



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 602 08 905 T2** 2006.08.10

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 402 606 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **602 08 905.0**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US02/20344**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **02 749 671.0**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2003/003083**

(86) PCT-Anmeldetag: **25.06.2002**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **09.01.2003**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **31.03.2004**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **25.01.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **10.08.2006**

(51) Int Cl.⁸: **H01S 5/10** (2006.01)

(30) Unionspriorität:

302268 P **29.06.2001** **US**

177176 **21.06.2002** **US**

(73) Patentinhaber:

3M Innovative Properties Co., St. Paul, Minn., US

(74) Vertreter:

derzeit kein Vertreter bestellt

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE, TR**

(72) Erfinder:

**HAASE, Michael A.; , Saint Paul, MN 55133-3427,
US; CHIARELI, Alessandra O.P., Saint Paul, MN
55133-3427, US; MILLER, Thomas J., Saint Paul,
MN 55133-3427, US; GRILLO, Donald C., Saint
Paul, MN 55133-3427, US**

(54) Bezeichnung: **DIODENLASERCHIP MIT WELLENLEITER**

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

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

Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Diese Erfindung betrifft Wellenleiter zur Verwendung mit Laserdioden.

Allgemeiner Stand der Technik

[0002] Hochleistungs-Laserdioden können z.B. für optische Kommunikation, beim Drucken, zur Erzeugung von Licht durch Erzeugung der zweiten Harmonischen und für medizinische Anwendungen verwendet werden. Sie werden häufig in Verbindung mit Lichtleitfasern benutzt. In vielen Anwendungsfällen ist es erforderlich, dass der Laser in einer einfachen transversalen optischen Mode arbeitet. Eine Laserdiode mit einfacher transversaler Mode kann beispielsweise eine $1\ \mu\text{m} \times 5\ \mu\text{m}$ breite Ausgangsöffnung aufweisen und kann typischerweise eine Ausgangsleistung bis etwa 0,4 W bereitstellen. Eine schmale Öffnung wird benötigt, um eine einfache transversale optische Mode zu erzeugen. Jedoch kann an der Öffnung eine sehr hohe Leistungsdichte vorhanden sein, die bei Laserdioden mit einfacher transversaler Mode ein begrenzender Faktor ist. Alternativ kann eine Mehrfachmoden-Laserdiode beispielsweise eine $1\ \mu\text{m} \times 100\ \mu\text{m}$ breite Ausgangsöffnung aufweisen und mit Ausgangsleistungen bis etwa 4 W arbeiten. Jedoch erzeugt ein Mehrfachmoden-Laser nicht einen einzelnen Licht „punkt“, sondern erzeugt stattdessen eine Serie von Punkten, die schwer auf eine Fläche wie z.B. das Ende einer Lichtleitfaser zu fokussieren ist. Siehe hierzu im Allgemeinen Heterostructure Lasers, Part B: Materials and Operating Characteristics, H. C. Casey, Jr. und M. B. Panish, Academic Press, 1978, S. 252-254.

