



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 102 21 952 B4** 2007.07.12

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **102 21 952.4**
 (22) Anmeldetag: **13.05.2002**
 (43) Offenlegungstag: **27.11.2003**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **12.07.2007**

(51) Int Cl.⁸: **H01S 5/20** (2006.01)
H01S 5/16 (2006.01)
H01S 5/028 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Forschungsverbund Berlin e.V., 12489 Berlin, DE

(74) Vertreter:
Anwaltskanzlei Gulde Hengelhaupt Ziebig & Schneider, 10179 Berlin

(72) Erfinder:
Ressel, Peter, 12557 Berlin, DE; Erbert, Götz, 12555 Berlin, DE

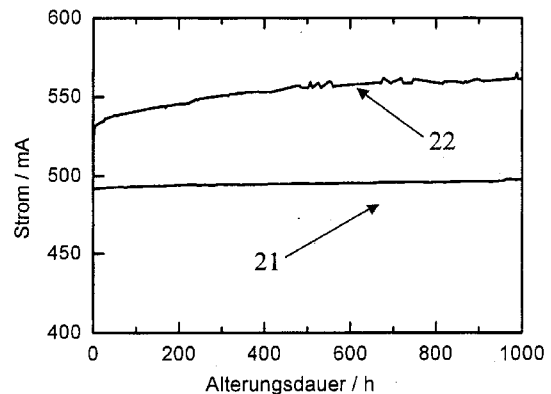
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:

US 63 23 052 B1
US 57 99 028
US 56 68 049
US 51 71 717
US 51 44 634
EP 10 06 629 A2
WO 01/84 680 A1
WO 00/21 168 A1
WO 00/21 168 A1
=EP 10 60 545 A1

Patent Abstracts of Japan:
JP 10-107 363 A und Übersetzung;
JP 06-314 842 A;

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Passivierung der Spiegelflächen von optischen Halbleiterbauelementen**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Passivierung der Spiegelflächen von optischen Halbleiterbauelementen, nachdem diese der Luft ausgesetzt waren, wobei die Halbleiterbauelemente erwärmt und unter Hochvakuum mit einem gasförmigen und reaktiven Medium, dessen kinetische Energie kleiner als 2 eV ist, gereinigt werden, in-situ eine geschlossene, isolierende oder niedrigleitende, lichtdurchlässige Schutzschicht aufgebracht wird, die in Bezug auf das Material an der Spiegelfläche sowie verbliebener Komponenten des Eigenoxids inert ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Passivierung der Spiegelflächen von optischen Halbleiterbauelementen, nachdem jene der Luft ausgesetzt waren. Das Verfahren hat primär Bedeutung für Halbleiterlaser, ist aber auch für andere optische Halbleiterbauelemente geeignet, bei denen das Licht aus Spiegelflächen austritt, wie Superlumineszenz-Dioden, Oberflächenemittierende Diodenlaser u.a.

[0002] Optische Halbleiterbauelemente finden vielfältige Anwendung in unterschiedlichsten technologischen Gebieten wie Optische Nachrichtentechnik, Beleuchtung, Pumpen von Festkörperlasern, Materialbearbeitung oder Medizinischen Therapien. Ihre kompakte Bauart und hohe Effizienz sind von Vorteil im Vergleich mit konventionellen Lichtquellen. Insbesondere Halbleiterlaser hoher Leistung beginnen den Markt auf Gebieten zu erobern, wo ihre im Vergleich zu konventionellen Festkörper- oder Gaslasern noch immer verminderte Strahlqualität akzeptabel ist bzw. durch geeignete Maßnahmen ausgeglichen werden kann.

[0003] Lebensdauer und maximale Ausgangsleistung von Halbleiterlasern sind immer noch vor allem durch die Qualität ihrer Spiegelflächen begrenzt. Wenn diese an Luft erzeugt worden sind, insbesondere beim Brechen der Wafer in Laserriegel an Luft, entsteht auf ihnen sofort ein natürliches Oxid, fortan als Eigenoxid bezeichnet. Die Eigenoxid/Halbleiter-Grenzfläche mit ihrer hohen Dichte an Grenzflächenzuständen ist Ursache eines hohen Anteils an nichtstrahlender Rekombination. Weiterhin ist das Eigenoxid, welches auch Stoffe wie Arsen oder Wasser enthält, chemisch instabil in Bezug auf die Halbleitermaterialien, aus denen die Spiegelflächen bestehen. Bei hohen optischen Leistungsdichten führen diese Faktoren im Zusammenspiel mit der Entstehung und Wanderung von Gitterdefekten zu zwei bekannten Erscheinungen:

- (a) dem kontinuierlichen Anstieg des Betriebsstroms, der für konstante Ausgangsleistung erforderlich ist (gewöhnliche Degradation der Spiegelflächen) und
- (b) der plötzlichen Zerstörung der Spiegelflächen (Catastrophic Optical Damage – COD), was zum sofortigen Ausfall des Bauelements führt.

