



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 32 360 T2** 2006.08.03

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 935 322 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 32 360.2**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 117 185.3**

(96) Europäischer Anmeldetag: **10.09.1998**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **11.08.1999**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **16.11.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **03.08.2006**

(51) Int Cl.⁸: **H01S 5/183** (2006.01)
H01S 5/42 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

20724 09.02.1998 US

(73) Patentinhaber:

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

(74) Vertreter:

BOEHMERT & BOEHMERT, 80336 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB

(72) Erfinder:

**Yuen, Albert T., Los Altos, California 94024, US;
Tan, Michael R.T., Menlo Park, California 94025,
US; Lei, Chun, Sunnyvale, California 94086, US**

(54) Bezeichnung: **N- oder P-getriebener VCSEL Vielfachlaser**

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

[0001] Diese Erfindung wurde mit Unterstützung der Regierung der USA im Rahmen der Vereinbarung Nr. MDA 972-94-3-0017 gemacht. Die Regierung der USA hält bestimmte Rechte an dieser Erfindung.

Gebiet der Erfindung

[0002] Die vorliegende Erfindung betrifft Laser und insbesondere einen verbesserten oberflächenemittierenden Laser mit vertikaler Kavität.

Hintergrund der Erfindung

[0003] Oberflächenemittierende Laser mit vertikaler Kavität (Vertical Cavity Surface-Emitting Lasers, VCSELs) werden momentan für zahlreiche Hochgeschwindigkeitskommunikationssysteme verwendet. Ein VCSEL kann als ein Laser betrachtet werden, der Spiegel aufweist, die aus alternierenden Materialschichten unterschiedlicher Brechungsindizes aufgebaut sind. Diese Laser eignen sich besser zur Herstellung von Laseranordnungen (laser arrays) für Anzeigen, Lichtquellen, optische Scanner und faseroptische Datenverbindungen.

[0004] Um die Bandbreite in einem optischen Kommunikationsnetz zu erhöhen, werden mehrere Fasern verwendet, um die Information parallel zu übertragen. Jede Faser muß mit einem einzelnen Laser angesteuert werden. Ein Verfahren zum Ansteuern mehrerer Fasern ist es, eine VCSEL-Anordnung mit einer faseroptischen Gummiverbindung zu verbinden.

[0005] In elektrischer Hinsicht entspricht jeder VCSEL einer lichtemittierenden Diode, die von einer Halbleiteransteuereinrichtung angesteuert wird. Um die größtmögliche Bandbreite für die Fasern vorzusehen, müssen die Laser mit einer Geschwindigkeit angesteuert werden, die so hoch wie möglich ist. Dementsprechend sind N-Typ-Ansteuerschaltkreise erforderlich. Um jedoch ein N-Typ-Ansteuerschaltkreis zu erhalten, ist es bei üblichen VCSEL-Designs erforderlich, daß der VCSEL auf einem p-dotierten Verbund-Halbleitersubstrat aufgebaut wird.

[0006] Eine VCSEL-Anordnung ist in elektrischer Hinsicht äquivalent zu einer Anordnung von Photodioden, die mit dem darunterliegenden Substrat verbunden sind. Da das Substrat ein Halbleiter ist, sind die Dioden zusammengeschaltet. Dadurch verbleibt nur noch die oberste Schicht der Diode zur Verbindung mit den individuellen Ansteuerschaltkreisen. Daher muß die obere Seite der Diode n-dotiert werden, um N-Typ-Ansteuerschaltkreise verwenden zu können. Dementsprechend sind die unteren Spiegelschichten aus p-dotierten Halbleiterschichten hergestellt.

[0007] Die Herstellung eines VCSELs auf einem p-dotierten Substrat führt zu einer Vorrichtung, die eine inhärent schlechtere Leistungsfähigkeit als Vorrichtungen aufweist, die auf einem n-dotierten Substrat aufgebaut sind. Dieser Leistungsfähigkeitsunterschied ist das Ergebnis des höheren Diffusionsvermögens der p-Typ-Dotiermittel. Es ist daher schwieriger, eine gute Stromführung in der obersten n-Typ-Spiegelschicht vorzusehen.

