



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 27 764 T2** 2006.07.20

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 0 993 087 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 27 764.7**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 113 806.6**

(96) Europäischer Anmeldetag: **14.07.1999**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **12.04.2000**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **19.10.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **20.07.2006**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **H01S 5/026** (2006.01)

**H01S 5/183** (2006.01)

**H01L 33/00** (2000.01)

**H01L 31/00** (2000.01)

**H01L 27/15** (2006.01)

(30) Unionspriorität:

**167961                      06.10.1998                      US**

(73) Patentinhaber:

**Agilent Technologies Inc., A Delaware Corp., Palo Alto, Calif., US**

(74) Vertreter:

**BOEHMERT & BOEHMERT, 80336 München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**DE, FR, GB**

(72) Erfinder:

**Babic, Dubravko I., Palo Alto, California 94306, US;  
Corzine, Scott W., Sunnyvale, California 94087, US**

(54) Bezeichnung: **System und Verfahren zur monolithischen Integration einer lichtaussendenden Vorrichtung und eines Photodetektors für einen Betrieb mit einer niedrigen Vorspannung**

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

## Gebiet der Erfindung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft im allgemeinen lichtaussendende Vorrichtungen und insbesondere ein System und ein Verfahren zur monolithischen Integration einer lichtaussendenden Vorrichtung und eines Photodetektors für einen Betrieb mit niedriger Vorspannung.

## Stand der Technik

**[0002]** Lichtaussendende Halbleitervorrichtungen im allgemeinen und insbesondere oberflächenemittierende Laser mit vertikaler Kavität (VCSELs) werden für zahlreiche Anwendungen einschließlich von Elektronik, Kommunikationssystemen und Computersystemen verwendet. Laser erzeugen Licht, das gerichtet übertragen werden kann. Bei zahlreichen Anwendungen von Lasern und insbesondere bei zahlreichen Anwendungen von VCSELn besteht die Notwendigkeit, die Laserausgangsleistung präzise zu steuern. Die Ausgangsleistung von Halbleiterlasern wird primär durch die Vorspannung bestimmt. Jedoch kann sie sich durch die Umgebungstemperatur und Alterung der Vorrichtung beträchtlich ändern. Aus diesem Grund wird die Steuerung der Ausgangsleistung durch Überwachen des Laserausgangssignals und Einstellen des Laserstroms realisiert, um eine bestimmte Laserausgangsleistung beizubehalten. Die Lichtmessung wird typischerweise unter Verwendung eines Halbleiterphotodetektors durchgeführt, während die Rückkopplungsschleife unter Verwendung einer externen elektronischen Schaltung realisiert wird. Es existieren zahlreiche Implementierungen derartiger Laser-Photodetektorsysteme, die sich in der Anwendung und Leistungsfähigkeit unterscheiden.

**[0003]** Die zwei primären den Aufbau des Laser-Photodetektorsystems betreffende Gesichtspunkte sind die Kosten der Vorrichtung und die Eignung, eine für eine spezielle Anwendung erforderliche Leistungscharakteristik zu liefern. Vom Kostengesichtspunkt aus betrachtet ist es wünschenswert, den Laser und den Photodetektor auf demselben Chip unter Verwendung derselben oder einer ähnlichen Herstellungstechnik auszubilden. Dies wird durch eine monolithische Integration des Lasers und des Photodetektors erreicht. Eine monolithische Integration impliziert, daß die individuelle Laser- und Photodetektorvorrichtung gemeinsam auf Waferebene fertiggestellt werden. Vom Gesichtspunkt der Leistungscharakteristik aus betrachtet gibt es eine Anzahl gewünschter Eigenschaften. Der Detektorstrom sollte dem gerichteten Lichtausgangssignal des Lasers folgen, während die Erfassung der unge-

richteten spontanen Emission minimiert sein sollte. Die Beziehung zwischen der gerichteten Laserausgangsleistung und dem Photodetektorstrom sollte stabil und wiederholbar sein. Für einen korrekten Betrieb sollte der Photodetektorstrom innerhalb des für die externe analoge Rückkopplungsschaltung notwendigen Bereichs liegen. Die Existenz des Photodetektors und dessen Vorspannung sollten eine vernachlässigbare Wirkung auf den Betrieb und insbesondere die Modulationseigenschaften des Lasers haben. Die Lasermodulation und Vorspannung sollten eine vernachlässigbare Wirkung auf den Betrieb des Photodetektors haben.

**[0004]** Zuletzt muß die Treiberschaltung berücksichtigt werden. Bei Computerkommunikationsanwendungen hat die minimale Vorspannung aufgrund der Bestrebung, den Leistungsverbrauch des Rechners zu reduzieren, eine zunehmende Bedeutung. Bei den Architekturen heutiger Rechner werden Stromversorgungen mit 3,3 Volt (V) verwendet, die eine untere Grenze von ungefähr 3,1 V aufweisen. Es ist absehbar, daß in der Zukunft und für andere Anwendungen der Leistungsverbrauch weiter reduziert werden wird, was noch niedrigere Vorspannungsspiegel erforderlich macht.

**[0005]** Für das Laser-Photodetektorsystem wird eine Konfiguration bevorzugt, bei der der Laser und der Photodetektor unabhängig voneinander von derselben Stromversorgung mit Spannung versorgt werden. Um dies zu erreichen, muß die Stromversorgungsspannung größer sein als die Betriebsspannung des Lasers, die von der Photonenenergie abhängt, und größer als die Betriebsspannung des Photodetektors, die von der für eine wirkungsvolle Leistungsfähigkeit erforderlichen Sperrvorspannung des Photodetektors abhängt. Für optische Kommunikationen liegen die Spannungen der Laser mit vertikaler Kavität im Bereich zwischen ungefähr 1 und 2 V, während die typische Sperrvorspannung des Photodetektors zwischen ungefähr 0,5 und 1 V liegt. Diese Spannungen können bei anderen Anwendungen variieren.

**[0006]** Bei einer Struktur mit integriertem Laser und Photodetektor, die eine unabhängige Stromversorgung des Lasers und des Photodetektors zuläßt, wird die niedrigste Vorspannung verwendet. Dies ist durch Verwenden eines Vorrichtungsaufbaus mit vier Anschlüssen erreichbar, wobei zwei Anschlüsse zusammen mit der Stromversorgung verbunden sind, wodurch eine beliebige relative Polung zwischen dem Laser und dem Photodetektor möglich ist. In monolithischen integrierten Vorrichtungen mit drei Anschlüssen ist aufgrund von Beschränkungen bei der Herstellung die relative Polung zwischen dem Laser und dem Photodetektor nicht beliebig.

**[0007]** In der Vergangenheit wurden Photodetektoren

ren und Laser mit wechselndem Erfolg miteinander integriert. Beispielsweise werden bei einigen Integrationsvorschlägen ein Photodetektor und ein Laser verwendet, die unabhängig voneinander auf verschiedenen Chips hergestellt sind. Die beiden Vorrichtungen werden beim Paketierungsschritt nach der Herstellung integriert, was zu einer beliebigen relativen Polung zwischen dem Laser und dem Photodetektor führt. Dieses Integrationsmodell wird als „Hybridintegration“ bezeichnet. Der wesentliche Nachteil dieses Ansatzes besteht darin, daß der zusätzliche Verarbeitungsschritt zur Integration des Photodetektors und des Lasers nach der Herstellung unerwünschte zusätzliche Herstellungskosten verursacht.

**[0008]** Des weiteren ist in vielen Fällen die Beziehung zwischen dem Photodetektorstrom und dem Laserausgangssignal aufgrund der Fluktuation der Form des Laserausgangsstrahls weder stabil noch wiederholbar.

**[0009]** Ein anderes Modell beinhaltet die monolithische Integration eines Photodetektors und eines Lasers, wobei die Kopplung unter Verwendung einer Seitenemission realisiert wird, die zu Vorrichtungen mit sowohl drei als auch vier Anschlüssen führt. Der wesentliche Nachteil derartiger Vorrichtungen besteht darin, daß der Photodetektor das gerichtete Laserausgangssignal nicht erfaßt, sondern hauptsächlich die ungerichtete spontane Emission aufnimmt.

**[0010]** Schließlich beinhaltet ein weiteres Modell die monolithische Integration eines Lasers und eines Photodetektors, wobei die Kopplung durch eine Emission nach oben (oder nach unten) realisiert wird, was zu Vorrichtungen mit sowohl drei als auch vier Anschlüssen führt.

