



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 601 26 510 T2 2007.10.04**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 348 246 B1**

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

(21) Deutsches Aktenzeichen: **601 26 510.6**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/IB01/02001**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 978 728.2**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2002/037631**

(86) PCT-Anmeldetag: **24.10.2001**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **10.05.2002**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **01.10.2003**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **07.02.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **04.10.2007**

(30) Unionspriorität:  
**704346                      02.11.2000                      US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,  
LI, LU, MC, NL, PT, SE, TR**

(73) Patentinhaber:  
**Koninklijke Philips Electronics N.V., Eindhoven,  
NL**

(72) Erfinder:  
**EBELING, Joachim, Karl, 89075 Ulm, DE**

(74) Vertreter:  
**Volmer, G., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 52066 Aachen**

(54) Bezeichnung: **OPTOELEKTRONISCHE VORRICHTUNG, DIE EINE FÜR TRÄGER HOCH-LEITFÄHIGE TUNNEL-STROMÖFFNUNG AUFWEIST**

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****ZUSAMMENFASSUNG****HINTERGRUND**

**[0001]** Die Erfindung betrifft optoelektronische Vorrichtungen, die eine Lichtemission erzeugen, und insbesondere eine für Ladungsträger hoch-leitfähige Tunnelstromöffnung für Laserdioden und verwandte optoelektronische Vorrichtungen. Leistungsstarke Laserdioden, insbesondere solche, die einen vertikalen Resonator haben und Einmoden-Emissionen aufweisen, erfordern Querstrom einschnürung bis auf einen Durchmesser von 10 Mikrometer oder weniger. Der zusätzliche Spannungsabfall infolge des Vorhandenseins der Stromöffnung führt zu einer erhöhten Schwellenspannung. Tunnelung des injizierten Stroms durch solche kleinen Gebiete erzeugt innerhalb der Vorrichtung auch zusätzliche Wärme. Je mehr Wärme erzeugt wird, desto niedriger ist die maximale optische Ausgangsleistung infolge des thermischen Abknickens (engl. thermal roll-over) der Licht-Strom-Kurve. Die in der Vorrichtung erzeugte Wärme ist auch für das Vorhandensein einer wärme-induzierten Linse verantwortlich, die die Erzeugung unerwünschter Quermoden hoher Ordnung verstärkt. Durch die Öffnung eingebrachte Veränderungen der radialen Verteilung der komplexen Brechzahl (sowohl Realteil als auch Imaginärteil) führen zu Streuverlusten.

**[0002]** Früher bekannte Techniken zur Strombegrenzung in Laserdioden sind Mesa-Ätzen oder Protonenimplantation. In VCSELs (vertical cavity surface emitting lasers) sowie in randemittierenden Vorrichtungen werden durch Einschnüren des Stroms über selektiv oxidierte Öffnungen sehr hohe elektrooptische Wandlungswirkungsgrade erreicht. In aus III-V-Halbleitermaterialsystemen, wie z.B. InAlGaAs, gebildeten VCSELs wird häufig die Oxidation der aluminiumhaltigen Schichten verwendet, wie in dem US-Patent Nr. 5.262.360 offenbart. Diese Schichten mit hohem Aluminiumgehalt sind im Allgemeinen von Schichten mit viel geringerem Aluminiumgehalt umgeben. Bei der Oxidation wird Aluminiumarsenid (AlAs) in  $Al_xO_y$ -Schichten mit Dicken von gewöhnlich unter 100 nm umgewandelt. Stromfluss durch die Öffnung senkrecht zu den einzelnen Ebenen der Schichten wird durch elektrischen Widerstand der aluminiumhaltigen Schichten innerhalb der Öffnung begrenzt, außer bei sehr dünnen Schichten, bei denen die Begrenzung nahezu ausschließlich eine Funktion der Heteroübergänge zwischen den Schichten mit hohem und mit niedrigem Aluminiumgehalt ist. Aufgrund der Stufe in der Brechzahl bei der Peripherie der Öffnung wird beträchtliches Streuen der optischen Welle eingebracht, was zu erhöhten Resonatorverlusten führt. Schrumpfen der  $Al_xO_y$ -Schicht führt auch zu Verdehnung im Halbleiterkristall, was einen negativen Einfluss auf die Stabilität und Lebensdauer der Vorrichtung hat.