[0004] COD ist das Resultat eines schnellen Degradationsprozesses mit starker positiver Rückkopplung, bei dem die lokale Aufheizung der Spiegelfläche infolge nichtstrahlender Rekombination an Defekten zu einer Verringerung der Bandlücke führt. Dies wiederum bewirkt noch stärkere Aufheizung, der Prozess beschleunigt sich und führt innerhalb kurzer Zeit zur Zerstörung der Spiegelfläche. Meist sinkt während des Betriebs des Bauelements die Schwelle für das Einsetzen von COD infolge gewöhn-

licher Degradation. Das COD-Niveau unterschreitet irgendwann die aktuelle Ausgangsleistung und das Bauelement fällt dann aus. Die Abscheidung der Schichten zur Einstellung der Reflektivität der Spiegelflächen mit Hilfe konventioneller Techniken wie Ionenstrahl-Sputtern (IBS), Plasmagestützte Chemische Dampfphasen-Abscheidung (PECVD) o.a. ändert die Situation nicht grundlegend. Das Eigenoxid, welches Hauptursache der gewöhnlichen Degradation ist, wird lediglich durch die nachfolgenden Schichten eingeschlossen. Folglich sind optische Halbleiterbauelemente, die durch besagte Abscheidung der Schichten zur Reflektivitätseinstellung auf an Luft erzeugte Spiegelflächen gefertigt worden sind, anfällig für die o.g.

[0005] Effekte von Degradation und COD, die wiederum Lebensdauer und Ausgangsleistung der Bauelemente begrenzen.

[0006] Die Lösung des Problems liegt in der Erzeugung von Spiegelflächen, welche frei von Eigenoxid und Verunreinigungen oder zumindest frei von Stoffen sind, die mit denen der Spiegelflächen reagieren können. In der Vergangenheit sind unterschiedliche Verfahren vorgeschlagen und untersucht worden, um dieses Konzept umzusetzen. Im folgenden werden solche Verfahren als Passivierung bezeichnet, welche auf die Präparation reiner Spiegelflächen in Kombination mit der Abscheidung einer Schutzschicht gerichtet sind. Die im folgenden zitierten Literaturstellen illustrieren beispielhaft die Entwicklung von Verfahren zur Passivierung und den bisher bekannten Stand der Technik.

[0007] Selbstverständlich ist die effektivste Methode zur Erzeugung reiner Spiegelflächen die Vermeidung des Kontakts mit Luft überhaupt, im Falle von kantenemittierenden Halbleiterlasern kann dies durch Brechen der Laserriegel in einer geeigneten Umgebung, insbesondere im Ultrahochvakuum, erreicht werden. In der US 5,144,634 wird die in-situ Abscheidung einer geschlossenen Passivierungsschicht auf reinen Spiegelflächen beschrieben. In einer bevorzugten Realisierung geschieht dies durch Elektronenstrahl-Aufdampfung einer dünnen Si-, Ge- oder Sb-Schicht auf Spiegelflächen, die in-situ im Ultrahochvakuum erzeugt worden sind. Eine ähnliche Lösung zeigt die US 5,171,717. Solcherart passivierte Bauelemente arbeiten zuverlässig bei Leistungen, die jene konventioneller Bauelemente um mehr als das Doppelte übersteigen. Allerdings wird für das Spalten von Laserriegeln im Ultrahochvakuum eine komplizierte und teure Ausrüstung benötigt. Deshalb sind auch Passivierungsverfahren entwickelt worden, die das Spalten der Riegel an Luft gestatten.

[0008] Die US 5,799,028 beschreibt ein Passivierungsverfahren, das auf der Behandlung von an Luft erzeugten Spiegelflächen mit schwefelhaltigen Lö-

sungen bzw. mit H_2Se beruht, wobei die Spiegelflächen anschließend mit einer Halbleiterschicht aus GaP, InGaP, GaN, ZnSe o.a. versiegelt werden. Verschiedene Literaturstellen werden zitiert, die belegen, dass das Eigenoxid der Spiegelflächen während dieser Behandlung durch Monolagen von Schwefel bzw. Selen ersetzt wird. Solche Schichten besitzen in Kontakt mit den Halbleitermaterialien der Spiegelflächen eine niedrige Grenzflächenzustandsdichte. Doch sind sie an Luft unbeständig, weshalb es nötig ist, sofort eine inerte Schutzschicht aus einem der o.g. Materialien epitaktisch auf den Spiegelflächen aufwachsen zu lassen.

[0009] In der US 5,668,049 wird die Verwendung von H_2Se - sowie H_2S -Plasmaätzen beschrieben, um das Eigenoxid auf den Spiegelflächen zu beseitigen und sie gleichzeitig mit einer dünnen Se- bzw. S-Schicht zu bedecken. Diese Se- bzw. S-Schichten bewirken eine starke Reduzierung der Grenzflächenzustandsdichte auf den Spiegelflächen und somit eine weitere Verbesserung der Reinigungswirkung besagten Plasmaätzens. Die Se- bzw. S-Schichten müssen in-situ mit einer Schutzschicht versehen werden, um eine erneute Oxidation der gereinigten Flächen an Luft zu verhindern.