**[0011]** Alle Implementierungen führen entweder zu Vorrichtungen mit drei Anschlüssen, wobei sich der Laser und der Photodetektor eine gemeinsame n-Seite (Kathode) oder eine gemeinsame p-Seite (Anode) teilen, was, wie gezeigt werden wird, eine relativ hohe Vorspannung für den Betrieb erfordert und bei welchem der Laser und die Photodiode elektrisch miteinander gekoppelt sind, oder zu Vorrichtungen mit vier Anschlüssen, die schwierig und aufwendig herzustellen sind. Daher ist eine monolithisch integrierte Vorrichtung mit drei Anschlüssen erstrebenswert, die bei einer niedrigen Vorspannung, wie beispielsweise 3,3 V betrieben werden kann und eine elektrische Entkoppelung zwischen dem Laser und dem Photodetektor ermöglicht.

**[0012]** In [Fig. 1A](#) ist eine Kombination aus einem Laser und einem Photodetektor des Stands der Technik in einer Konfiguration mit drei Anschlüssen gezeigt. Der Laser und der Photodetektor **11** umfassen im wesentlichen einen über dem Laser **13** in einer

Anordnung mit gemeinsamer Kathode angeordneten Photodetektor **12**. Die Konfiguration mit gemeinsamer Kathode wird auch als PNP-Konfiguration bezeichnet, da sich die Halbleiterladungsträgertypen in der Struktur zweimal ändern. Bei dem Laser **13** handelt es sich typischerweise um einen oberflächene-mittierenden Laser mit vertikaler Kavität (VCSEL). Zur Veranschaulichung ist diese Anordnung mit zwei PN-Übergängen gezeigt. Der erste PN-Übergang ist die sich im Laser **13** befindende aktive Schicht **14** und der zweite PN-Übergang ist die absorbierende Schicht **16** im Photodetektor **12**. Der Laser **13** umfaßt ein p-Typ-Substrat **22**, an dessen Unterseite eine p-Typ-Kontaktschicht angeordnet ist. Über dem Substrat **22** befindet sich ein p-Typ-Spiegel **23**. Der aktive Bereich **14**, der ein Material des n-Typs und ein Material des p-Typs umfaßt, die durch ein lichterzeugendes Medium voneinander getrennt sind, wird auf den p-Typ-Spiegel **23** aufgewachsen. Über dem aktiven Bereich **14** befindet sich ein n-Typ-Spiegel **24**, auf dem ein p-Typ-Kontaktmaterial **26** aufgewachsen ist.

**[0013]** Unmittelbar auf dem p-Typ-Spiegel **24** befindet sich eine n-Typ-Schicht **31** des Photodetektors **12**, auf der die absorbierende Schicht **16** und der p-Typ-Laser **32** aufgewachsen sind. Die Schichten **32**, **16** und **31** umfassen einen Photodetektor mit einer PIN-Struktur. Auf dem p-Typ-Material **32** befindet sich ein p-Typ-Kontaktmaterial **33**. Ein Teil des vom Laser **13** ausgesandten Lichts wird im Photodetektor **12** absorbiert und der Rest wird von der Vorrichtung in der mit dem Pfeil von [Fig. 1A](#) gezeigten Richtung ausgesandt.

**[0014]** [Fig. 1B](#) ist eine schematische Darstellung des Lasers und Photodetektors aus [Fig. 1](#) gemäß dem Stand der Technik einschließlich einer damit verbundenen externen Schaltung. Der die Diode **36** und die Diode **37** umgebende gepunktete Kasten veranschaulicht den Laser und den Photodetektor **11**, wobei die Diode **36** den Laser **13** darstellt und die Diode **37** den Photodetektor **12**. Der Lasersteuerungstransistor **41** und der durch die Transistoren **38** und **39** gebildete Stromspiegel sind in beispielhaft unter Verwendung von bipolaren NPN-Transistoren abgebildet. Der Gebrauch von NPN-Transistoren in den Verstärkern ist aufgrund des Erfordernisses einer hohen Geschwindigkeit in Kombination mit der höheren Verstärkung des NPN-Transistors im Verhältnis zur einer PNP-Konfiguration üblich (obwohl der Gebrauch von PNP-Transistoren nicht ausgeschlossen wird).

**[0015]** Die minimale zum Betrieb dieser Schaltung notwendige Vorspannung  $V_{CC}$  ist größer als die Summe der kleinsten einzelnen PN-Übergangsspannungen und kann durch die folgende Gleichung ausgedrückt werden:

$$V_{CC} > V_L + V_{PD} + V_{CM} \quad (\text{Gleichung 1}),$$

wobei  $V_L$  die VCSEL-Vorspannung in Durchlaßrichtung über die Laserdiode **36** beim Betriebsstrom des Lasers ist,  $V_{PD}$  die Sperr-Vorspannung über die Photodetektordiode **37** ist und  $V_{CM}$  die Vorspannung in Durchlaßrichtung am Transistor **38** im durch die Transistoren **38** und **39** gebildeten Stromspiegel **42** ist. Typischerweise sind die Werte dieser Spannungen  $V_L$  1,7V,  $V_{PD} \approx 0,5V$  und  $V_{CM} \approx 0,8V$ . In diesem Beispiel entspricht  $V_{CM} \approx 0,8V$  einem bipolaren Siliziumtransistor und kann abhängig von der Art des Transistors und vom Material, aus dem der Transistor hergestellt ist, weniger oder mehr als 0,8V betragen. Das ergibt eine minimale Vorspannung  $V_{CC} > 3V$ . Es ist wünschenswert, die Vorspannung  $V_{CC}$  zu minimieren, so daß der Spannungsverbrauch des Gesamtsystems minimiert ist. In einem System mit einer minimalen Stromversorgung von 3,1 V bleibt bei dem oben genannten Laser und Photodetektor lediglich ein sehr dünnes Polster.

**[0016]** Des weiteren werden bei dem vorangehenden Beispiel sowohl der Laser **36** als auch die Photodetektordiode **37** durch den Transistor **41** gesteuert, wobei die parasitäre Kapazität des Photodetektors **37** den Transistor **41** auflädt und somit das Frequenzverhalten des Lasers begrenzt wird. Zusätzlich wird der Betriebspunkt des Photodetektors **37** durch die Einstellung des Betriebspunkts des Lasers **36**, um eine bestimmte Ausgangsleistung zu erreichen, inhärent modifiziert, was einen höchst unerwünschten Nebeneffekt dieser Konfiguration darstellt.

**[0017]** Somit besteht in der Industrie ein bisher nicht angesprochener Bedarf an einer monolithisch integrierten Laser- und Photodetektoranordnung mit drei Anschlüssen, die unter Verwendung einer niedrigen Vorspannung betrieben werden kann und eine elektrische Entkopplung zwischen dem Laser und dem Photodetektor bietet.

**[0018]** Patent Abstracts of Japan, Vol. 18, Nr. 255 und JP 06 037300 A offenbaren eine optische integrierte Schaltungsvorrichtung, die durch ein Verfahren hergestellt ist, bei dem ein Laseroszillator und ein Detektor in eine laminierte Struktur auf einem Halbleitersubstrat integriert sind.

**[0019]** Der Artikel „Intracavity Resonant Quantum-Well Photodetection of a Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser“, Electronics Letters, GB, IEEE Stevenage, Vol. 33, Nr. 7, S. 597–598 offenbart einen Intrakavität-Quantum-Well-Photodetektor mit einem oberflächenemittierenden Laser mit vertikaler Kavität (VCSEL).

**[0020]** Die US-A-5 212 706 offenbart eine Laserdiodeanordnung mit mehrere Strahlen liefernden Tunnel-Übergängen.

**[0021]** Erfindungsgemäß werden eine lichtaussendende Vorrichtung und ein Photodetektor in einer monolithisch integrierten Struktur mit drei Anschlüssen bereitgestellt, die niedrigere Betriebsspannungen zuläßt, als sie zuvor erreichbar waren, und eine elektrische Entkopplung zwischen der lichtaussendenden Vorrichtung und dem Photodetektor gewährleistet. Obwohl das System und das Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung nicht auf diese speziellen Anwendungen beschränkt sind, sind sie insbesondere für eine monolithische Integration eines Photodetektors und eines oberflächenemittierenden Lasers mit vertikaler Kavität (VCSEL) in einer neuen Konfiguration geeignet, mit der der Leistungsverbrauch minimiert wird. Das System, das Verfahren zur monolithischen Integration einer lichtaussendenden Vorrichtung und eines Detektors für einen Betrieb mit einer niedrigen Betriebsspannung kann unter Verwendung einer Vielzahl von epitaktisch gewachsenen Halbleitermaterialien mit verschiedenen elektrischen Eigenschaften implementiert werden. Beispielsweise können die im Nachfolgenden beschriebenen Materialschichten in einer bevorzugten und mehreren alternativen Ausführungsformen entweder aus einem n-Typ- oder p-Typ-Material gebildet sein, ohne vom Konzept der Erfindung abzuweichen.