[0008] Der VCSEL wird aufgebaut, indem eine Abfolge von Schichten halbleitenden Materials auf dem Substrat abgeschieden wird. In jedem Abscheidungsschritt wird die Vorrichtung hohen Temperaturen ausgesetzt. Wenn die unteren Spiegelschichten aus p-Typ-Materialien aufgebaut sind, diffundieren die Dotiermittel der Schichten, die bereits abgeschieden wurden, um den unteren Spiegel zu bilden, nach oben in die n-Typ-dotierten Bereiche, die auf der lichtemittierenden Schicht hergestellt sind, und die den oberen Spiegel ausbilden.

[0009] Es ist daher vorteilhaft, die Vorrichtung auf einem n-dotierten Substrat auszubilden, da die n-Typ-Dotiermittel ein geringeres Diffusionsvermögen aufweisen und daher die p-Typ-Schichten nicht kontaminieren, die auf der lichtemittierenden Schicht hergestellt wurden. Jedoch ist dies nicht kompatibel mit dem Erfordernis der n-Typ-Ansteuervorrichtung.

[0010] Im allgemeinen ist es die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine verbesserte VCSEL-Anordnung vorzusehen.

[0011] Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine VCSEL-Anordnung vorzusehen, in der die einzelnen VCSELs entweder von p-Typ-Ansteuerschaltkreisen oder n-Typ-Ansteuerschaltkreisen angesteuert werden.

[0012] Diese und weitere Aufgaben der Erfindung ergeben sich dem Fachmann aus der folgenden detaillierten Beschreibung der Erfindung und den beigefügten Zeichnungen.

Abriß der Erfindung

[0013] Die vorliegende Erfindung ist ein VCSEL, der sich zur Herstellung einer VCSEL-Anordnung eignet. Eine VCSEL-Anordnung (VCSEL array) gemäß der vorliegenden Erfindung umfaßt einen ersten und einen zweiten VCSEL, um Licht einer vorbestimmten Wellenlänge zu erzeugen. Jeder VCSEL umfaßt einen unteren Reflektor mit einer epitaxialen Schicht aus einem Halbleiter eines ersten Leitungstyps, einen Lichterzeugungsbereich und einen oberen Reflektor mit einem Halbleiter eines zweiten Leitungstyps. Eine untere Elektrode ist mit dem unteren Reflektor elektrisch verbunden, und eine obere Elektrode ist mit dem oberen Reflektor elektrisch verbunden.

den. Die untere Elektrode wächst auf einer Pufferschicht mit einer elektrischen Leitfähigkeit, die geringer als ein vorbestimmter Wert ist, wobei die Pufferschicht eine kristalline Struktur aufweist, die einen epitaxialen Wuchs des unteren Reflektors auf der Pufferschicht ermöglicht. Der untere Reflektor jedes VCSELs ist in Kontakt mit der Pufferschicht. Der erste und der zweite VCSEL sind voneinander elektrisch durch einen Graben isoliert, der sich in die Pufferschicht hinein erstreckt. Die Pufferschicht ist aus einem Material aufgebaut, das einen spezifischen Widerstand aufweist, der ausreichend gering ist, um ein Übersprechen zwischen dem ersten und dem zweiten VCSEL zu verhindern.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0014] [Fig. 1](#) ist eine Querschnittsansicht eines üblichen nach oben emittierenden VCSEL mit natürlich gewachsenem Oxid.

[0015] [Fig. 2](#) ist eine Querschnittsansicht der zahlreichen Schichten, die auf einem Substrat abgeschieden wurden, um die Spiegelbereiche und lichtemittierenden Bereiche in den VCSELs in einer Anordnung gemäß der Erfindung vorzusehen.

[0016] [Fig. 3](#) ist eine Querschnittsansicht zweier benachbarten VCSELs in einer Anordnung gemäß der vorliegenden Erfindung.

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

[0017] Die vorliegende Erfindung ist besser unter Bezugnahme auf die [Fig. 1](#) zu verstehen, die eine Querschnittsansicht eines üblichen nach oben emittierenden VCSELs mit natürlich gewachsenem Oxid darstellt. Da der Aufbau von VCSELs dem Fachmann für Lasertechnik gut bekannt ist, wird im weiteren von einer detaillierten Beschreibung abgesehen. Zum Zwecke dieser Betrachtung ist es ausreichend, zu bemerken, daß der VCSEL **10** als eine PIN-Diode angesehen werden kann, die einen oberen Spiegelbereich **18**, einen Lichterzeugungsbereich **14** und einen unteren Spiegelbereich **19** aufweist. Diese Bereiche sind auf einem Substrat **12** ausgebildet. Zwischen den Elektroden **22** und **27** wird elektrische Energie angelegt. Die zahlreichen Schichten sind durch epitaxiales Wachsen aufgebaut. Wie oben bemerkt, ist das Substrat **12** vorzugsweise ein n-Typ-Halbleiter.