[0010] Die Behandlung mittels eines Plasmaprozesses ist auch Gegenstand der US 6,323,052 B2. Insbesondere soll mit einem Argonplasma im energetischen Bereich von 25–300 eV gearbeitet werden.

[0011] Obwohl die Wirksamkeit solcher Verfahren demonstriert worden ist, sind diese oder ähnliche Techniken limitiert durch die unvermeidliche Erzeugung von Defekten im Bereich der Spiegelfläche infolge der Wechselwirkung mit energetischen Teilchen, wodurch zumindest teilweise die vorteilhafte Wirkung der Reinigung der Spiegelflächen aufgehoben wird.

[0012] In der EP 10 60 545 A1 wird ein Verfahren zur Passivierung behandelt, das auf dem Wachsen einer einkristallinen Schicht auf den Spiegelflächen beruht. Falls diese in Luft gespalten worden sind, werden sie in-situ vor dem Aufwachsen von Eigenoxid und Verunreinigungen befreit. Auch hier wird für das Ätzen des Eigenoxids Ionenätzen vorgeschlagen. Die einkristalline Schicht besteht vorzugsweise aus ZnSe, MgS oder BeTe. Auch die folgenden Schichten zur Einstellung der Reflektivität werden nach Möglichkeit epitaktisch auf der Passivierungsschicht gewachsen.

[0013] In der EP 10 06 629 A2 wird ein Verfahren zur Erhöhung von Lebensdauer und maximaler Ausgangsleistung bei Rippenwellenleiter-Halbleiterlasern gezeigt. Ein erster Reinigungsschritt für die Spiegelflächen besteht in der Behandlung mit einem niederenergetischen (25–300 eV) Plasma. Verblei-

bender Sauerstoff wird, stimuliert durch Ionenbeschuss, während des Wachstums der Passivierungsschicht in diese eingebaut. In einer bevorzugten Realisierung besteht die Passivierungsschicht aus amorphem Silizium. Dabei bewirkt der Ionenbeschuss während der Ionenstrahlgestützten Abscheidung (IBAD) der Si-Schicht die gewünschte Sauerstoffgetterung infolge SiO_x -Bildung. XPS-Messungen zeigen, dass an der Grenze zwischen Spiegelfläche und Passivierungsschicht keine Ga-O- oder As-O-Bindungen nachgewiesen werden können, was die Wirksamkeit des Passivierungsverfahrens unter Beweis stellt.

[0014] WO 01/84 680 A1 beschreibt ein Verfahren zur Passivierung der Spiegelflächen von Halbleiterlasern, welche der Luft ausgesetzt gewesen sind. Die Spiegelfläche werden mittels eines niederenergetischen (max. 20 eV) Plasmas aus Wasserstoff oder Edelgas-Wasserstoff-Gemischen gereinigt. Ohne Unterbrechung des Vakuums wird anschließend eine inerte und für die Wellenlängen >800 nm transparente Passivierungsschicht aus hydrogeniertem, amorphem Silizium (a-Si:H) aufgebracht.

[0015] Alle genannten Verfahren führen zum gewünschten Ergebnis, d.h. zu einer Verbesserung der Lebensdauer und der Ausgangsleistung von Halbleiterlasern, ohne daß die Spiegelflächen im Ultrahochvakuum erzeugt werden müssen. Trotzdem ist eine weitere Verbesserung des Passivierungsverfahrens wünschenswert, da das Aufwachsen einkristalliner Passivierungsschichten komplex ist und der Einsatz energetischer Teilchen zur Reinigung der Spiegelflächen das Entstehen von Gitterdefekten bewirkt. Diese erhöhen den Anteil nichtstrahlender Rekombination und sind Ausgangspunkt für Wachstum und Migration weiterer Defekte. Die positiven Effekte der Beseitigung von thermodynamisch instabilem Eigenoxid von den Spiegelflächen können somit nicht voll genutzt werden.

[0016] Es ist deshalb Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur Passivierung optischer Halbleiterbauelemente anzugeben, mit dem höhere Lebensdauern und Ausgangsleistungen erreicht werden, wobei die Spiegelflächen an Luft erzeugt werden sollen.

[0017] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe gelöst durch die Merkmale des Anspruchs 1. Zweckmäßige Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0018] Das erfindungsgemäße Verfahren beruht auf einem Zweischnittprozess. Zunächst werden die optischen Halbleiterbauelemente, deren Spiegelflächen Luft ausgesetzt gewesen sind, in eine Hochvakuumapparatur gebracht, auf Temperaturen <420 °C aufgeheizt und durch Behandlung mit einem gasförmigen reaktiven und niederenergetischen, Medium ge-

reinigt. Besagtes Medium besteht aus Atomen oder Molekülen, die sich im Grundzustand oder in angeregten Zuständen befinden und deren kinetische Energie Werte von 1–2 eV nicht überschreitet. Keinesfalls dürfen geladene Teilchen mit Energien ≥ 10 eV verwendet werden, wie sie in Ionenstrahlen oder Plasmen vorkommen und beim Kontakt mit Festkörpern Defekte generieren. Das Medium ist in der Lage, mit einem oder mehreren Bestandteilen des Eigenoxids sowie anderen Verunreinigungen der Spiegelflächen zu flüchtigen Reaktionsprodukten zu reagieren. Es ist in der Lage, bestimmte Bestandteile des Eigenoxids zu entfernen, während andere Komponenten auf den Spiegelflächen verbleiben können.

