten VCSEL definiert.

5. Vorrichtung nach Anspruch 1, 2, 3 oder 4, bei der die erste lichterzeugende Struktur (**68**) dafür konfiguriert ist, das erste Licht (**76**) mit einer ersten Peak-Wellenlänge von weniger als 920 nm zu erzeugen, und die zweite lichterzeugende Struktur (**72**) dafür konfiguriert ist, das erste Licht mit der Peak-Wellenlänge zwischen 1250 nm und 1700 nm zu erzeugen.

6. Vorrichtung nach Anspruch 1, 2, 3, 4 oder 5, bei der die erste lichterzeugende Struktur (**68**) auf der zweiten lichterzeugenden Struktur (**72**) durch ein metallisches Bondmaterial (**88**) befestigt ist, wobei das metallische Bondmaterial so angeordnet ist, daß die optische Kopplung zwischen der ersten und zweiten lichterzeugenden Struktur nicht merkbar beeinträchtigt ist.

7. Verfahren zum Herstellen einer optisch gepumpten, oberflächenlichtemittierenden Vorrichtung (**66**), das folgende Schritte umfaßt:

- Bilden (**102**) eines ersten lichtemittierenden Schichtstapels (**68**) auf einem ersten Substrat (**70**), wobei der erste lichtemittierende Schichtstapel mit Strom angeregt wird, um ein erstes Licht (**76**) in einem Wellenlängenbereich mit einer ersten Peak-Wellenlänge in Reaktion auf ein angelegtes elektrisches Signal zu emittieren,
- Unabhängiges Bilden (**104**) eines zweiten lichtemittierenden Schichtstapels (**72**) auf einem zweiten Substrat (**74**), wobei der zweite lichtemittierende Schichtstapel durch das erste Licht optisch angeregt wird, um ein zweites Licht (**78**) in einem Wellenlängenbereich mit einer zweiten Peak-Wellenlänge in Reaktion auf das erste Licht zu emittieren, und das erste und das zweite Substrat ausgewählte Transmissionscharakteristiken hinsichtlich des ersten und des zweiten Lichts haben, so daß die oberflächenlichtemittierende Vorrichtung hinsichtlich des zweiten von ihr emittierten Lichts wellenlängenselektiv ist, und
- Anordnen (**106**) des ersten lichtemittierenden Schichtstapels in Kontakt mit dem zweiten lichtemittierenden Schichtstapel, so daß das erste Substrat von dem zweiten Substrat durch den ersten Schichtstapel und den zweiten Schichtstapel getrennt wird, wobei die Peak-Wellenlänge des ersten Lichts kürzer als die Peak-Wellenlänge des zweiten Lichts ist.

8. Verfahren nach Anspruch 7, bei dem der Schritt des Bildens (**102**) des ersten lichtemittierenden Schichtstapels (**68**) ein Schritt ist, bei dem ein erster oberflächenemittierender Laser mit Vertikalkavität (VCSEL) auf dem ersten Substrat (**70**) gebildet wird, und der Schritt des unabhängigen Bildens des

zweiten lichtemittierenden Schichtstapels (72) ein Schritt ist, bei dem ein zweiter VCSEL auf dem zweiten Substrat (74) gebildet wird.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, bei dem der Schritt des Anordnens (106) des ersten lichtemittierenden Schichtstapels (68) in Kontakt auf dem zweiten lichtemittierenden Schichtstapel (72) das Anordnen des ersten lichtemittierenden Schichtstapels in einem Winkel gegenüber dem zweiten lichtemittierenden Schichtstapel umfaßt, so daß eine planare Oberfläche des ersten lichtemittierenden Schichtstapels gegenüber einer gegenüberliegenden planaren Oberfläche des zweiten lichtemittierenden Schichtstapels im genannten Winkel liegt.