[0018] Der aktive Bereich ist typischerweise aus einem oder mehreren Quantentöpfen aus InGaAs, GaAs, AlGaAs oder (Al)GaInP oder InAlGaAs aufgebaut, die von den Spiegelbereichen **18** und **19** durch die jeweiligen Abstandhalter **15** und **16** getrennt sind. Die Auswahl des Materials hängt von der gewünschten Wellenlänge des von dem VCSEL zu emittierenden Lichts ab. Ferner sind Vorrichtungen basierend auf zusammengefaßten (bulk) aktiven Bereichen aus

dem Stand der Technik bekannt. Diese Schicht **14** kann als Lichterzeugungsschicht angesehen werden, die Licht mittels spontaner und stimulierten Emission über die Rekombination von Elektronen und Löchern erzeugt, die von der mit Vorspannung belegten PIN-Diode erzeugt werden.

[0019] Durch einen Isolationsbereich **25** wird Strom zu dem Abschnitt der lichtemittierenden Schicht geführt, die zu dem Ausgangslichtstrahl beiträgt. In der in [Fig. 1](#) dargestellten Ausführung wird der Isolationsbereich **25** erzeugt, indem eine der Spiegel-schichten oxidiert wird. Jedoch sind ferner auch Ausführungen aus dem Stand der Technik bekannt, in denen für diese Funktion eine Implantation verwendet wird.

[0020] Die Spiegelbereiche sind aus alternierenden Schichten aufgebaut, für die die Schichten **20** und **21** typisch sind. Diese Schichten haben unterschiedliche Brechungsindizes. Die Dicke jeder Schicht ist derart gewählt, daß sie einem Viertel der Lichtquellenlänge entspricht. Die Stapel bilden Bragg-Spiegel. Die Stapel sind typischerweise aus alternierenden Schichten aus AlAs und GaAs oder AlGaAs aufgebaut. Um das gewünschte Reflektionsvermögen zu erreichen, sind 20 bis 30 Schichtpaare erforderlich. Die Schichten in dem oberen Spiegelbereich **18** sind typischerweise als p-Typ-Halbleiter dotiert, wobei diejenigen in den unteren Spiegelbereichen **19** als n-Typ-Halbleiter dotiert sind.

[0021] Der VCSEL **10** wird typischerweise angesteuert, indem eine Spannung an die Elektroden **22** und **27** angelegt wird. In einer VCSEL-Anordnung sind das Substrat **12** und die Elektrode **27** für alle VCSELs in der Anordnung gemeinsam. Die einzelnen VCSELs sind elektrisch voneinander isoliert, indem ein Graben ausgebildet wird, der sich unterhalb der Lichterzeugungsschicht **14** erstreckt, wodurch der obere Abschnitt jedes VCSELs als freistehende Tafel (Mesa) **40** verbleibt. Wie oben bemerkt, ergibt sich durch diese gemeinsame Verbindung und die Tatsache, daß das bevorzugte Substrat ein n-Typ-Substrat ist, daß sich der Designer zwischen Leistungsfähigkeit der Vorrichtung und Leistungsfähigkeit des Ansteuerschaltkreises entscheiden muß.

[0022] Die vorliegende Erfindung basiert auf der Erkenntnis, daß Substrate existieren, die den epitaxialen Wuchs der zahlreichen Schichten unterstützen, die jedoch Isolatoren oder Halb-Isolatoren, d.h. nicht elektrisch leitend sind. Diese Substrate können als Isolationsschichten verwendet werden, wodurch ermöglicht wird, daß beide Anschlüsse der PIN-Diode von den entsprechenden Anschlüssen der anderen VCSELs innerhalb der Anordnung isoliert sind. In der bevorzugten Ausführung der vorliegenden Erfindung sind beide Anschlüsse von der oberen Seite des Chips zugreifbar, wodurch die Vorrichtung entweder

durch p-Typ- oder n-Typ-Ansteuerschaltkreise angesteuert werden kann. Daher kann ein VCSEL hergestellt werden, der erzeugt wird, indem zuerst die n-Typ-Schichten abgeschieden werden, und kann trotzdem durch n-Typ-Ansteuerschaltkreise angesteuert werden.