**[0003]** Die vorliegende Erfindung verschafft eine optoelektronische Vorrichtung, die eine für Ladungsträger hoch-leitfähige Tunnelstromöffnung aufweist. Die Vorrichtung enthält eine mittig platzierte Stromöffnung, gebildet aus einer Quantenschicht, die aus einer mit einem ersten Dotierstofftyp dotierten III-IV-V-Halbleiterverbindung besteht. Die Stromöffnung wird seitlich durch ein Oxid der III-IV-V-Halbleiterverbindung begrenzt. Angrenzende Schichten sind ebenfalls aus einem Halbleitermaterial ausgebildet, das mit dem ersten Dotierstofftyp dotiert ist.

**[0004]** Die Verwendung der III-IV-V-Halbleiterverbindung verschafft die höchstmögliche elektrische Leitfähigkeit in der Stromöffnung mit minimalen optischen Verlusten aufgrund von Streuung und Beugung der Schwingungsmode. Zusätzlich werden innere Spannungen, die bei der Bildung der Öffnung entstanden sind, in der Mehrschicht-Halbleiterstruktur aufgrund der im Vergleich zu den früher verwendeten III-V-Halbleitermaterialien reduzierten Größenänderung des Oxids des III-IV-V-Halbleitermaterials minimiert.

**KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNG**

**[0005]** Die vorstehende Zusammenfassung sowie die nachfolgende ausführliche Beschreibung der Erfindung werden verständlicher, wenn sie zusammen mit der beigefügten Zeichnung gelesen werden. Zur Veranschaulichung der Erfindung werden in der Zeichnung die derzeit bevorzugten Ausführungsformen dargestellt. Es versteht sich jedoch, dass die Erfindung nicht auf die dargestellten genauen Anordnungen und Mittel beschränkt ist. Es zeigen:

**[0006]** [Fig. 1](#) eine Querschnittsansicht einer Tunnelstromöffnung für n-dotierte Ladungsträger gemäß einer ersten bevorzugten Ausführungsform der Erfindung und

**[0007]** [Fig. 2](#) eine Querschnittsansicht einer Tunnelstromöffnung für p-dotierte Ladungsträger gemäß einer zweiten bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

**DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN**

**[0008]** Mit Bezug auf [Fig. 1](#) wird eine für Ladungsträger hoch-leitfähige Tunnelstromöffnung zur Verwendung in einer optoelektronischen Vorrichtung **10** (von der nur ein Abschnitt dargestellt ist), wie z.B. einer VCSEL, gezeigt, beispielsweise wie in den US-Patenten mit den Nummern 5.262.360 oder 5.594.751 beschrieben. Die Stromöffnung wird aus einer mittig gedehnten Quantenbarrierschicht gebildet, die aus einer in einer Schicht **12** gebildeten

III-IV-V-Halbleiterverbindung besteht. Die erste bevorzugte Ausführungsform der Stromöffnung ist für Elektronen bestimmt und die III-IV-V-Halbleiterverbindung wird vorzugsweise aus  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{Si}_{1-x-y}\text{As}$  in der Schicht **12** gebildet, wobei X und Y kleiner als 1 sind und  $X + Y$  auch kleiner als 1 ist. Bei diesem Halbleitertyp liegen amphotere Si-Atome sowohl an Gitterplätzen der Gruppe III als auch der Gruppe V. Wegen des amphoteren Charakters kann Si eingebaut werden, ohne das AlGaAs makroskopisch zu dotieren. Die III-IV-V-Halbleiterverbindung wird mit Tellur (Te) oder Selen (Se) dotiert. Vorzugsweise liegt X im Bereich von 0,8–0,98 und Y im Bereich von 0,19–0,01. Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist  $X = 0,97$  und  $Y = 0,01$ .