10. Verfahren nach Anspruch 7, 8 oder 9, bei dem der Schritt des Anordnens (106) des ersten lichtemittierenden Schichtstapels (68) in Kontakt auf dem zweiten lichtemittierenden Schichtstapel (72) die Verwendung eines metallischen Bondmaterials (88) umfaßt, um den ersten lichtemittierenden Schichtstapel und den zweiten lichtemittierenden Schichtstapel miteinander zu verbinden.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen



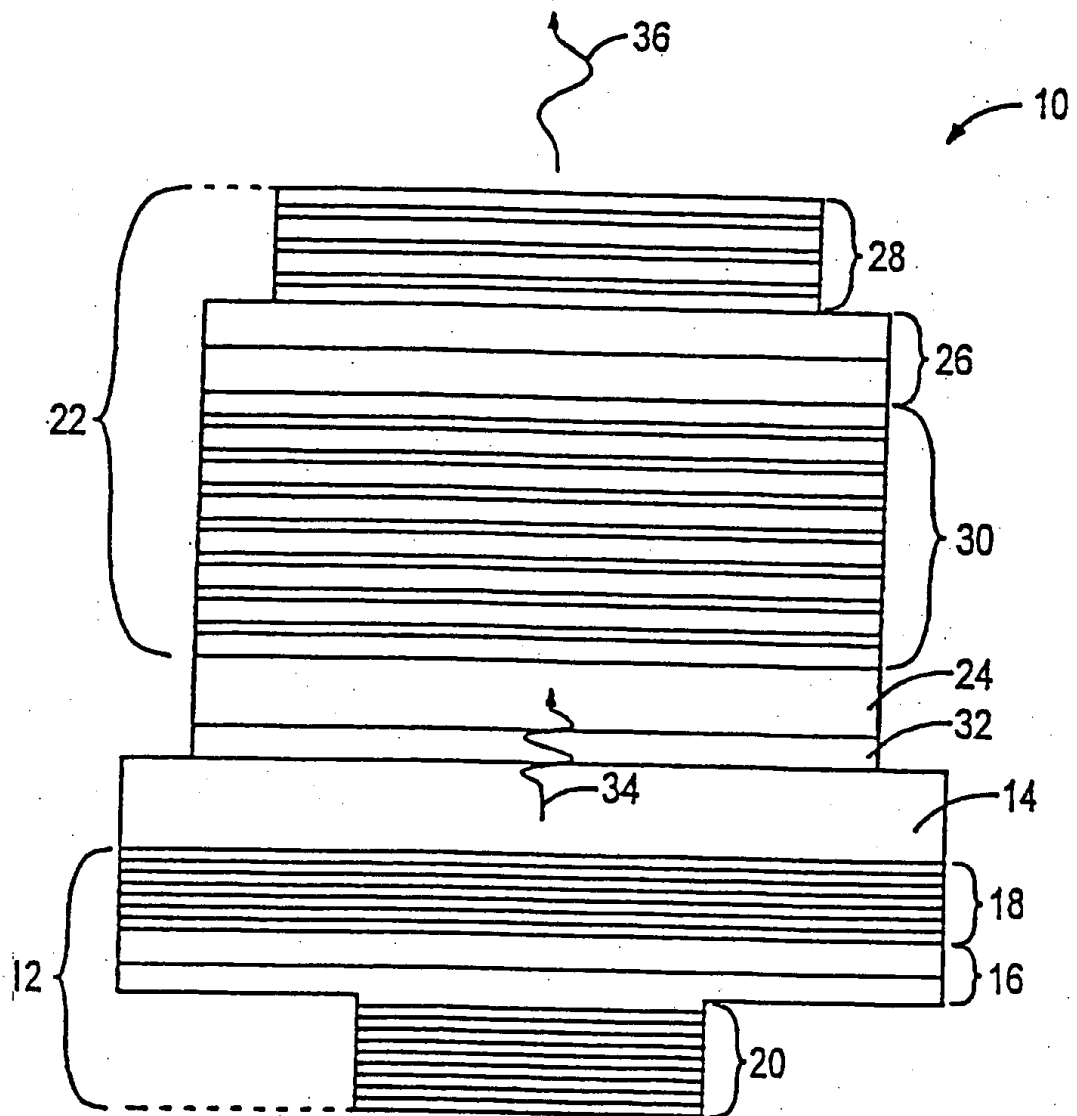


FIG. 1  
(STAND DER TECHNIK)