[0023] Im weiteren wird unter Bezugnahme auf [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) die Art und Weise beschrieben, in der eine Anordnung von VCSELs gemäß der vorliegenden Erfindung aufgebaut wird. Die [Fig. 2](#) ist eine Querschnittsansicht der zahlreichen Schichten, die auf dem Substrat **120** abgeschieden sind, um die Spiegelbereiche und lichtemittierenden Bereiche der VCSELs in der Anordnung vorzusehen. Zunächst wird auf dem Substrat **120** eine Pufferschicht **122** abgeschieden. Die Pufferschicht wächst epitaxial und kann auf jedem Material bestehen, das eine genügend geringe spezifische Leitfähigkeit hat, um das Übersprechen zwischen den benachbarten VCSELs in der Anordnung zu verhindern. Als Pufferschicht kann GaAs verwendet werden, wenn gegeben ist, daß das GaAs eine Dotierungskonzentration in der Größenordnung von 10^{15} cm^{-3} oder weniger aufweist. Die Dicke einer solchen Schicht hängt von der aktiven Vorspannung über einer solchen Schicht ab. Für einen Vorspannungswert, der typischerweise bei VCSELs verwendet wird, genügt eine Pufferschicht mit einer Dicke von 1-2 μm .

[0024] Die Pufferschicht kann auch durch Sauerstoff-Implantierung des Substrats ausgebildet werden, oder durch Oxidation des Substrats. Beispielsweise kann eine oxidationbasierte Pufferschicht erzeugt werden, indem eine AlGaAs-Schicht oxidiert wird, um unter der VCSEL-Vorrichtung eine halbisolierende Schicht auszubilden. Die Sauerstoffimplantationsdosis hängt von dem Dotierungsgrad der Schicht ab, deren spezifische Leitfähigkeit reduziert werden soll.

[0025] Daraufhin wird das Schichtsubstrat chemisch geätzt, um die einzelnen VCSELs auszubilden. Im weiteren wird auf die [Fig. 3](#) Bezug genommen, die eine Querschnittsansicht zweier benachbarten VCSELs der Anordnung, **160** und **161** darstellt. Die in [Fig. 3](#) dargestellte Anordnung emittiert Licht ausgehend von der oberen Oberfläche und ist dafür vorgesehen, durch Bonding mittels Kontaktfelder (pads), die eine Verbindung mit dem p-Anschluß und dem n-Anschluß der PIN-Diode herstellen, befestigt zu werden. Mit den Bezugszeichen **141**, **142** sind die Kontaktflächen für den VCSEL **160** dargestellt. Zum Zwecke der vorliegenden Betrachtung soll angenommen werden, daß die Kontaktfläche **142** mit dem n-Anschluß verbunden ist, d.h., daß der Bragg-Reflektor **124** aus n-Typ-Halbleiterschichten aufgebaut ist. Es ist jedoch für den Fachmann ersichtlich, daß Vorrichtungen, in denen der untere Reflektor aus den p-Typ-Schichten aufgebaut ist, ebenfalls ohne Ab-

weichung von der Lehre der vorliegenden Erfindung aufgebaut werden kann. Da sowohl der p-Anschluß als auch der n-Anschluß gegenüber dem Substrat isoliert sind, ist ein Schalten durch Verbinden des p-Anschlusses oder des n-Anschlusses mit dem jeweiligen Ansteuerschaltkreis möglich.

[0026] Die VCSELs sind voneinander durch Gräben isoliert, wie mit den Bezugszeichen **150-152** dargestellt ist. Diese Gräben erstrecken sich in die Pufferschicht **122** hinein. Die Gräben erstrecken sich ferner in das darunterliegende Substrat hinein, jedoch ist dies nicht erforderlich. Es sollte ferner bemerkt werden, daß die Pufferschicht **122** nicht notwendigerweise ein vollständiger Isolator ist. Es ist lediglich erforderlich, daß die Pufferschicht **122** ausreichend isoliert, um zu verhindern, daß ein wesentlicher Strombetrag zwischen den benachbarten VCSELs in der Anordnung fließt. Tatsächlich ergeben sich brauchbare Vorrichtungen, wenn nicht mehr als 10 % des Stroms, der zwischen dem p- und den n-Anschluß fließt, über die Pufferschicht **122** entweicht.