**[0009]** Die Schicht **12** liegt vorzugsweise zwischen benachbarten Halbleiterschichten **14**, **16**, die auch n-dotiert sind. Diese Schichten bestehen vorzugsweise aus  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{As}$ , mit X kleiner als 1. Bei einer bevorzugten Ausführungsform gilt  $X = 0$ , sodass die Schichten **14** und **16** aus GaAs gebildet werden, das mit einer Konzentration von  $5 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  n-dotiert ist.

**[0010]** Die Konzentration des Bestandteils Si aus der Gruppe IV in der III-IV-V-Halbleiterverbindung AlGaSiAs ist so gewählt, dass das Fermi-niveau in den Schichten ausgeglichen ist und die Tunnelbarriere nahezu verschwindet, sodass Stromfluss bei niedrigem Widerstand ermöglicht wird. Strommodelle zeigen, dass eine Si-Konzentration von weniger als 2% ausreicht, um das Fermi-niveau so auszugleichen, dass die gedehnte Quantenbarriere unter der kritischen Schichtdicke bleibt.

**[0011]** Um die hoch-leitfähige mittig gedehnte Stromöffnung **20** des III-IV-V-Halbleitermaterials zu bilden, wird ein hochohmiges Gebiet durch selektive Nassoxidation des Si und einer hochkonzentrierten Al-Schicht **12**, die eine AlGaSiAs-III-IV-V-Halbleiterverbindung enthält, gebildet, wie bei **22** angegeben. Die Oxidation ergibt AlGaSiO-Komplexe mit hohem spezifischem elektrischem Widerstand. Die hochohmige ringförmige Region **22** um die Öffnung **20** herum ist eine wirksame Tunnelbarriere für Stromfluss. Um Streuverluste zu vermeiden, ist die Mittelschicht **12** mit der Öffnung **20** in einem Knoten des elektromagnetischen Stehwellenmusters des VCSEL platziert. Vorzugsweise beträgt der tatsächliche Abstand von der Öffnung zur aktiven Schicht zumindest eine Viertelwellenlänge, aber es ist auch möglich, größere Abstände bis zu ungefähr dem 10fachen der Emissionswellenlänge zu verwenden. Die geringe Dicke der Quantenbarrierschicht **12** führt dazu, dass während des Oxidationsprozesses eine extrem niedrige mechanische Spannung erzeugt wird.

**[0012]** Die optoelektronische Vorrichtung mit der für Ladungsträger hochleitfähigen Tunnelstromöffnung **22**, die aus dem III-IV-V-Halbleitermaterial gebildet

ist, bietet den Vorteil eines verringerten Serienwiderstandes und höherer Wandlungswirkungsgrade bei niedrigerer Verlustleistung, im Vergleich zu den aus III-V-Halbleitermaterial gebildeten bekannten Vorrichtungen. Außerdem gibt es wegen der Platzierung der III-IV-V-Halbleiterschicht **12** bei einem Knoten der stehenden Welle weniger Streuverluste in dem Resonator und daher höhere differentielle Quantenwirkungsgrade. Die gesamte mechanische Stabilität der Vorrichtung wird auch wegen der niedrigeren Verlustleistung sowie der verringerten, durch die begrenzende Oxidbildung des III-IV-V-Halbleitermaterials erzeugten mechanischen Spannung verbessert.

**[0013]** Bei einer ersten bevorzugten Ausführungsform hat die Schicht **12** eine Dicke  $t_1$  von 5–20 nm und haben die angrenzenden Schichten **14** und **16** eine Dicke  $t_2$ ,  $t_3$  von 50–200 nm. Die Öffnung hat vorzugsweise einen Durchmesser d von 0,5–500 Mikrometer und liegt besonders bevorzugt in einem Bereich von weniger als 10 Mikrometer. Die Breite  $\alpha$  des begrenzenden Oxids kann zwischen 5 und 50 Mikrometer liegen. Der Fachkundige wird jedoch erkennen, dass auf Wunsch andere Abmessungen verwendet werden können.