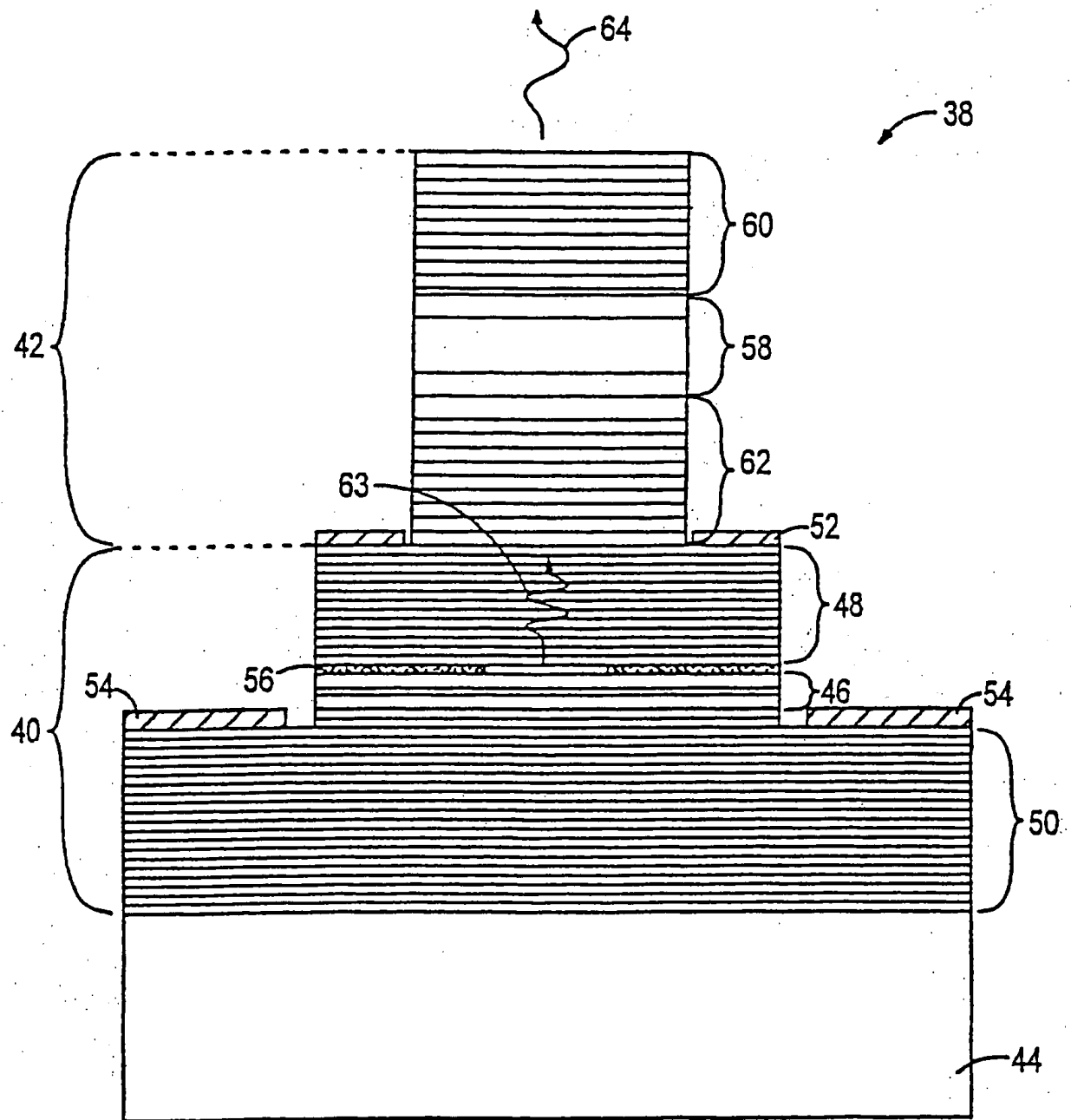


FIG. 2  
(STAND DER TECHNIK)