**[0022]** Architektonisch kann die folgende Erfindung begrifflich als System zum Messen des Ausgangssignals einer lichtaussendenden Vorrichtung umfassend eine lichtaussendende Vorrichtung mit einem entsprechenden Betriebsstrom und einen optisch mit der lichtaussendenden Vorrichtung gekoppelten Photodetektor beschrieben werden. Der Photodetektor weist einen entsprechenden Betriebsstrom auf. Die lichtaussendende Vorrichtung und der Photodetektor sind in eine einzige Vorrichtung integriert und ein parasitärer PN-Übergang wird am Übergang zwischen der lichtaussendenden Vorrichtung und dem Photodetektor gebildet. Der an der Verbindung zwischen der lichtaussendenden Vorrichtung und dem Photodetektor gebildete parasitäre PN-Übergang wird kurzgeschlossen.

**[0023]** In einer alternativen Ausführungsform der monolithisch integrierten lichtaussendenden Vorrichtung und des Photodetektors sind der Photodetektor und der parasitäre PN-Übergang in einem der Spiegel der lichtaussendenden Vorrichtung ausgebildet.

**[0024]** Die vorliegende Erfindung kann begrifflich auch als Bereitstellung eines Verfahrens zum Aufbau einer monolithisch integrierten lichtaussendenden Vorrichtung und eines Photodetektors für einen Betrieb mit einer niedrigen Vorspannung, umfassend die folgenden Schritte, beschrieben werden.

**[0025]** Es wird ein lichtaussendende Vorrichtung

ausgebildet, wobei die lichtaussendende Vorrichtung einen entsprechenden Betriebsstrom aufweist. In die lichtaussendende Vorrichtung ist ein Photodetektor integriert, der ebenfalls einen entsprechenden Betriebsstrom aufweist. An der Schnittfläche zwischen der lichtaussendenden Vorrichtung und dem Photodetektor wird ein PN-Übergang gebildet.

**[0026]** Die Erfindung umfaßt viele Vorteile, wovon nachfolgend lediglich einige als Beispiele beschrieben sind.

**[0027]** Ein Vorteil der Erfindung besteht darin, daß sie die Messung des Lichtausgangssignals einer lichtaussendenden Vorrichtung in einer Konfiguration zuläßt, mit der im Verhältnis zum Stand der Technik die Betriebsvorspannung deutlich reduziert wird.

**[0028]** Ein weiterer Vorteil der Erfindung besteht darin, daß der Photodetektor und die lichtaussendende Vorrichtung elektrisch entkoppelt sind, wodurch ein unabhängiges unter Spannung-Setzen der lichtaussendenden Vorrichtung und des Photodetektors möglich wird und das unnötige Aufladen der Steuerung der lichtaussendenden Vorrichtung durch die parasitäre Kapazität des Photodetektors beseitigt wird, wodurch das Hochfrequenzverhalten der Vorrichtung im Verhältnis zum Stand der Technik verbessert wird.

**[0029]** Ein weiterer Vorteil der Erfindung besteht darin, daß sie einen einfachen Aufbau aufweist und in einer kommerziellen Herstellung in großem Maßstab einfach realisiert werden kann.

**[0030]** Weitere Eigenschaften und Vorteile der Erfindung ergeben sich dem Fachmann aus dem Studium der folgenden Zeichnungen und der detaillierten Beschreibung. Es ist beabsichtigt, daß die zusätzlichen Eigenschaften und Merkmale vom Umfang der vorliegenden Erfindung umfaßt sind.

#### Kurzbeschreibung der Zeichnungen

**[0031]** Die vorliegende in den Ansprüchen definierte Erfindung wird mit Bezugnahme auf die folgenden Zeichnungen besser verständlich. Die Komponenten in den Zeichnungen sind im Verhältnis zueinander nicht notwendigerweise maßstabsgetreu. Statt dessen liegt die Betonung auf einer klaren Darstellung der Prinzipien der vorliegenden Erfindung.

**[0032]** [Fig. 1A](#) ist eine Ansicht im Querschnitt eines Lasers und Photodetektors des Stands der Technik;

**[0033]** [Fig. 1B](#) ist eine schematische Darstellung des Lasers und Photodetektors der Stands der Technik aus [Fig. 1A](#) einschließlich einer beispielhaften damit verbundenen externen Spannungsversorgungsschaltung;

**[0034]** [Fig. 2A](#) ist eine Ansicht im Querschnitt eines Lasers und Photodetektors;

**[0035]** [Fig. 2B](#) ist eine schematische Darstellung des Lasers und Photodetektors aus [Fig. 2A](#) einschließlich einer damit verbundenen vereinfachten externen Spannungsversorgungsschaltung;

**[0036]** [Fig. 3A](#) ist eine Ansicht im Querschnitt des Lasers und Photodetektors mit einem erfindungsgemäßigen Aufbau;

**[0037]** [Fig. 3B](#) ist eine schematische Darstellung des Lasers und Photodetektors aus [Fig. 3A](#) einschließlich einer damit verbundenen vereinfachten externen Spannungsversorgungsschaltung;

**[0038]** [Fig. 4](#) ist eine Ansicht im Querschnitt einer alternativen Ausführungsform des Lasers und Photodetektors aus [Fig. 2A](#); und

**[0039]** [Fig. 5](#) ist eine Ansicht im Querschnitt einer alternativen Ausführungsform des Lasers und Photodetektors aus [Fig. 3A](#).

Detaillierte Beschreibung der bevorzugten Ausführungsform

**[0040]** Die vorliegende Erfindung ist im Anspruch 1 definiert. Andere alternative Ausführungsformen sind in den Ansprüchen 2 bis 5 definiert. Das Herstellungsverfahren des Halbleiterlasers gemäß der Erfindung ist in den Ansprüchen 6 und 7 definiert.

**[0041]** Typischerweise wird die vorliegende Erfindung durch Wachsen epitaktischer Materialschichten mit unterschiedlichen elektrischen Eigenschaften implementiert und kann unter Verwendung einer Vielzahl von Substratmaterialien und Materialien für ein epitaktisches Wachstum realisiert werden. Darüber hinaus ist die vorliegende Erfindung, obwohl sie im Kontext eines oberflächenemittierenden Lasers mit vertikaler Kavität (VCSEL) mit einem monolithisch integrierten Photodetektor beschrieben wird, auf andere lichtaussendende Strukturen, wie beispielsweise und nicht beschränkt auf lichtaussendende Dioden (LEDs) anwendbar. Des Weiteren kann der Stromeschluß und der Einschluß der optischen Mode im VCSEL durch laterale Oxidation, isolierende Implantation oder andere im Stand der Technik bekannte Techniken erreicht werden.

**[0042]** Im Folgenden wird auf [Fig. 2A](#) Bezug genommen, in der eine Ansicht im Querschnitt eines Lasers und einer Photodetektoranordnung **100** gezeigt ist. Bei dieser bevorzugten Ausführungsform befindet sich der Photodetektor **110** über dem VCSEL **120**.

**[0043]** Die Basis der Laserstruktur **120** wird durch eine n-Typ-Substratschicht **102** gebildet, auf deren

Unterseite eine n-Typ-Kontaktschicht **101** abgeschieden ist. Der untere n-Typ-Spiegel **104** ist auf die Substratschicht **102** aufgewachsen und umfaßt eine darauf aufgewachsene aktive Schicht **106**. Es ist zu beachten, daß die betreffenden Spiegelschichten typischerweise mehrere Mehrfachmaterialschichten umfassen und auch als „verteilte“ Bragg-Reflektoren oder „Spiegel“ bezeichnet werden, obwohl zur Darstellung lediglich wenige Schichten verwendet wurden.