[0027] Wie oben bemerkt ist es vorteilhaft, den Strom dahingehend zu begrenzen, daß dieser über den lichterzeugenden Bereich **128** zu dem Bereich unter dem Fenster in Elektrode **134** fließt, durch die Licht aus der Vorrichtung austritt. In der bevorzugten Ausführung der vorliegenden Erfindung erfolgt dies durch implantierte Bereiche **131**, **132**, die einen Teil des oberen Spiegel-Bragg-Reflektors **125** in einen Isolator umwandeln. Für diesen Zweck kann Wasserstoff- oder Sauerstoff-Implantierung verwendet werden.

[0028] In der bevorzugten Ausführung der vorliegenden Erfindung wird ferner ein dritter Implantationsbereich verwendet, der mit dem Bezugszeichen **133** dargestellt ist. Die Implantierung **133** hilft dabei, zu verhindern, daß Strom unter der Elektrode **135** durch den Lichterzeugungsbereich **128** fließt. Die tatsächliche Verbindung mit dem Bragg-Reflektor **124** ist vorzugsweise in dem Grabenbereich mit dem Bezugszeichen **136**.

[0029] Wie oben bemerkt, ist die in [Fig. 3](#) dargestellte Ausführung der vorliegenden Erfindung dazu geeignet, mittels Lötkontaktfelder **141**, **142** mit einem darüberliegenden Substrat verbunden zu werden. Daher sind die Kontakte **134**, **135** derart angeordnet, daß diese die gleiche Höhe aufweisen, um den Befestigungsschritt zu vereinfachen. In Ausführungen, in denen die Verbindungen mit dem n-Anschluß nicht zwingend auf der gleichen Höhe wie die Verbindungen mit dem p-Anschluß sind, genügt eine Verbindung mit dem unteren Abschnitt des Grabens **155**, wobei die Struktur oberhalb des Grabenbodens ausgelassen werden kann, d.h. der Abschnitt des Bragg-Reflektors **125** und der Lichterzeugungsschicht **128** unter dem Leiter **135**.

[0030] Ferner können nach unten emittierende VCSEL-Anordnungen gemäß der Erfindung aufgebaut werden. In diesem Fall muß die Pufferschicht für die Emissionswellenlänge transparent sein, so daß Licht durch die Pufferschicht hindurch austreten kann. Die in dem unteren Bragg-Reflektor vorgesehene Anzahl an Schichten muß ferner reduziert sein, um zu ermöglichen, daß ein Teil des Lichts durch den unteren Reflektor austreten kann. Zudem muß das in [Fig. 3](#) dargestellte Fenster in der Elektrode **134** mit einem reflektierenden Material ausgefüllt sein, oder die Anzahl an Schicht in dem oberen Bragg-Reflektor muß ausreichend erhöht werden, um zu gewährleisten, daß im wesentlichen das gesamte Licht zurück zu der Pufferschicht hin reflektiert wird.

[0031] Die oben beschriebenen Ausführungen der vorliegenden Erfindung verwenden eine getrennte Pufferschicht, die auf einem Substrat mittels Wachsen vorgesehen wird. Es ist jedoch für den Fachmann ersichtlich, daß das Substrat beide Funktionen erfüllen kann, wenn das Substrat eine ausreichend geringe spezifische Leitfähigkeit aufweist. Wie oben bemerkt, kann undotiertes GaAs als Pufferschicht verwendet werden. Ferner kann die spezifische Leitfähigkeit dotierten GaAs durch weiteres Dotieren auf einen zulässigen Wert verringert werden. Beispielsweise kann Chrom als Dotiermittel verwendet werden, um die spezifische Leitfähigkeit dotierten GaAs auf zulässige Werte zu verringern. Dementsprechend kann der VCSEL direkt auf einem GaAs-Substrat aufgebaut sein, wenn gegeben ist, daß die spezifische Leitfähigkeit des Substrats ausreichend gering ist.

[0032] Dem Fachmann sind zahlreiche Modifikationen der vorliegenden Erfindung aus der oben genannten Beschreibung und den beigegeführten Zeichnungen ersichtlich. Dementsprechend ist die vorliegende Erfindung lediglich durch den Umfang der folgenden Ansprüche beschränkt.