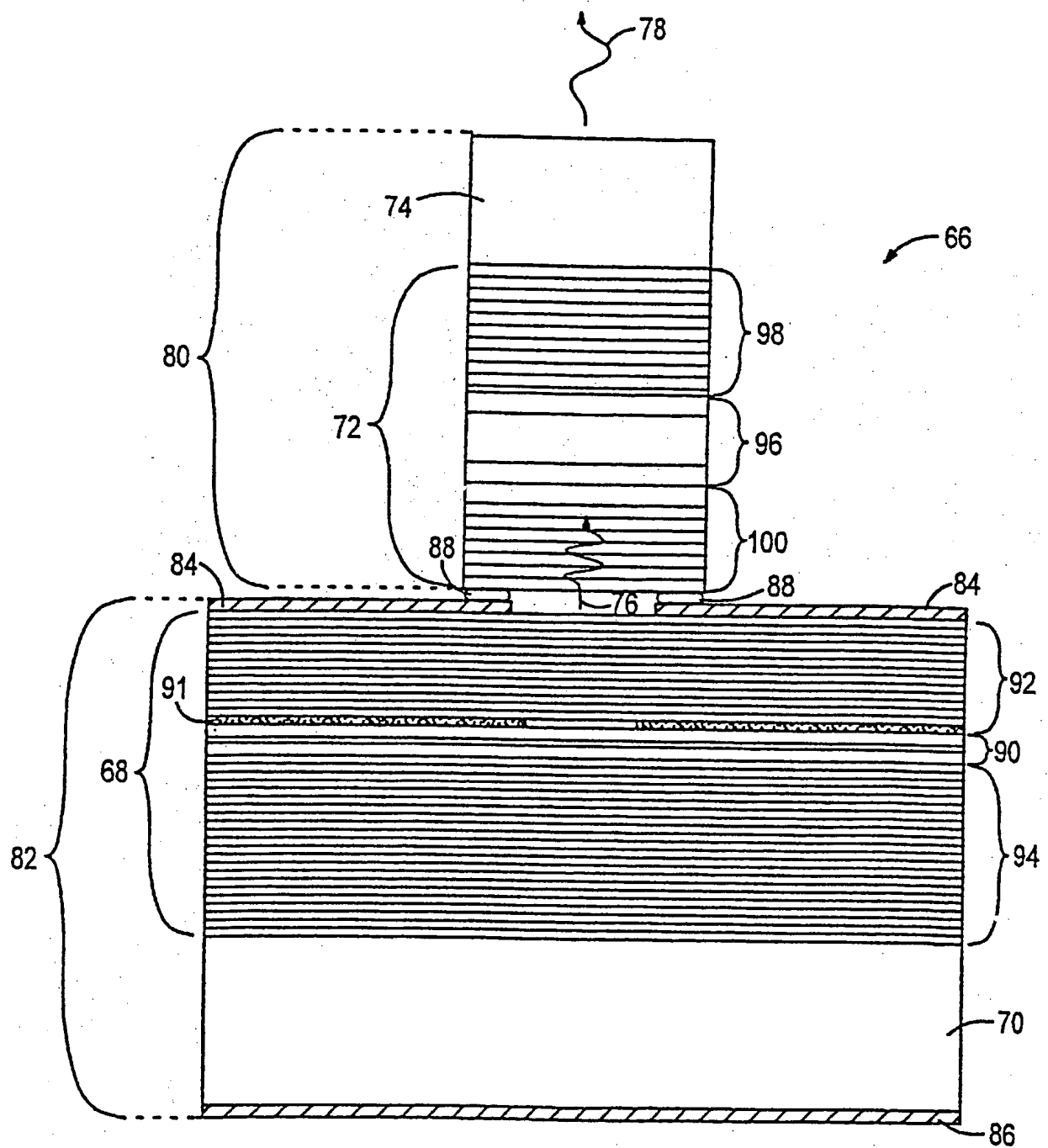


FIG. 3