[0003] Die maximale Ausgangsleistung, die eine Laserdiode zuverlässig bereitstellen kann, ist im Allgemeinen durch Beschädigung des Halbleiterwerkstoffs begrenzt, die durch die hohe optische Leistungsdichte in der optischen Kavität verursacht wird. Oft tritt diese Beschädigung zuerst an einem Facettenspiegel auf und wird als Optische Zerstörung (Catastrophic Optical Damage, COD) bezeichnet. Es ist wohl bekannt, dass COD die Leistungsdichte an Laserdiodenfacetten begrenzen kann. Siehe hierzu im Allgemeinen Reliability and Degradation of Semiconductor Lasers and LEDs, Mitsuo Fukuda, Artech House, 1991, S. 128-136; COD tritt auf, weil Kristalldefekte an der Facette während des Laserbetriebs Licht absorbieren und dadurch die Facette erwärmen. Wenn der Halbleiter, der die Laserdiode aufweist, erwärmt wird, wird die Bandlückenenergie reduziert, was die Absorption noch verstärkt, die im Gegenzug die Facette noch mehr erwärmt, und es kommt zu einem „Durchgehen“, das zu COD führt. Typischerweise bewirkt dies, dass der Werkstoff nahe der Facette schmilzt bzw. ablatiert. Zu den bekannten Möglichkeiten zur Minimierung dieses Durchgehens zählen hoch entwickelte Techniken zur Beschichtung der Facetten (siehe US-Patentschrift Nr. 5.144.634) oder die Verwendung eines Halbleiters aus anderen als aluminiumhaltigen Werkstoffen (wie AlGaAs), z.B. GaInP (siehe US-Patentschrift Nr. 5.389.396), das aluminiumfrei ist und weniger oxidiert, wodurch weniger Defekte an der Facette verursacht werden. Bei hoher Ausgangsleistung ist jedoch die Zuverlässigkeit nach wie vor beeinträchtigt, wodurch die Ausgangsleistung auf etwa 4 W bei einem $100\ \mu\text{m}$ breiten Mehrfachmoden-Laser oder 400 mW bei einer Laserdiode mit einfacher transversaler Mode begrenzt ist.

[0004] Thermische Effekte können die Ausgangsleistung einer Laserdiode mit einfacher transversaler Mode ebenfalls begrenzen. Bei hohen Eingangsstrompegeln erhöht das Erwärmen der aktiven Streifenregion des Lasers den Brechungsindex relativ zu den benachbarten Regionen. Dies bewirkt typischerweise, dass der Laserwellenleiter mit optischen Moden höherer Ordnung arbeitet, was für viele Anwendungen inakzeptabel ist.

[0005] Laser, die einen Laserdiodenchip aufweisen, der optisch mit einem passiven, sich verjüngenden Intrakavitäts-Wellenleiter gekoppelt sind, sind z.B. aus BEN-MICHAEL R ET AL: „INP-BASED MULTIPLE QUANTUM WELL LASERS WITH AN INTEGRATED TAPERED BEAM EXPANDER WAVEGUIDE“ IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, IEEE INC. NEW YORK, USA, Bd. 6, Nr. 12, 1. Dezember 1994 (1994-12-01), Seiten 1412-1414; FANG R Y ET AL: „1.55-MUM INGRASP-INP SPOT-SIZE-CONVERTED (SSC) LASER WITH SIMPLE TECHNOLOGICAL PROCESS“ IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, IEEE INC. NEW YORK, USA, Bd. 10, Nr. 6, 1. Juni 1998 (1998-06-01), Seiten 775-777; und aus ITAYA Y ET AL: „SPOT-SIZE CONVERTER INTEGRATED LASER DIODES (SS-LD'S)“ IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS, IEEE SERVICE CENTER, USA, Bd. 3, Nr. 3, 1. Juni 1997 (1997-06-01), Seiten 968-974 bekannt.

Kurzdarstellung der Erfindung

[0006] Die Erfindung ist in Anspruch 1 definiert. Bestimmte Ausführungsformen sind in den abhängigen Ansprüchen definiert. Die vorliegende Erfindung geht die Probleme an, die mit hoher Leistungsdichte in Laserdi-

den einhergehen. Diese Erfindung stellt einen Laser bereit, der einen Halbleiterlaserdiodenchip aufweist, der eine Ausgangsöffnung einer Breite größer als 10 μm aufweist, der mit einem passiven, sich verjüngenden Intrakavitäts-Wellenleiter gekoppelt ist. „Passiv“ bedeutet, dass der Wellenleiter keinerlei optische Verstärkung bereitstellt. „Intrakavität-“, bedeutet innerhalb der optischen Kavität. Der Wellenleiter kann einen zuverlässigen Betrieb mit einfacher transversaler Mode bei hoher Ausgangsleistung bereitstellen. Der Wellenleiter kann einen Werkstoff aufweisen, der eine hohe optische Zerstörschwelle aufweist. Der Werkstoff kann ein Halbleiter sein, der eine große Bandlückenenergie aufweist, ein Glas, oder er kann ein kristalliner Werkstoff sein, z.B. ein Einkristall. Der kristalline Werkstoff kann ein (im Periodensystem) II-VI- oder III-V-Verbindungshalbleiter sein. Der Wellenleiter kann eine Länge von 0,5 cm oder mehr aufweisen.