**[0044]** Die aktive Region **106** umfaßt ein n-Typ-Material und p-Typ-Material, die ein lichtverstärkendes Medium umgeben. Bei einem PN-Übergang handelt es sich um einen Übergang zwischen zwei Schichten unterschiedlicher Halbleiterleitfähigkeitstypen. Der Übergang kann eine beliebige Anzahl schwach dotierter oder undotierter Schichten und eine beliebige Anzahl verschiedener Quantum-Wells oder Volumenhalbleiterschichten bildender Materialien umfassen. Die Funktion der Zwischenschichten in dem aktiven Bereich **106** besteht darin, Licht, das den Übergang durchquert, zu erzeugen und zu verstärken.

**[0045]** Auf den aktiven Bereich **106** ist ein oberer p-Typ-Spiegel **108** und ein p-Typ-Kontaktmaterial **107** aufgewachsen. Auf den oberen p-Typ-Spiegel **108** wird die untere transparente n-Typ-Materialschicht **111** des Photodetektors **110** aufgewachsen. Der Übergang zwischen dem oberen p-Typ-Spiegel **108** des VCSEL **120** und der unteren transparenten n-Typ-Schicht **111** des Photodetektors **110** bildet den zweiten pn-Übergang **115**, der auch als parasitärer pn-Übergang bezeichnet wird. Dieser Übergang ermöglicht einen Betrieb der vorliegenden Erfindung bei einem niedrigen Vorspannungspegel. Die Betriebsweise der Erfindung wird in Einzelheiten im Nachfolgenden mit Bezugnahme auf [Fig. 2B](#), [Fig. 3B](#) und 4B erläutert.

**[0046]** Durch die untere transparente PN-Typ-Schicht **111**, die Absorptionsschicht **112** und eine transparente obere p-Typ-Schicht **114**, die auf die absorbierende Schicht **112** aufgewachsen ist, wird ein dritter PN-Übergang des PIN-Typs gebildet. Auf die obere p-Typ-Schicht **114** wird ungefähr in der gezeigten Weise eine p-Typ-Kontaktmaterialschicht **116** abgeschieden. Der Übergang des PIN-Typs ist gekennzeichnet durch eine beliebige Anzahl schwach dotierter oder undotierter Schichten oder eine beliebige Anzahl unterschiedlicher Quantum-Wells oder Volumenhalbleiterschichten bildender Materialien, die sich zwischen einer einzelnen p-Typ- und einer einzelnen n-Typ-Schicht befinden. Die Funktion der Zwischenschichten in einem PIN-Übergang eines Photodetektors **110** besteht darin, Licht, das den Übergang durchquert, teilweise zu absorbieren.

**[0047]** Diese Anordnung der Vorrichtung führt zu ei-

ner Kombination aus einem Laser und einem Photodetektor in einer PNPN-Konfiguration. Die PNPN-Konfiguration bezieht sich auf die Laser- und Photodetektorstruktur **100**, in der der Halbleiterladungsträgertyp dreimal zwischen dem p-Typ-Material und n-Typ-Material beim Durchqueren von der Substratschicht **102** zur oberen Oberfläche des Photodetektors **110** wechselt. Insbesondere handelt es sich bei der aktiven Schicht **106** um einen ersten PN-Übergang mit einer PN-Struktur, beim Übergang **115**, an dem der Laser **120** auf den Photodetektor **110** trifft, um den zweiten PN-Übergang und bei der Absorptionsschicht **112** um einen dritten PN-Übergang mit einer PIN-Struktur. Diese Anordnung führt zur oben genannten PNPN-Konfiguration. Für die PNPN-Konfiguration kann eine Struktur in Betracht gezogen werden, bei der Schichten verschiedener Halbleiterleitfähigkeitstypen über oder unter den Schichten auftreten können, die den integrierten Laser und Photodetektor bilden.

**[0048]** Der Pfeil über der Laser- und Photodetektoranordnung **100** zeigt den Lichtausgang bei dieser bevorzugten Ausführungsform an. Es ist zu beachten, daß die Materialschichten umgekehrt werden können (d.h. alle n-Typ-Schichten werden durch p-Typ-Schichten ersetzt und alle p-Typ-Schichten durch n-Typ-Schichten).

**[0049]** Die transparenten Schichten im Photodetektor können teilweise absorbierend sein. Da entweder das von der Oberseite oder Unterseite des Lasers ausgesandte Licht verwendet werden kann, kann der Detektor auf jeder Seite des Lasers angeordnet werden, ohne vom Konzept der Erfindung abzuweichen. Wenn der Detektor im Weg des Laserausgangsstrahls angeordnet ist, kann die Absorptionsschicht **112** so konstruiert werden, daß sie lediglich einen Teil der Laserausgangsleistung absorbiert, während der Rest des Lichts von der Vorrichtung ausgesandt wird. Falls andererseits der Detektor auf der gegenüberliegenden Seite des Laserausgangsspiegels angeordnet ist, kann die Absorptionsschicht des Detektors so konstruiert sein, daß das gesamte den Detektor durchquerende Licht absorbiert wird. Die letztere Struktur ist nicht gezeigt. Für den Fachmann ist jedoch verständlich, daß der Ort des Detektors und des Spiegels, durch den das Licht entnommen oder absorbiert wird, beliebig variiert werden kann, ohne vom Konzept der Erfindung abzuweichen.

**[0050]** Die Kontaktschicht **101**, die sich in Kontakt mit dem unteren n-Typ-Spiegel **102** befindet, die p-Typ-Kontaktschicht **107**, die sich im Kontakt mit dem oberen p-Typ-Spiegel **108** befindet, und die p-Typ-Kontaktschicht **116**, die sich im Kontakt mit der oberen transparenten p-Typ-Materialschicht **114** des Photodetektors **110** befindet, bilden drei Kontakte. Diese drei Kontakte ermöglichen in Verbindung mit der oben genannten Photodetektorstruktur, die die



untere n-Typ-Schicht **111** des Photodetektors **110** umfaßt, die sich in Kontakt mit dem oberen p-Typ-Spiegel **108** des VCSEL befindet, daß die für den Laser und Photodetektor erforderliche Vorspannung, deren Schaltung nachfolgend erläutert wird, beträchtlich reduziert werden kann.

**[0051]** Es sollte verständlich sein, daß der n-Typ-Kontakt mit der aktiven Schicht **106** eher unter Verwendung eines an einem lateral vom p-Typ-Kontakt **107** entfernten Ort unmittelbar auf die n-Typ-Spiegelschicht **104** abgeschiedenen Kontakts realisiert wird, als durch das Substrat **102**, ohne vom Konzept der Erfindung abzuweichen.

**[0052]** [Fig. 2B](#) ist eine schematische Darstellung **150** des Lasers und Photodetektors **100** aus der [Fig. 2A](#) einschließlich einer damit verbundenen vereinfachten externen Spannungsversorgungsschaltung, die dazu verwendet wird, den elektrisch entkoppelten Betrieb mit niedriger Vorspannung zu veranschaulichen.

**[0053]** Beispielhaft sind der Laser und der Photodetektor **100** als Dioden **151**, **152** und **153** umschlossen vom gestrichelten Kasten **100** gezeigt, der den Laser und Photodetektor aus [Fig. 2A](#) darstellt. Die Spannung über die Diode **151** stellt die Spannung  $V_L$  über den VCSEL **120** dar, während die Spannung  $V_D$  über die Diode **152** die Vorspannung in Durchlaßrichtung über den PN-Übergang **115** darstellt und die Spannung  $V_{PD}$  über die Diode **153** die Sperr-Vorspannung über den Photodetektor **110** beim Photodetektorbetriebsstrom darstellt. Die vereinfachte Lasersteuerschaltung **158** steuert den Vor- bzw. Ruhestrom  $I_{BIAS}$  und den Modulationsstrom  $I_{MOD}$  durch den Laser **120**.

**[0054]** Die minimale für den Betrieb dieser Schaltung notwendige Vorspannung ist größer als die Summe der kleinsten Einzelbetriebsspannungen der PN-Übergänge und kann durch die folgende Beziehung ausgedrückt werden:

$$V_{CC} > V_D + V_{PD} + V_{CM} \quad (\text{Gleichung 2}),$$

wobei  $V_D$  die Vorspannung in Durchlaßrichtung des parasitären PN-Übergangs **152** beim Photodetektor-153-Betriebsstrom ist,  $V_{PD}$  die Sperr-Vorspannung am Photodetektor **153** ist und  $V_{CM}$  die Vorspannung in Durchlaßrichtung am Transistor **154** in der durch die Transistoren **154** und **157** gebildeten Stromspiegelschaltung **156** ist. Der Stromspiegel **156** mißt den durch den Photodetektor **110** fließenden Strom und ist hier beispielhaft gezeigt.