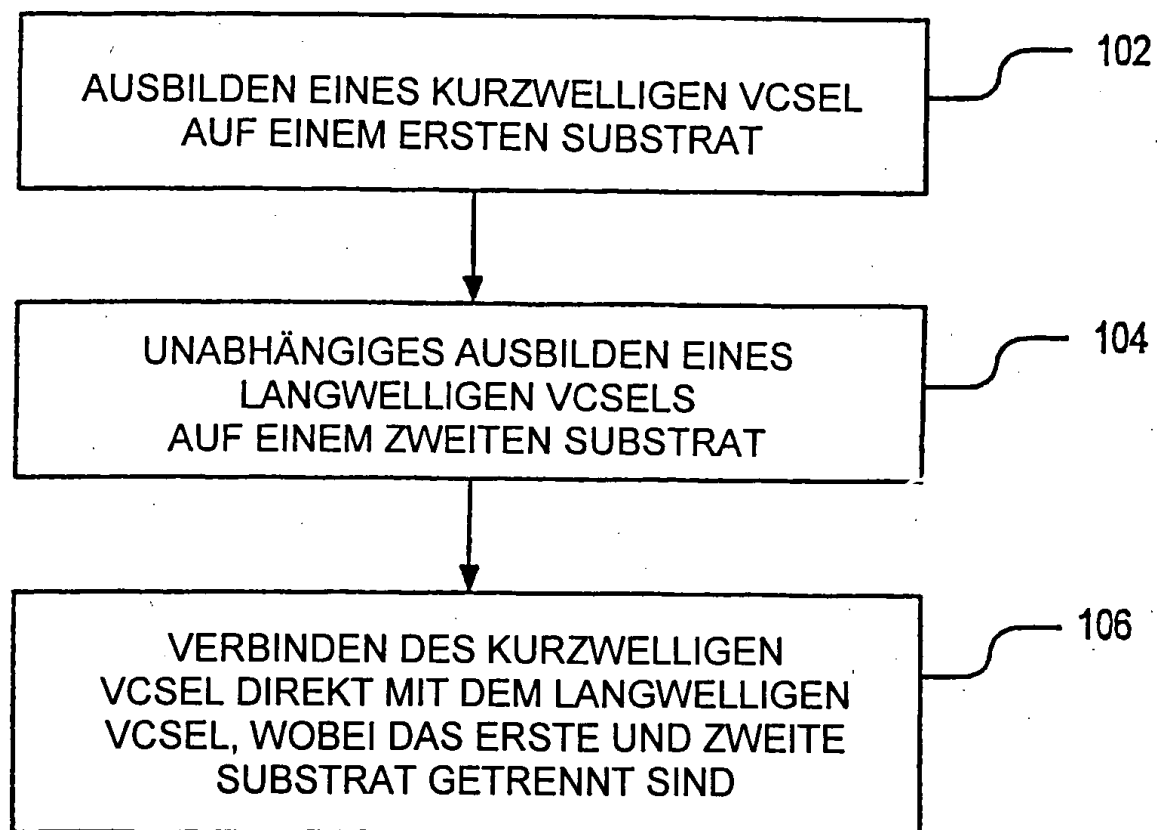


FIG. 4