Patentansprüche

1. VCSEL (**160, 161**) zum Erzeugen von Licht einer vorbestimmten Wellenlänge, wobei der VCSEL (**160, 161**) umfaßt:
 einen unteren Reflektor (**124**) mit einer epitaxialen Schicht aus einem Halbleiter eines ersten Leitungstyps;
 einen Lichterzeugungsbereich (**128**);
 einen oberen Reflektor (**125**) mit einem Halbleiter eines zweiten Leitungstyps;
 eine untere Elektrode (**135**), die mit dem unteren Reflektor (**124**) elektrisch verbunden ist;
 eine obere Elektrode (**134**), die mit dem oberen Reflektor (**125**) elektrisch verbunden ist;
 eine Pufferschicht (**122**) mit einer elektrischen Leitfähigkeit, die geringer als ein vorbestimmter Wert ist und eine kristalline Struktur aufweist, die einen epitaxialen Wuchs des unteren Reflektors (**124**) auf der

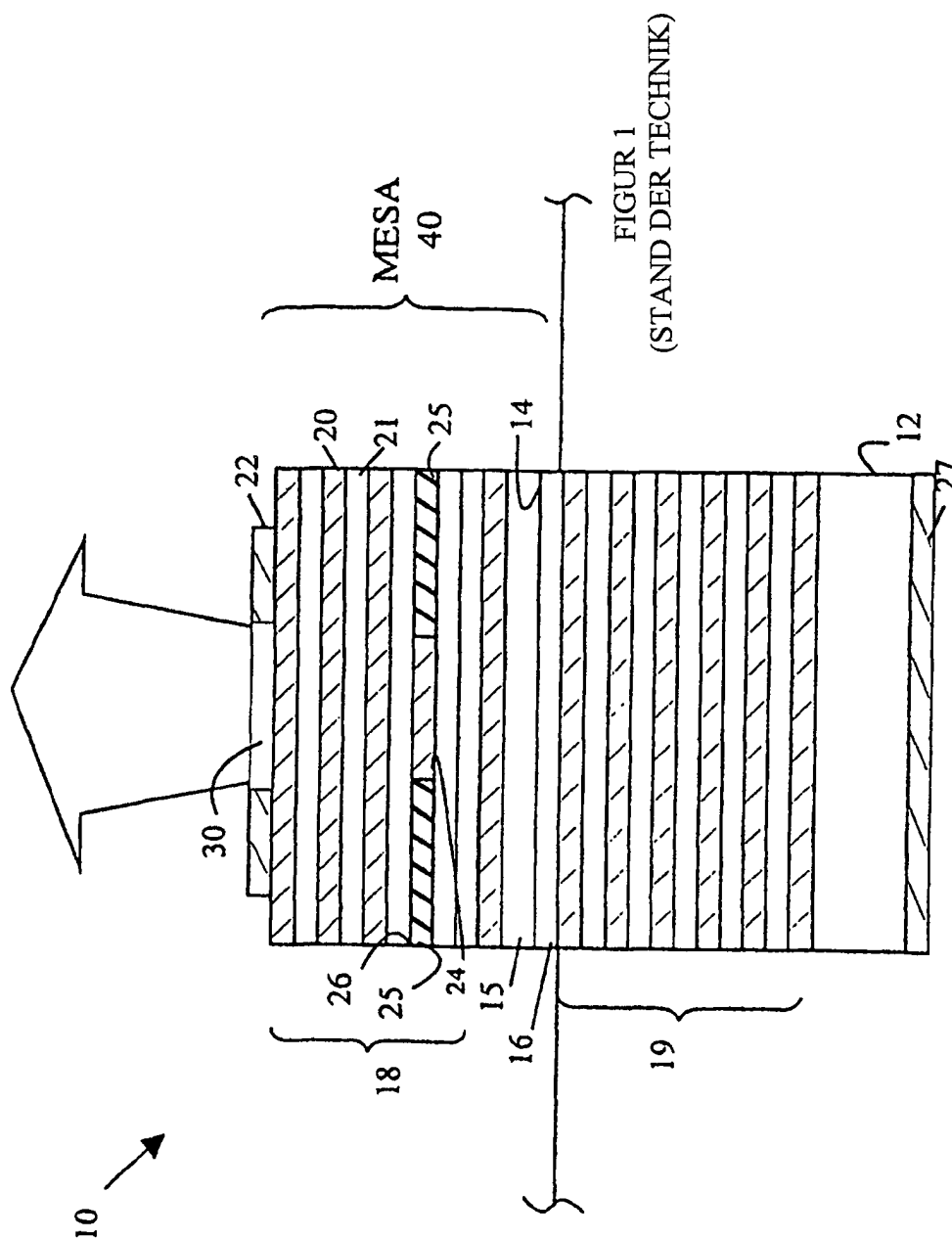
Pufferschicht (**122**) gestattet, wobei der untere Reflektor (**124**) in Kontakt mit der Pufferschicht (**122**) ist und der vorbestimmte Wert weniger als 10 % der elektrischen Leitfähigkeit des Halbleiters des ersten Leitungstyps beträgt.