**[0055]** Durch Vergleichen der Formel (1) des Stands der Technik mit der oben beschriebenen Formel (2) ist erkennbar, daß die für den Laser und den Photodetektor **100** erforderliche Vorspannung  $V_{CC}$  niedriger

sein kann, wenn die Vorspannung  $V_D$  in Durchlaßrichtung des parasitären PN-Übergangs über die Diode **152** niedriger ist als die Vorspannung in Durchlaßrichtung  $V_L$  des VCSEL (d.h.  $V_D < V_L$ ), wobei  $V_L$  die Vorspannung in Durchlaßrichtung des VCSEL am Laserbetriebspunkt ist.

**[0056]** Typischerweise wird diese Bedingung aus den folgenden Gründen erfüllt. Erstens ist der Reihenwiderstand des VCSEL **120** aufgrund des größeren Stromwegs im Laser **120** typischerweise größer als der Widerstand des parasitären PN-Übergangs **115**. Zweitens sind die Betriebspunkte des VCSEL **120** (der den ersten PN-Übergang umfaßt) und des parasitären PN-Übergangs **115** (zweiter PN-Übergang) unterschiedlich. Der Laser wird im Bereich einiger Milliampere (mA) betrieben, während der Detektorstrom, der ebenfalls durch den parasitären PN-Übergang **115** fließt, im allgemeinen niedriger ist als 0,5 mA.

**[0057]** Zur Veranschaulichung anhand eines Beispiels werden typische Werte von  $V_D \approx 1,2V$ ,  $V_{PD} 0,5V$  und  $V_{CM} \approx 0,8V$  angenommen, wobei  $V_{CC} > 2,5V$  ist. Die angegebene Spannung über den parasitären PN-Übergang **115** ( $V_D \approx 1,2V$ ) ist für einen Homoübergang aus Galliumarsenid typisch, kann jedoch durch Bandlückendesign, d.h. starkes Dotieren, Abstufen und unter Verwendung anderer Halbleitermaterialien, wie im Stand der Technik bekannt ist, weiter reduziert werden. Zusätzlich entspricht  $V_{CM} \approx 0,8V$  einen bipolaren Siliziumtransistor und kann abhängig vom verwendeten Transistor und dem Material, aus dem der Transistor aufgebaut ist, mehr oder weniger als 0,8V betragen. Das oben genannte Beispiel stellt eine Verbesserung um 0,5V gegenüber dem Stand der Technik dar und läßt ein Polster von 0,6V in einem System mit einer minimalen Stromversorgungsspannung von 3,1 V zu.

**[0058]** Es ist wichtig zu beachten, daß die niedrigste Schaltungsvorspannung  $V_{CC}$  ebenfalls durch die Summe der Betriebsspannung des Lasers  $V_L$  und der Spannung am Steuerungstransistor **158** begrenzt ist, da der Laser- und Photodetektorschaltungszweig von derselben Stromversorgung mit Spannung versorgt werden.

**[0059]** Es sollte verständlich sein, daß die bevorzugte in [Fig. 2B](#) gezeigte Ausführungsform die gewünschte relative Polung zwischen dem Laser- und dem Photodetektor in einer Vorrichtung mit drei Anschlüssen aufweist, wodurch der Gebrauch einer einzigen Stromversorgung ermöglicht wird, um gleichzeitig den Laser mit einer Spannung in Durchlaßrichtung und den Photodetektor mit einer Sperr-Vorspannung zu versorgen. Des weiteren sollte verständlich sein, daß in derselben Konfiguration der Laserstrom und der Photodetektorstrom getrennt voneinander von den individuellen Spannungszuständen des La-

sers und des Photodetektors abhängen und voneinander vollständig unabhängig sind. Der zuletzt genannte Aspekt stellt das Merkmal der elektrischen Entkopplung zwischen dem Laser- und dem Photodetektor gemäß der vorliegenden Erfindung dar.

[0060] [Fig. 3A](#) ist eine Ansicht im Querschnitt der erfindungsgemäßen Ausführungsform des Lasers und Photodetektors. Auf ähnliche Weise, wie mit Bezugnahme auf den Laser und Photodetektor **100** aus [Fig. 2A](#) beschrieben wurde, ist der Laser und Photodetektor gemäß der vorliegenden Erfindung gemäß der Ausführungsform **200** wie folgt aufgebaut.

[0061] Die Basis der Laserstruktur wird durch eine n-Typ-Substratschicht **202** gebildet, auf der eine n-Typ-Kontaktschicht **201** abgeschieden wird. Auf die Substratschicht **202** wird ein unterer n-Typ-Spiegel **204** aufgewachsen und umfaßt darauf einen aufgewachsenen aktiven Bereich **206**. Der aktive Bereich **206** umfaßt ein n-Typ-Material und ein p-Typ-Material, die ein lichterzeugendes Medium umgeben, und ist zu dem mit Bezugnahme auf [Fig. 2A](#) beschriebenen Bereich ähnlich. Durch den aktiven Bereich **206** wird der erste PN-Übergang in der Laser- und Photodetektoranordnung **200** gebildet, wobei dieser beispielsweise als ein Lichtverstärkungsmedium wirkt.

[0062] Auf die aktive Schicht **206** wird ein oberer p-Typ-Spiegel **208** aufgewachsen, auf dem ein p-Typ-Kontaktmaterial **207** abgeschieden wird.

[0063] Auf den oberen p-Typ-Spiegel **208** wird die transparente n-Typ-Schicht **211** des Photodetektors **210** aufgewachsen. Ein Kontakt **207** wird sowohl mit dem oberen p-Typ-Spiegel **208** als auch der transparenten n-Typ-Schicht **211** entweder unter Verwendung von zwei unterschiedlichen Metallen oder eines einzigen Metalls hergestellt. Wie zu erkennen ist, wird als eine Verbesserung gegenüber der mit Bezug auf [Fig. 2A](#) erläuterten Struktur ein Kontaktmaterial **207** in Kontakt sowohl mit dem oberen p-Typ-Spiegel **208** des Lasers **220** als auch der transparenten n-Typ-Schicht **211** des Photodetektors **210** gebracht, wodurch effektiv der obere p-Typ-Spiegel **208** mit der transparenten n-Typ-Schicht **211** verbunden wird. Durch Kurzschließen oder Nebenschließen des an der Übergangsfläche zwischen dem oberen p-Typ-Spiegel **208** des Lasers **220** und der transparenten n-Typ-Schicht **211** des Photodetektors **210** gebildeten Übergangs **215** kann die zum unter Vorspannung-Setzen des Lasers und Photodetektors erforderliche Spannung weiter reduziert werden, was nachfolgend in Einzelheiten mit Bezugnahme auf [Fig. 3B](#) beschrieben wird.

[0064] Weiterhin mit Bezugnahme auf [Fig. 3A](#) wird ein dritter PN-Übergang über der transparenten n-Typ-Schicht **211** in der Form einer absorbierenden Schicht **212** und einer oberen transparenten

p-Typ-Schicht **214** gebildet. Die resultierende Struktur umfaßt eine PNP-Konfiguration ähnlich der mit Bezug zu [Fig. 2A](#) beschriebenen. Auf der oberen transparenten p-Typ-Schicht **214** wird ein p-Typ-Kontaktmaterial **216** näherungsweise in der gezeigten Weise abgeschieden. Der Pfeil über der Laser- und Photodetektoranordnung **200** zeigt den Lichtausgang an. Es ist zu beachten, daß die Materialschichten umgekehrt werden können (d.h. alle n-Typ-Schichten werden durch p-Typ-Schichten und alle p-Typ-Schichten durch n-Typ-Schichten ersetzt), ohne vom Konzept der Erfindung abzuweichen.

[0065] Die Kontaktschicht **201**, die sich in Kontakt mit der n-Typ-Substratschicht **202** befindet, die Kontaktschicht **207**, die sich in Kontakt mit dem oberen p-Typ-Spiegel **208** und der transparenten n-Typ-Schicht **211** befindet, und die p-Typ-Kontaktschicht **216**, die sich in Kontakt mit der oberen transparenten p-Typ-Schicht **214** des Photodetektors **210** befindet, bilden die drei Kontakte, die zusammen mit der zuvor genannten Photodetektorstruktur, die die transparente n-Typ-Schicht **211** aufweist und mit dem oberen p-Typ-Spiegel **208** des VCSEL kurzgeschlossen ist, ermöglichen, daß für den Laser und Photodetektor ein sehr niedrige Vorspannung erforderlich ist, deren Schaltung nachfolgend beschrieben wird.