[0019] Vorzugsweise wird atomarer Wasserstoff eingesetzt, der in einem separaten Mikrowellenplasma erzeugt wird. Im Anschluss wird auf die Spiegelflächen in-situ eine geschlossene, isolierende oder niedrigleitende Schutzschicht aufgebracht. Die Schutzschicht besteht aus einem Material, das chemisch inert ist in Bezug auf die Materialien der Spiegelflächen sowie eventuell verbliebener Komponenten des Eigenoxids. Des Weiteren wirkt die Schutzschicht als Barriere gegen die Eindiffusion von Verunreinigungen aus dem Äußeren, welche mit der Spiegelfläche reagieren oder sie verunreinigen können. Materialauswahl und Dicke der Schutzschicht sind so zu halten, dass möglichst hohe Lichtdurchlässigkeit besteht. Vorteilhaft, jedoch nicht zwingend, ist eine niedrige Grenzflächenzustandsdichte in Bezug auf das Halbleitermaterial. In einer bevorzugten Realisierung wird ZnSe aus einem thermischen Verdampfer aufgebracht. Andere geeignete Materialien sind Gd_2O_3 , Si oder BeTe. Weicht die Reflektivität von dem Zielwert ab, können nach Abschluss der Passivierung weitere Schichten in-situ oder ex-situ aufgebracht werden, um die Reflektivität der Spiegelflächen einzustellen.

[0020] Die Erfindung beruht auf der Erkenntnis, dass die Erzeugung thermodynamisch stabiler Spiegelflächen durch Eliminierung der Komponenten des Eigenoxids, die für den instabilen Charakter desselben verantwortlich sind, für die Passivierung ausreichend ist. Das Verfahren besteht nicht in der vollständigen Beseitigung des Eigenoxids. Eingesetzt wird ein chemischer, d.h. rein reaktiv wirkender, und materialelektiver Prozeß. Der Einsatz von Ionenstrahl- oder Plasmaätzverfahren, die durch die Verwendung geladener Teilchen mit Energien ≥ 10 eV gekennzeichnet sind und zwangsweise zur Entstehung von Gitterdefekten in den Spiegelflächen führen, wird ausgeschlossen.

[0021] Halbleiterlaser, die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt worden sind, zeigen verbesserte Lebensdauern und können bei höheren Ausgangsleistungen betrieben werden als Laser, die ohne einen speziellen Passivierungsschritt gefertigt

worden sind. Während die Ergebnisse vergleichbar mit denen bisher bekannter Passivierungsverfahren sind, liegt der Vorteil der Erfindung in ihrer Einfachheit. Die Spiegelflächen können mit Luft in Berührung kommen, wodurch die Notwendigkeit des Spaltens der Riegel im Ultrahochvakuum entfällt. Für die Reinigung der Spiegelflächen kommen keine energiereichen Teilchen zum Einsatz, welche Defekte auf den Spiegelflächen generieren können. Die Reinigungstemperaturen liegen unterhalb von 420 °C, d.h. Temperaturen, bei denen typische Metallkontakte noch beständig sind. Dadurch kann der Metallisierungsschritt vor dem Spalten der Wafer in Riegel ausgeführt werden, was den Fabrikationsprozess wiederum nicht unnötig kompliziert. Des Weiteren ist die Schutzschicht nicht notwendigerweise einkristallin, wodurch auf den Einsatz spezieller Ausrüstungen für die Epitaxie von Halbleiter- o.a. Schichten verzichtet werden kann. Das alles bedeutet, dass das Verfahren auf der Verwendung bekannter, kommerziell erhältlicher und vergleichsweise preiswerter Ausrüstung beruht und die Fertigung des Bauelements nicht unnötig erschwert.

[0022] Die Erfindung soll nachstehend anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert werden. In den zugehörigen Zeichnungen zeigen

[0023] Fig. 1 die schematische Darstellung eines Halbleiterlasers, der nach dem erfindungsgemäßen Verfahren gefertigt worden ist und

[0024] Fig. 2 die Abhängigkeit des Betriebsstroms von der Alterungsdauer bei konstanter optischer Ausgangsleistung für Halbleiterlaser, die ohne einen Passivierungsschritt sowie unter Einsatz des erfindungsgemäßen Verfahrens gefertigt worden sind.