**[0014]** Vorzugsweise werden bei der Bildung der optoelektronischen Vorrichtung, wie z.B. eines VCSEL, die Schichten **12**, **14** und **16** mit Hilfe von Molekularstrahlepitaxie (MBE: molecular beam epitaxy) aufgewachsen. Ein derartiger geeigneter Prozess wird in dem US-Patent 5.493.577 beschrieben. Es ist auch möglich, die Schichten mittels eines metallorganischen chemischen Dampfabscheidungsprozesses aufzuwachsen.

**[0015]** Die Verwendung einer III-IV-V-Halbleiterverbindung in der Öffnung verringert den elektrischen Widerstand, was hauptsächlich auf Bandverschiebungen bei den Heteroübergängen zurückzuführen ist. Ein zusätzlicher Nutzen der vorliegenden Erfindung liegt in den höheren Verarbeitungsgeschwindigkeiten für Nassoxidation der Schicht **12** auf Grund der hohen Affinität von Si zu Sauerstoff. Der Fachkundige wird erkennen, dass in dem n-dotierten III-IV-V-Halbleitermaterial statt Silicium (Si) auch Germanium (Ge) verwendet werden könnte, da Germanium ebenfalls eine hohe Affinität zu Sauerstoff sowie einen günstigen Fermi-niveau-Wert für niedrigen Tunnelwiderstand hat. Verwandte Verbindungen wie z.B. AlGaSiGeAs für die Öffnungsschicht sind auch möglich.

**[0016]** Mit Bezug auf [Fig. 2](#) wird jetzt eine zweite Ausführungsform einer optoelektronischen Vorrichtung **30** (von der nur ein Abschnitt dargestellt ist) gezeigt, die eine für Ladungsträger hoch-leitfähige Tunnelstromöffnung aufweist. Die Stromöffnung ist ähnlich wie die oben beschriebene Stromöffnung **20**, aber sie ist für Löcher bestimmt und p-dotiert. Die für

Ladungsträger hoch-leitfähige Tunnelstromöffnung **40** ist aus einer Schicht **32** gebildet, die auch aus einer III-IV-V-Halbleiterverbindung hergestellt ist, die vorzugsweise aus  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{Si}_{1-x-y}\text{As}$  besteht, wobei X kleiner als 1 ist, Y kleiner als 1 ist und  $X + Y < 1$  gilt. Bei einer bevorzugten Ausführungsform liegt X im Bereich von 0,8–0,98 und Y im Bereich von 0,19–0,01. Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist  $X = 0,9$  und  $Y = 0,08$ .

**[0017]** Vorzugsweise wird die III-IV-V-Halbleiterschicht **32** zwischen benachbarten Halbleiterschichten **34**, **36** gebildet, die auch mit einer Konzentration von  $5 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  p-dotiert sind. Vorzugsweise werden die Schichten **34** und **36** aus einem  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ -Material gebildet, wobei X kleiner als 1 und in einer bevorzugten Ausführungsform  $X = 0$  ist.

**[0018]** Die Stromöffnung **40** wird in der Schicht begrenzt, indem ein ringförmiger äußerer Abschnitt **42** in ähnlicher Weise, wie oben im Zusammenhang mit der ersten bevorzugten Ausführungsform besprochen, nassoxidiert wird. Die Dicken der Schichten  $t_1$ ,  $t_2$  und  $t_3$  sind ähnlich denen, wie sie oben im Zusammenhang mit der ersten bevorzugten Ausführungsform besprochen worden sind. Der Durchmesser d des die Stromöffnung **40** bildenden p-dotierten III-IV-V-Halbleitermaterials liegt vorzugsweise zwischen 0,5 und 500 Mikrometer. Die Breiten  $\alpha$  der begrenzenden oxidierten Abschnitte **42** der Schicht **32** betragen vorzugsweise 5–50 Mikrometer.