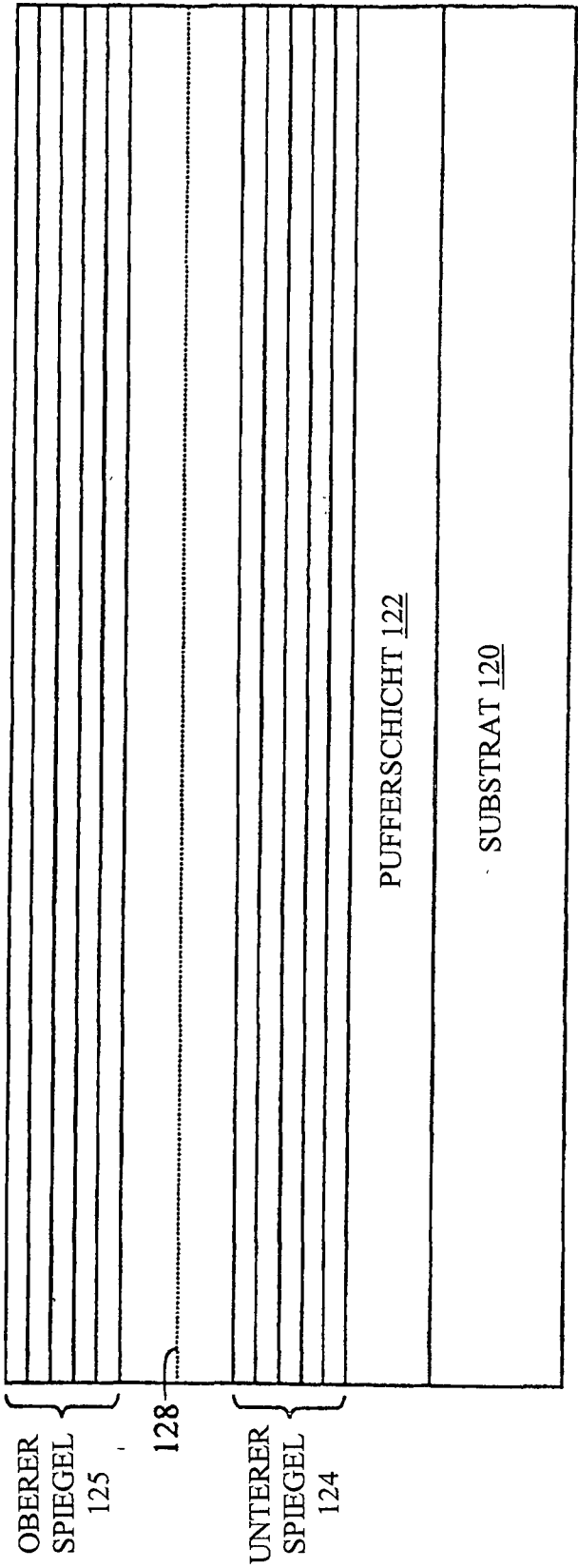
2. VCSEL (**160, 161**) nach Anspruch 1, wobei die obere und die untere Elektrode planare Oberflächen umfassen, die in der gleichen Höhe über der Pufferschicht (**122**) vorgesehen sind.

3. VCSEL (**160, 161**) nach Anspruch 1, wobei die Pufferschicht (**122**) für Licht der vorbestimmten Wellenlänge transparent ist.