[0025] In Fig. 1 ist schematisch ein exemplarischer GaAs-basierender Halbleiterlaser **10** dargestellt. Auf einem n-GaAs(001)-Substrat **11** wird eine Anzahl von Halbleiterschichten gebildet, indem eine erste Mantelschicht **12A** (AlGaAs, InGaP o.a.), eine erste Wellenleitschicht **13A** (AlGaAs, InGaAsP o.a.), eine Quantentopfstruktur **14**, eine zweite Wellenleitschicht **13B**, eine zweite Mantelschicht **12B** und eine p⁺-GaAs-Kontaktschicht **15** abgeschieden werden. Eine Mesa **16** wird bis in die zweite Mantelschicht **12B** geätzt, wodurch die laterale Ausdehnung des Wellenleiters definiert wird, welcher durch Anzahl der vorgenannten Halbleiterschichten gebildet wird. Eine Isolatorschicht **17** (Al_2O_3 , SiO_2 o.a.), ein p-Kontakt **18** und ein n-Kontakt **19** vervollständigen die Vielschichtstruktur, die auf diese Weise eine vorgefertigte Laserstruktur bildet. Weitere Einzelheiten der Schichtstruktur sind nicht von Bedeutung für die vorliegende Erfindung und werden hier nicht diskutiert.

[0026] Die vorgefertigte Struktur wird weiter prozessiert durch Ritzen und Spalten in einzelne Riegel,

welche wiederum aus einer Vielzahl von einzelnen Halbleiterlasern **10** bestehen. Auf diese Weise werden zwei gegenüberliegende Spiegelflächen erzeugt.

[0027] Die vorgefertigten Strukturen werden anschließend an Luft in Laserriegel vereinzelt, in einer geeigneten Halterung fixiert und zum Reinigen und Versiegeln der Spiegelflächen in eine Vakuumkammer gebracht. Da auf an Luft erzeugten Spiegelflächen sofort eine Schicht aus Eigenoxid und Verunreinigungen, wie Wasser u.a. entsteht, welche die Lebensdauer und Ausgangsleistung der Halbleiterlaser begrenzen, sind erfindungsgemäß eine Reinigung der Spiegelflächen und das Aufbringen einer Schutzschicht vorgesehen. Zur Reinigung wird zunächst ein reaktives Medium eingesetzt. Atome oder Moleküle besagten Mediums besitzen kinetische Energien, die Werte von 1–2 eV nicht überschreiten. Folglich werden auf den Spiegelflächen keine Defekte während des Reinigungsschritts induziert im Unterschied zu Behandlungen mit Ionen oder Plasmen, bei denen die Teilchenenergie 10 eV und mehr beträgt. In einer bevorzugten Realisierung des Verfahrens besteht das Medium aus atomarem Wasserstoff, angeregt oder im Grundzustand, oder angeregtem, molekularem Wasserstoff. Es existieren verschiedene Techniken zur Generierung von besagtem Medium, z.B. die Anregung und Dissoziation von molekularem Wasserstoff an heißen Filamenten oder durch Extraktion der Neutralteilchen aus einem von den Spiegelflächen räumlich getrennten Mikrowellenplasma, welche allesamt Fachleuten bekannt sind. Die Reinigungswirkung des bevorzugten Mediums entfaltet sich bereits bei Temperaturen $<420\text{ }^{\circ}\text{C}$, weshalb keine Gefahr einer Degradation der p- und n-Kontakte **18** und **19** während des Reinigungsvorgangs besteht. Die Wirksamkeit des Reinigungsverfahrens hängt selbstverständlich vom Basisdruck in der Vakuumkammer ab. Es besteht aber keine Notwendigkeit, bei Basisdrücken zu arbeiten, wie sie für den UHV-Bereich typisch sind, d.h. Drücken $<1 \times 10^{-8}$ mbar. Deshalb wird die Vakuumkammer für das Reinigen und Versiegeln der Spiegelflächen bis zu Drücken im Hochvakuumbereich evakuiert, vorzugsweise bis zu Werten im Bereich von 1×10^{-8} bis 1×10^{-7} mbar.

[0028] Reinigung der Spiegelflächen im Sinne der vorliegenden Erfindung bedeutet nicht, dass alle Komponenten des Eigenoxids entfernt werden müssen. Das Verfahren ist hauptsächlich darauf gerichtet, eine chemisch inerte Spiegeloberfläche zu schaffen. Zu diesem Zweck müssen nur die Bestandteile des Eigenoxids bzw. die Verunreinigungen entfernt werden, welche in der Lage sind, während des Laserbetriebs mit den Spiegelflächen zu reagieren. Tatsächlich reagiert atomarer Wasserstoff (und angeregter molekularer Wasserstoff) bei Temperaturen $<420\text{ }^{\circ}\text{C}$ mit den Oxiden von As, Ga und P als auch mit As oder C, welche sich allesamt auf an Luft er-

zeugten Spiegelflächen von GaAs-basierenden Halbleiterlasern befinden. Er wirkt nicht in Bezug auf inertes, d.h. unschädliches Al_2O_3 , welches sich auf den AlGaAs-basierenden Bereichen der Spiegelflächen befindet. Somit sind Spiegelflächen rein im Sinne des Verfahrens, wenn sie frei sind von Komponenten, die eine Degradation des Lasers während des Betriebs bewirken. Doch können sie durchaus inerte Überreste des Oxidationsprozesses enthalten, welcher eine Folge des Spaltens der Laserriegel an Luft ist.