**[0019]** Die zweite bevorzugte Ausführungsform verschafft die gleichen Vorteile der ersten bevorzugten Ausführungsform mit einem p-dotierten III-IV-V-Halbleitermaterial und wird vorzugsweise während der Bildung der optoelektronischen Vorrichtung epitaktisch aufgewachsen.

**[0020]** Daher kann eine Stromöffnung gemäß der vorliegenden Erfindung auf beiden Seiten einer aktiven Schicht in einer optoelektronischen Vorrichtung, wie z.B. einem VCSEL gebildet und mit dem gleichen Dotiertyp wie die Halbleiterschichten auf dieser Seite dotiert sein.

**[0021]** Wenngleich die vorliegende Erfindung anhand der bevorzugten Ausführungsformen beschrieben worden ist, werden Fachkundige erkennen, dass andere Abwandlungen innerhalb des Wesens und Rahmens der vorliegenden Erfindung möglich sind. Daher wird den Fachkundigen bewusst sein, das Änderungen an den oben beschriebenen Ausführungsformen vorgenommen werden können, ohne von deren breitem Erfindungsgedanken abzuweichen. Es versteht sich daher, dass die Erfindung nicht auf die offenbarten speziellen Ausführungsformen beschränkt ist und Abwandlungen innerhalb des Rahmens der vorliegenden Erfindung, wie sie durch die beigefügten Ansprüche definiert ist, abdecken soll.

Inschrift der Zeichnung

**Fig. 1**

n-doped n-dotiert

**Fig. 2**

p-doped p-dotiert

### Patentansprüche

1. Optoelektronische Vorrichtung, die eine für Ladungsträger hoch-leitfähige Tunnelstromöffnung aufweist, umfassend:

eine mittig platzierte Stromöffnung, gebildet aus einer Quantenschicht, die aus einer mit einem ersten Dotierstofftyp dotierten Halbleiterverbindung besteht, welche seitlich durch ein Oxid der Halbleiterverbindung begrenzt wird, sowie angrenzende Schichten, die aus einem Halbleitermaterial ausgebildet sind, das mit dem ersten Dotierstofftyp dotiert ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Halbleiterverbindung aus einer III-IV-V-Halbleiterverbindung besteht.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, ferner dadurch gekennzeichnet, dass die III-IV-V-Halbleiterverbindung aus  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{Si}_{1-x-y}\text{As}$  besteht, wobei  $x < 1$ ,  $y < 1$  und  $x + y < 1$  ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, ferner dadurch gekennzeichnet, dass die III-IV-V-Halbleiterverbindung n-dotiert ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1, ferner dadurch gekennzeichnet, dass das Halbleitermaterial vom Typ IV aus der Gruppe, bestehend aus Kohlenstoff, Silicium und Germanium, ausgewählt ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 1, ferner dadurch gekennzeichnet, dass die Quantenschicht eine Dicke von ungefähr 5 nm bis 25 nm aufweist.

6. Vorrichtung nach Anspruch 1, ferner dadurch gekennzeichnet, dass die Quantenschicht in einem Knoten eines Stehwellenmusters der optoelektronischen Vorrichtung angeordnet ist.

7. Vorrichtung nach Anspruch 1, ferner dadurch gekennzeichnet, dass die III-IV-V-Halbleiterverbindung aus  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{C}_{1-x-y}\text{As}$  besteht, wobei  $x < 1$ ,  $y < 1$  und  $x + y < 1$  ist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, ferner dadurch gekennzeichnet, dass die III-IV-V-Halbleiterverbindung p-dotiert ist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 1, ferner dadurch

gekennzeichnet, dass die Stromöffnung eine Breite von 0,5 bis 500  $\mu\text{m}$  aufweist.

10. Vorrichtung nach Anspruch 1, ferner dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung einen VCSEL umfasst und dass die Stromöffnung in der Nähe einer aktiven Schicht positioniert ist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 1, ferner dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung eine Einmoden-Emission aufweist und dass die Stromöffnung eine Breite von 0,5 bis 10  $\mu\text{m}$  aufweist.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