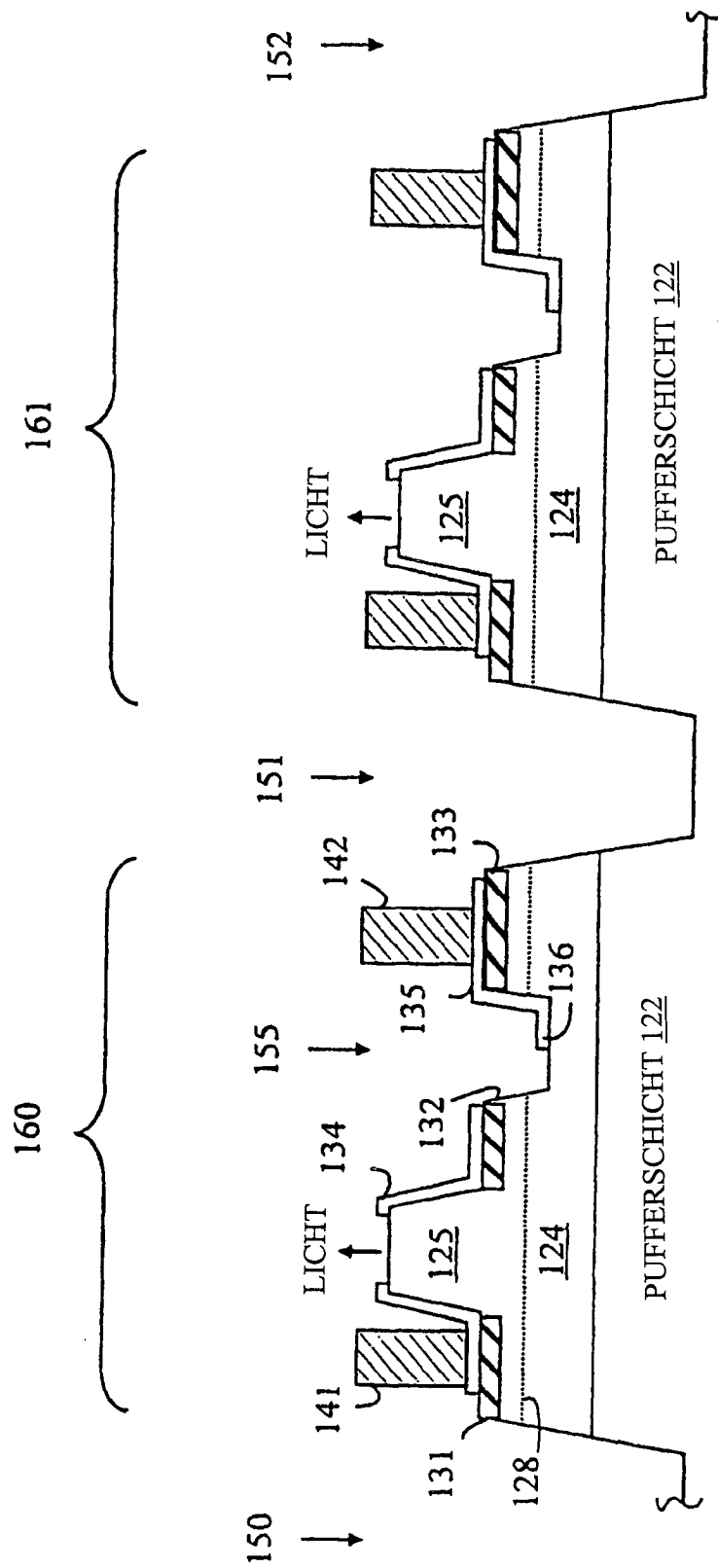
4. Anordnung aus VCSELs (**160, 161**) mit einem ersten und einem zweiten VCSEL (**160, 161**), um Licht einer vorbestimmten Wellenlänge zu erzeugen, wobei jeder VCSEL (**160, 161**) die Merkmale eines der vorangegangenen Ansprüche umfaßt, wobei der erste und der zweite VCSEL (**160, 161**) durch einen Graben (**151**) voneinander elektrisch isoliert sind, der sich in die Pufferschicht (**122**) hinein erstreckt, wobei der vorbestimmte Wert ausreichend klein ist, um ein Übersprechen zwischen den ersten und den zweiten VCSELs (**160, 161**) zu verhindern.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen





FIGUR 2



FIGUR 3