[0066] [Fig. 3B](#) ist eine schematische Darstellung **250** des Lasers und des Photodetektors **200** aus [Fig. 3A](#) einschließlich der damit verbundenen externen Spannungsversorgungsschaltung, die dazu verwendet wird, den Betrieb der Ausführungsform gemäß der vorliegenden Erfindung bei niedriger Vorspannung zu veranschaulichen.

[0067] Beispielhaft sind der Laser und der Photodetektor **200** als Dioden **251**, **252** und **253** eingeschlossen von dem gestrichelten Kasten **200** gezeigt. Die Spannung über die Diode **251** stellt die Spannung  $V_L$  über den VCSEL **220** dar, wobei die Spannung  $V_D$  über die Diode **252** die Vorspannung in Durchlaßrichtung über den PN-Übergang **215** beim Betriebsstrom des Photodetektors darstellt und die Spannung  $V_{PD}$  über die Diode **253** die Sperr-Vorspannung über den Photodetektor **210** darstellt.

[0068] Wie durch das Hinzufügen des Nebenschlusses **255** erkennbar ist, der den Kontakt **207** darstellt, mit dem der obere p-Typ-Spiegel **208** des Lasers **220** und die transparente n-Typ-Schicht des Photodetektors **210** kurzgeschlossen werden, wird die Spannung über den parasitären PN-Übergang **215** beseitigt. Der Kontakt **207** kann unter Verwendung von zwei unterschiedlichen Metallen oder eines einzelnen Metalls und sowohl mit einem p-Typ- als auch n-Typ-Material aufgebaut sein.

[0069] Man beachte, daß die Schaltungsvorspannung größer sein muß als die Summe der minimalen



Betriebsvorspannungen für jedes Element der Schaltung und gegeben ist durch:

$$V_{CC} > V_D + V_{PD} + V_{CM} \quad (\text{Gleichung 2}),$$

wobei  $V_D$  die Vorspannung in Durchlaßrichtung des parasitären PN-Übergangs **252** beim Betriebsstrom des Photodetektors **253** ist,  $V_{PD}$  die Sperr-Vorspannung am Photodetektor **253** ist und  $V_{CM}$  die Vorspannung in Durchlaßrichtung am Transistor **254** im durch die Transistoren **254** und **257** gebildeten Stromspiegel **256** ist. Durch Anwenden eines Nebenschlusses **255** wird die parasitäre Spannung  $V_D$  beseitigt, was zur Vorspannungsbedingung führt:

$$V_{CC} > V_{PD} + V_{CM} \quad (\text{Gleichung 3}).$$

**[0070]** Zur Veranschaulichung anhand eines Beispiels wird unter der Annahme der oben genannten typischen Werte von  $V_D \approx 1,2V$ ,  $V_{PD} \approx 0,5V$  und  $V_{CM} \approx 0,8V$  und unter Beseitigung von  $V_D$  das Ergebnis  $V_{CC} > 1,3V$  erhalten. Die genannte Spannung über den parasitären PN-Übergang **215** ( $V_D \approx 1,2V$ ) ist für einen Galliumarsenid-Homoübergang typisch. Zusätzlich entspricht  $V_{CM} \approx 0,8V$  einem bipolaren Siliziumtransistor und kann abhängig von dem verwendeten Transistor und dem Material, aus dem der Transistor hergestellt wird, größer oder kleiner als  $0,8V$  sein. Jedoch ist der  $V_{CC}$ -Wert jetzt durch die zum unter Spannung setzen des Lasers  $V_L$  und des Steuerungstransistors **258** notwendige Spannung begrenzt, die vermutlich höher als  $1,3V$  sein wird. Somit ist bei dieser Anwendung  $V_{CC}$  nicht durch die Photodetektorschaltung begrenzt, sondern ist der  $V_{CC}$ -Wert vielmehr durch den Laser und den Steuerungstransistor begrenzt.

**[0071]** Es ist wichtig zu beachten, daß der zur Umgehung des parasitären PN-Übergangs **252** verwendete Nebenschluß **255** aufgrund der Natur des Halbleiter-Metall-Kontakts einen nicht vernachlässigbaren Widerstand bzw. nicht vernachlässigbaren Spannungsabfall beim Betriebsstrom des Detektors aufweisen kann. Solange jedoch der Gesamtspannungsabfall über den Nebenschluß beim Betriebsstrom des Detektors niedriger ist als der des parasitären PN-Übergangs bei demselben Strom wird eine Verbesserung bei der Vorspannung bewirkt.

**[0072]** Es sollte verständlich sein, daß die Ausführungsform **200** des Lasers und Photodetektors gemäß der Erfindung die gewünschte relative Polung zwischen dem Laser und dem Photodetektor in einer Vorrichtung mit drei Anschlüssen aufweist. Diese Anordnung ermöglicht die Verwendung einer einzigen Stromversorgung, um gleichzeitig eine Vorspannung in Durchlaßrichtung an den Laser und eine Sperr-Vorspannung an den Photodetektor anzulegen. Des weiteren sollte es verständlich sein, daß bei derselben Konfiguration der Laserstrom und der Pho-

todetektorstrom getrennt von den einzelnen Spannungszuständen des Lasers und des Photodetektors abhängen und voneinander vollständig unabhängig sind. Die zuletzt genannte Eigenschaft stellt die elektrische Entkopplung zwischen dem Laser und dem Photodetektors dar.

**[0073]** [Fig. 4](#) ist eine Ansicht im Querschnitt einer alternativen Ausführungsform des Lasers und des Photodetektors aus [Fig. 2A](#). Der Laser und der Photodetektor **300** stellen eine mögliche Verbindung dar, bei der ein Photodetektor und der parasitäre PN-Übergang in einen der Spiegel einer Laservorrichtung eingebettet sind. Durch diese Anordnung kann die Erfassung einer ungerichteten spontanen Emission durch die Absorptionsschicht minimiert werden. Die Absorptionsschicht **312**, bei der es sich entweder um einen Quantum-Well oder einen Volumenhalbleiter handelt, und der parasitäre Übergang **315** können an einer beliebigen Stelle im Laser **320** angeordnet sein, wobei immer noch die PNP-Konfiguration beibehalten wird. Dadurch wird ermöglicht, daß die integrierte Laser- und Photodetektorstruktur bei einer Vorspannung betrieben werden können, die niedriger ist als im Stand der Technik, und der Laser und der Photodetektor immer noch elektrisch entkoppelt bleiben können. Die Struktur dieser alternativen Ausführungsform ist ähnlich zu der mit Bezug auf [Fig. 2A](#) beschriebenen. Daher weisen gleiche Teile ein Präfix von „3“ auf und werden als 3XX bezeichnet, wobei durch XX gleiche Teile wie in [Fig. 2A](#) mit einer ähnlichen Struktur bezeichnet sind, auf deren detaillierte Erläuterung verzichtet wird.

**[0074]** Wieder mit Bezug auf [Fig. 4](#) wird die p-Typ-Materialschicht **114** des Photodetektors **110** ([Fig. 2A](#)) durch den p-Typ-Spiegel **314** ersetzt. Durch das Ersetzen mit dem p-Typ-Spiegel **314** werden der Photodetektor **310** und der Laser **320** in eine integrierte Struktur integriert.

**[0075]** [Fig. 5](#) ist eine Ansicht im Querschnitt einer alternativen Ausführungsform des Lasers und Photodetektors aus [Fig. 3A](#). Der Laser und Photodetektor **400** veranschaulichen noch eine weitere mögliche Kombination, bei der der Photodetektor **410** wiederum in den Laser **420** eingebettet ist. Jedoch wird der in [Fig. 3A](#) beschriebene Nebenschluß noch weiter in den Laser und den Photodetektor **400** aus [Fig. 5](#) integriert. Die Struktur dieser alternativen Ausführungsform ist ähnlich zu der mit Bezug auf [Fig. 3A](#) beschriebenen. Daher weisen gleiche Teile ein Präfix „4“ auf und werden als 4XX bezeichnet, wobei durch XX gleiche Teile wie in [Fig. 3A](#) mit einer ähnlichen Struktur bezeichnet sind, auf deren detaillierte Beschreibung verzichtet wird.