[0029] Anschließend müssen die gereinigten Spiegelflächen vor erneuter Oxidation oder Verunreinigung geschützt werden. Sinnvollerweise geschieht dies in-situ unmittelbar nach Reinigung der Flächen durch Aufbringen einer Schutzschicht. Diese Schutzschicht muss inert sein in Bezug auf die benachbarten Halbleitermaterialien sowie eventuell verbleibende Oxidschichten und sollte als Barriere gegen die Eindiffusion von Verunreinigungen aus dem Äußeren dienen. Die Schicht muss geschlossen sein sowie durchlässig für die Laserstrahlung. Weiterhin muss sie isolierend oder niedrigleitend sein, so dass während des Betriebs nur zu vernachlässigende Anteile des Stroms über die Spiegelflächen fließen. Die Schicht selbst kann amorph oder kristallin sein. Da keine explizite Notwendigkeit für das Wachsen einer einkristallinen Schicht besteht, dies ist im Falle amorpher Restschichten des Eigenoxids sogar unmöglich, ist auch keine teure und komplizierte Ausrüstung für die Abscheidung epitaktischer Schichten erforderlich. Im Gegenteil, Standardverfahren zur Schichtabscheidung wie thermische oder Elektronenstrahl-Aufdampfung bzw. Ionenstrahl-Sputtern, welche nicht auf der direkten Wechselwirkung energetischer Teilchen mit der zu beschichtenden Oberfläche beruhen, können für diesen Zweck eingesetzt werden. Das Material der Schutzschicht kann weiterhin vorteilhafterweise bezüglich einer geringen Grenzflächenzustandsdichte hinsichtlich der zu schützenden Halbleitermaterialien gewählt werden, falls die Spiegelfläche tatsächlich frei von verbliebenem Oxid ist. In diesem Fall kann eine weitere Verbesserung der Bauelementeigenschaften erwartet werden. Als bevorzugte Realisierung für die Schutzschicht ist ZnSe geeignet. Das Material ist durchlässig für Strahlung in einem weiten Bereich von Wellenlängen, wie sie typischerweise in Halbleiterlasern auftreten, und kann aus thermischen Quellen wie Knudsen-Zellen o.a. aufgebracht werden, wie sie Fachleuten bekannt sind. Vorzugsweise wird es im Anschluss an die Reinigung, d.h. in besagter Vakuumkammer auf die Spiegelflächen gedampft, welche sich dann bei Raumtemperatur oder einer beliebigen anderen Temperatur befinden, die für das Wachstum von ZnSe auf III-V-Halbleitern vorteilhaft ist. Jedoch sind andere Materialien auch für die Schutzschicht geeignet, so z.B. Gd_2O_3 , Si oder BeTe.

[0030] Abschließend werden isolierende oder niedrigleitende Schichten auf den Spiegelflächen abgedichtet, die gemäß der Erfindung gereinigt und versiegelt worden sind, um die gewünschte Reflektivität einzustellen. Die Lichtaustrittsfläche wird üblicherweise entspiegelt ($R < 30\%$), was durch Abscheidung einer einzelnen, niedrigbrechenden ($n < 2$) Schicht erreicht werden kann. Die Rückseite wird dann mit einer hoch reflektierenden Schichtenfolge versehen ($R > 90\%$). In der bevorzugten Realisierung werden Laserriegel, die gemäß der Erfindung passiviert worden sind, in eine weitere Vakuumapparatur gebracht, um dort die Schichten zur Reflektivitätseinstellung abzuschneiden. Mit Hilfe von Ionenstrahl-Sputtern wird eine einzelne Al_2O_3 -Schicht auf die Lichtaustrittsfläche aufgebracht, während auf die Rückseite alternierend Schichten aus Al_2O_3 und TiO_2 abgeschieden werden. Abschließend werden die Laserriegel der Vakuumkammer entnommen, angeritzt und in einzelne Laserchips gespalten.