**[0076]** Wiederum mit Bezug auf [Fig. 5](#) wird der an der Schnittfläche zwischen dem oberen p-Typ-Spiegel **408** des Lasers und der transparenten

n-Typ-Schicht **411** des Photodetektors gebildete Übergang, wie bereits mit Bezug zu [Fig. 3A](#) erläutert wurde, durch das Kontaktmaterial **407** kurzgeschlossen oder nebengeschlossen. Das Kontaktmaterial **407** befindet sich in Kontakt sowohl mit dem oberen p-Typ-Spiegel **408** als auch mit der transparenten n-Typ-Schicht **411**, wodurch effektiv der obere p-Typ-Spiegel **408** mit der transparenten n-Typ-Schicht **411** verbunden wird.

**[0077]** Für den Fachmann ist verständlich, daß zahlreiche Modifizierungen und Änderungen an den bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung, wie sie oben dargelegt wurden, vorgenommen werden können, ohne wesentlich von den Prinzipien der vorliegenden Erfindung abzuweichen. Beispielsweise können das System und das Verfahren zur monolithischen Integration eines Lasers und Photodetektors für einen Betrieb mit niedriger Betriebsspannung unter Verwendung unterschiedlicher Halbleitertechnologien implementiert werden. Darüber hinaus kann der Photodetektor vor dem Laser gewachsen werden und kann sich entweder über oder unter der Laserstruktur befinden, obwohl hier dargestellt wurde, daß sich der Photodetektor auf oder innerhalb einer Laserstruktur befindet. Es ist beabsichtigt, daß alle derartigen Modifizierungen und Abwandlungen vom Umfang der vorliegenden Erfindung, wie sie in den folgenden Ansprüchen definiert ist, umfaßt sind.

### Patentansprüche

1. Ein monolithisch integrierter Halbleiterlaser (**120**) und Photodetektor zum Betrieb mit niedriger Vorspannung mit drei Anschlüssen, mit folgenden Merkmalen:

- ein Halbleiterlaser (**220, 420**) mit einem ersten Kontakt (**201, 401**) und einem Halbleiterlaser-Betriebsstrom;
- ein Photodetektor (**210, 410**), der mit dem Halbleiterlaser optisch gekoppelt ist, wobei der Photodetektor einen zweiten Kontakt (**216, 416**) und einen Photodetektor-Betriebsstrom aufweist;
- ein PN-Übergang (**215, 415**), der an einer Schnittstelle des Halbleiterlasers (**220, 420**) und des Photodetektors (**210, 410**) gebildet ist; und
- ein dritter Kontakt (**207, 407**), der einen Nebenschluß (shunt) zu dem PN-Übergang bildet.

2. Struktur nach Anspruch 1, wobei der Halbleiterlaser (**220, 420**) ein Oberflächenemissionslaser mit vertikaler Kavität ist.

3. Struktur nach Anspruch 1, wobei der Halbleiterlaser (**220, 420**) und der Photodetektor (**110**) gemeinsam in einer PNP-Konfiguration konfiguriert sind.

4. Struktur nach Anspruch 1, wobei das System drei PN-Übergänge (**206, 215, 12**) aufweist.

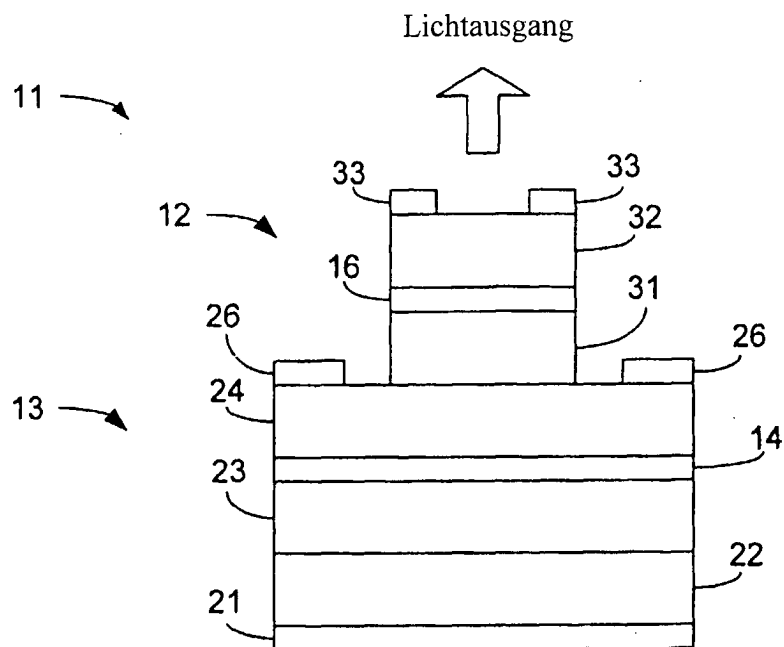
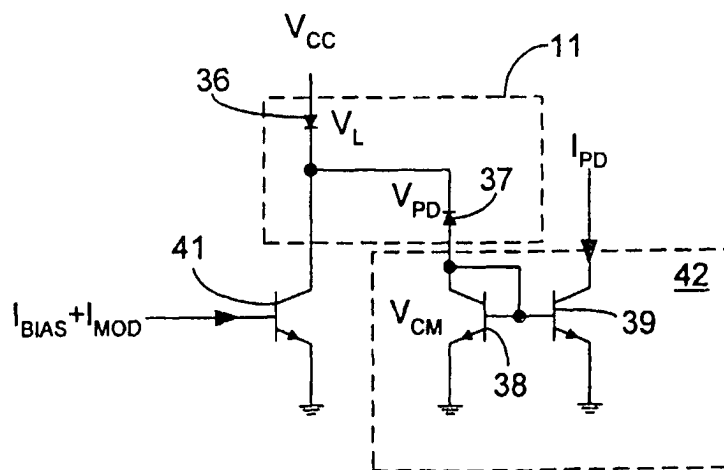
5. Struktur nach Anspruch 1, wobei der Photodetektor (**210, 410**) und der PN-Übergang (**215, 415**) innerhalb des Halbleiterlasers (**220, 420**) liegen.

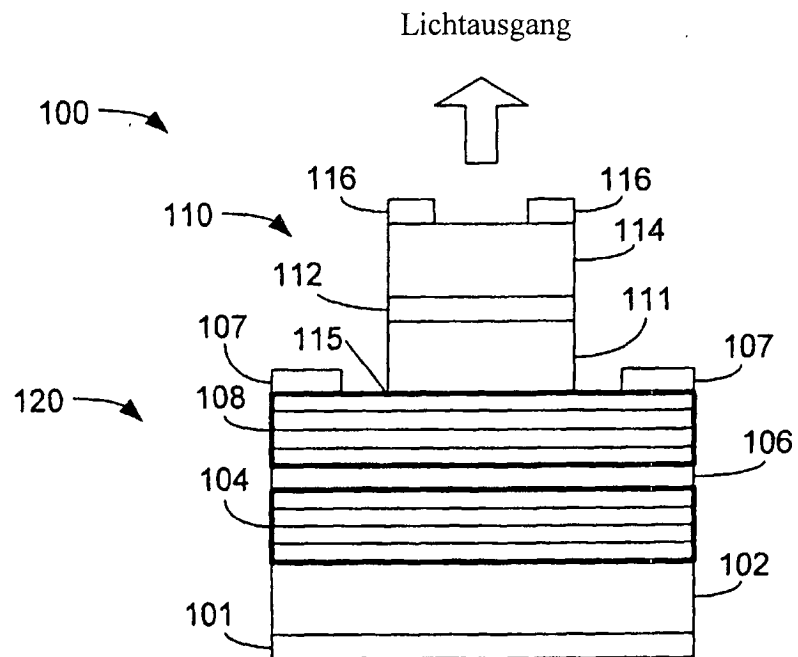
6. Verfahren zum Aufbauen eines monolithisch integrierten Halbleiterlasers und Photodetektors zum Betrieb mit niedriger Vorspannung mit drei Anschlüssen, mit folgenden Verfahrensschritten:

- Ausbilden eines Halbleiterlasers (**220, 420**) mit einem ersten Kontakt (**201, 401**) und einem Halbleiterlaser-Betriebsstrom;
- Integrieren eines Photodetektors (**210, 410**) mit einem zweiten Kontakt (**216, 416**) und einem Photodetektor-Betriebsstrom in den Halbleiterlaser (**220, 420**), wobei ein PN-Übergang (**215, 415**) an einer Schnittstelle des Halbleiterlasers (**220, 420**) und des Photodetektors (**210, 410**) gebildet wird; und
- Ausbilden eines dritten Kontakts (**207, 407**), der einen Nebenschluß (shunt) zu dem PN-Übergang bildet.