[0031] Rippenwellenleiter-Halbleiterlaser, wie sie [Fig. 1](#) zeigt, die bei einer Wellenlänge von 980 nm emittieren, sind versuchsweise auf zwei Arten hergestellt worden: einerseits ohne einen speziellen Passivierungsschritt, zum anderen unter Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Die Reflektivität der Lichtaustrittsfläche und der Rückseite wurde auf Werte von 1 bzw. 94 % eingestellt. Laserdioden aus beiden Sätzen sind einem Alterungstest unterzogen worden, ohne ein spezielles Auswahlkriterium anzuwenden. Während des Tests, der 1000 h bei einer Temperatur von 40 °C durchgeführt wurde, ist die Ausgangsleistung der Dioden bei 300 mW stabilisiert worden. In [Fig. 2](#) ist die Abhängigkeit des Diodenstroms von der Alterungsdauer anhand je eines passivierten Halbleiterlasers **21** bzw. nichtpassivierten **22** Halbleiterlasers dargestellt. Aus dem Zuwachs des Diodenstroms mit der Alterungszeit sind Degradationsraten für die Laser berechnet worden. Diese Raten variieren deutlich mit der Zeit bei nichtpassivierten Dioden und stabilisieren sich nach einigen hundert Stunden bei Werten im Bereich von einigen 10^{-5} h^{-1} . Nach Abschluss des Tests war das COD-Niveau auf Werte von 350–400 mW gesunken, was einen baldigen Ausfall der Dioden im Falle der Fortsetzung des Tests erwarten ließe. Die Degradationsraten passivierter Dioden stabilisieren sich jedoch recht schnell (innerhalb von etwa 200 h) bei Werten um $5 \times 10^{-6} \text{ h}^{-1}$ oder weniger, d.h. eine Größenordnung weniger als bei nichtpassivierten Dioden. Die passivierten Dioden zeigen thermisches "Überrollen", d.h. ein Absinken der Ausgangsleistung nach Überschreiten eines kritischen Stromwerts, sogar nach Beendigung des Alterungstests. Daraus folgt, dass kein Hinweis für eine Veränderung des COD-Niveaus der Dioden im Ergebnis der Alterungsprozedur vorliegt. Sowohl die Stabilität des COD-Niveaus als auch die deutlich reduzierte Degradationsrate der passivierten Laser sind ein klarer Beleg für die Funktionstüchtigkeit des

erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0032] In dem Ausführungsbeispiel wurde die Herstellung von Halbleiterlasern mit gespaltenen Spiegelflächen beschrieben. Es soll jedoch betont werden, dass das Verfahren generell für optische Halbleiterbauelemente, wie z.B. Superlumineszenz-Dioden, Oberflächenemittierende Diodenlaser (VCSEL) u.a., anwendbar ist.

Bezugszeichenliste

10	Halbleiterlaser
11	GaAs(001)-Substrat
12A	Erste Mantelschicht
13A	Erste Wellenleitschicht
14	Quantentopfstruktur
13B	Zweite Wellenleitschicht
12B	Zweite Mantelschicht
15	p ⁺ -GaAs-Kontaktschicht
16	Mesa
17	Isolatorschicht
18	p-Kontakt
19	n-Kontakt

Patentansprüche

1. Verfahren zur Passivierung der Spiegelflächen von optischen Halbleiterbauelementen, nachdem diese der Luft ausgesetzt waren, wobei die Halbleiterbauelemente erwärmt und unter Hochvakuum mit einem gasförmigen und reaktiven Medium, dessen kinetische Energie kleiner als 2 eV ist, gereinigt werden, in-situ eine geschlossene, isolierende oder niedrigleitende, lichtdurchlässige Schutzschicht aufgebracht wird, die in Bezug auf das Material an der Spiegelfläche sowie verbliebener Komponenten des Eigenoxids inert ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als reaktives Medium atomarer Wasserstoff verwendet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als reaktives Medium angeregter molekularer Wasserstoff verwendet wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine weitere Schicht zur Einstellung der Reflektivität aufgebracht wird.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Schutzschicht aus einem der Materialien ZnSe, Gd_2O_3 , Si, BeTe verwendet wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden

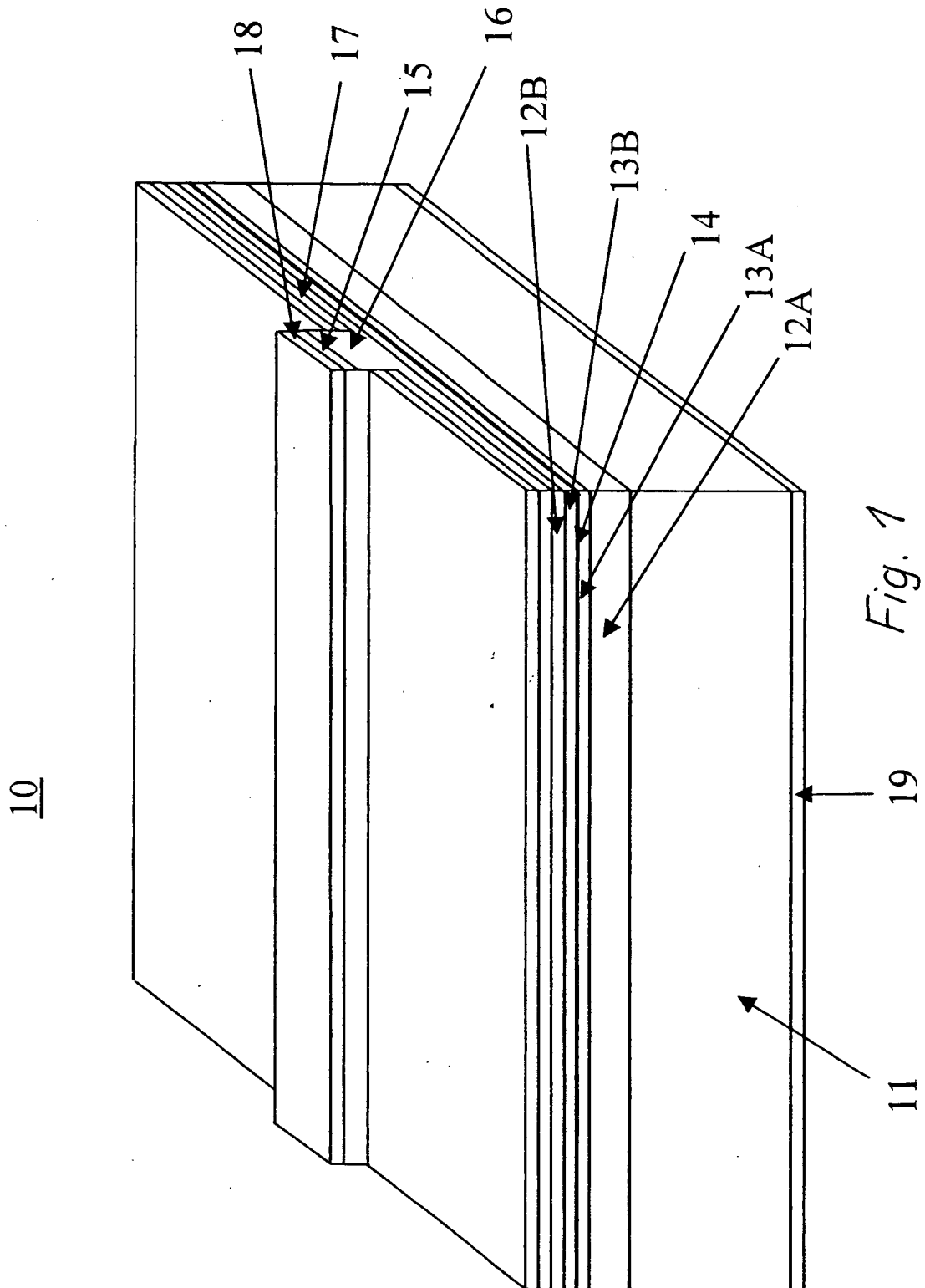
Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Schutzschicht aufgedampft wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Halbleiterbauelemente zum Reinigen auf eine Temperatur <math><420\text{ °C}</math> erwärmt werden.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Halbleiterbauelemente zum Reinigen in ein Hochvakuum mit einem Bereich von 1×10^{-8} bis 1×10^{-7} mbar eingebracht werden.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass nach Abschluss der Passivierung eine oder mehrere Schichten zur Einstellung der Reflektivität aus einem oder mehreren der Materialien Al_2O_3 , TiO_2 , SiO_2 , Ta_2O_5 oder Si aufgebracht wird.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen



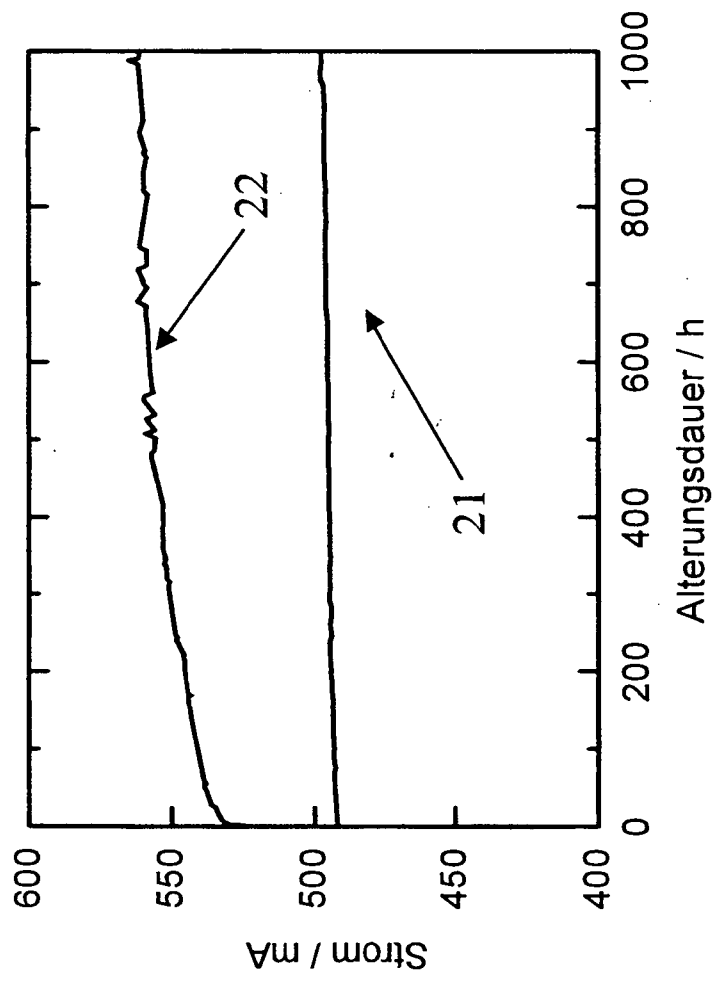


Fig. 2