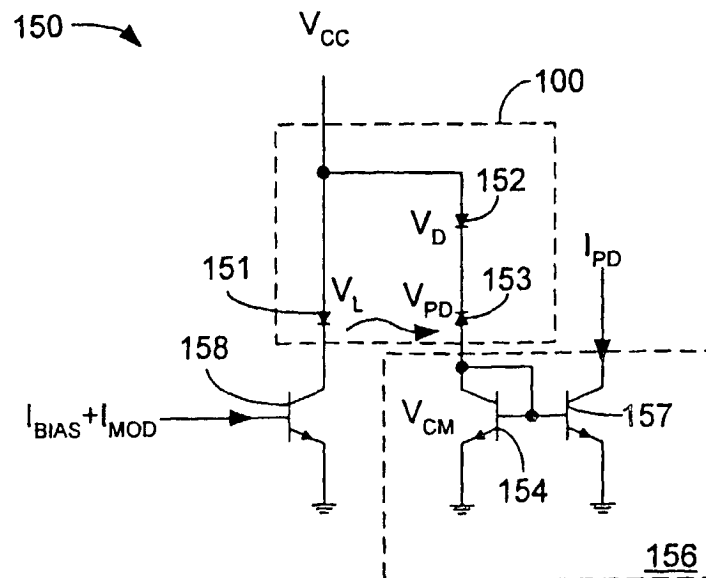
7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei der Photodetektor (**210, 410**) und der PN-Übergang (**215, 415**) innerhalb des Halbleiterlasers (**220, 420**) liegen.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

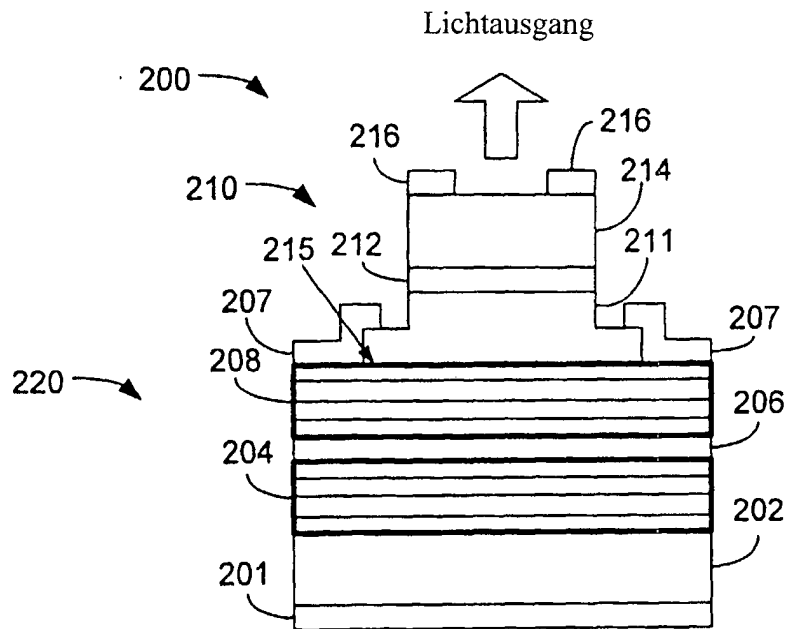
**Fig. 1A (Stand der Technik)****Fig. 1B (Stand der Technik)**



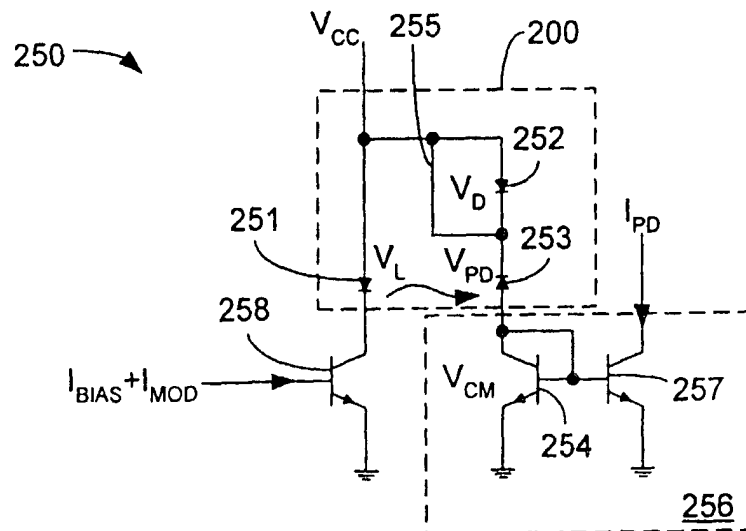
**Fig. 2A**



**Fig. 2B**

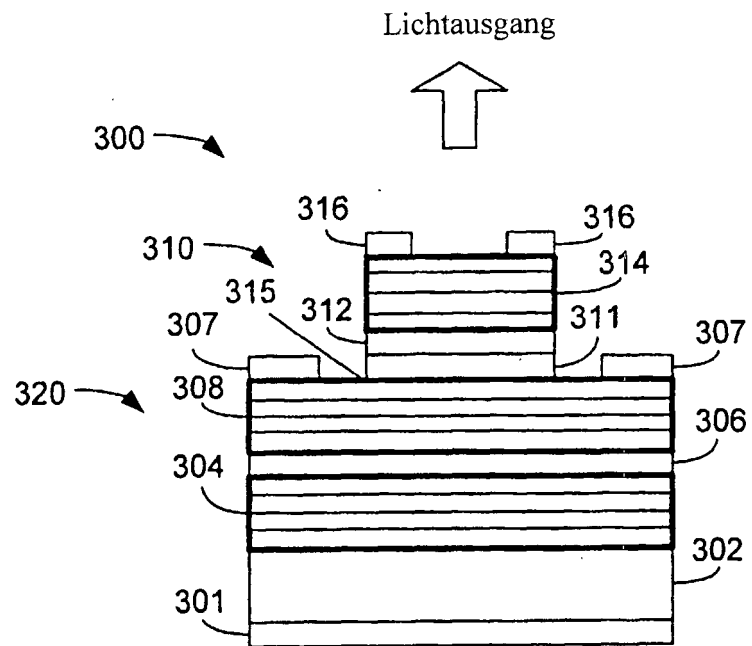


**Fig. 3A**

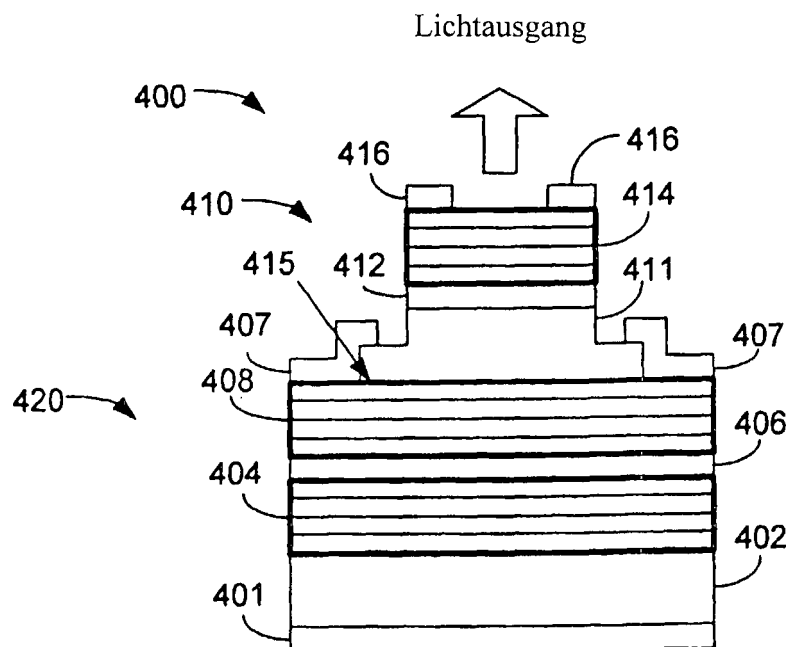


**Fig. 3B**





**Fig. 4**



**Fig. 5**