[0007] Reflexionen an der Schnittstelle des Laserdiodenchips und des Wellenleiterchips können minimiert werden. Dies kann durch Bereitstellen einer Antireflexionsbeschichtung auf dem Laserdiodenchip an der Schnittstelle (und optional Bereitstellen einer Immersionsflüssigkeit zwischen dem Laserdiodenchip und dem Wellenleiterchip) erfolgen. Alternativ können Antireflexionsbeschichtungen sowohl auf dem Laserdiodenchip als auch dem Wellenleiterchip an deren Schnittstelle bereitgestellt sein.

[0008] Der Laser der vorliegenden Erfindung kann in einem optischen Verstärker verwendet werden. Der optische Verstärker kann mit einem Seltenerdmetall wie z.B. Erbium bzw. Thulium dotiert sein. In diesem Fall kann der Laser der vorliegenden Erfindung eine Ausgangswellenlänge von etwa 980 oder 1480 nm aufweisen. Der Verstärker kann ein Raman-Verstärker sein. In diesem Fall kann der Laser der vorliegenden Erfindung eine Ausgangswellenlänge von etwa 1365 nm bis etwa 1530 nm aufweisen.

[0009] Der Laser der vorliegenden Erfindung kann auch in einem Laserdrucksystem verwendet werden.

[0010] Ein Vorteil mindestens einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, dass sie grundlegende Begrenzungen in der Leistungsdichte überwindet, wobei hohe Ausgangsleistung in einer einfachen transversalen Mode ermöglicht wird.

[0011] Ein anderer Vorteil ist, dass sie wohl bekannte Technologien benutzen kann, die zum Herstellen von Hochleistungs-Laserdioden breiter Öffnung verwendet werden.

[0012] Bei Verwendung in dieser Patentanmeldung bezeichnet „Zerstörschwelle“ die minimale optische Leistungsdichte, bei der ein Werkstoff derart beschädigt wird, dass er nicht mehr wie vorgesehen funktioniert, und wird „große Bandlücke“ verwendet, um einen Halbleiter mit einer Bandlückenenergie zu beschreiben, die wesentlich größer als die Photonenenergie des Laserlichts, vorzugsweise größer als das Doppelte der Photonenenergie ist.

Kurzbeschreibung der Figuren

[0013] [Fig. 1](#) stellt einen ebenen Wellenleiterchip dar, der stumpf mit einem Laserdiodenchip gekoppelt ist, gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0014] [Fig. 2](#) ist eine Darstellung in Seitenansicht der gekoppelten Wellenleiter- und Laserdiodenchips nach [Fig. 1](#).

[0015] [Fig. 3](#) stellt ein Modell der Brechungsindexwerte eines sich verjüngenden Wellenleiters der vorliegenden Erfindung dar.

[0016] [Fig. 4](#) zeigt ein Modell der berechneten Lichtintensität innerhalb eines sich verjüngenden Wellenleiters der vorliegenden Erfindung.

[0017] [Fig. 5](#) stellt einen Querschnitt eines II-VI-Verbindungshalbleiter-Wellenleiters dar.

[0018] [Fig. 6](#) stellt einen Querschnitt eines Siliciumoxinitrid-Wellenleiters dar.

Ausführliche Beschreibung

[0019] Diese Erfindung stellt einen Laser bereit, der einen Halbleiterlaserdiodenchip aufweist, der eine Ausgangsöffnung einer Breite größer als 10 μm aufweist, der mit einem passiven, sich verjüngenden Intrakavitäts-Wellenleiter optisch gekoppelt ist. Ein Aspekt dieser Erfindung ist, dass mindestens ein Abschnitt des pas-

siven Wellenleiters konstruiert ist, nur eine einfache transversale optische Mode zu unterstützen. Mindestens ein Aspekt der vorliegenden Erfindung verwendet einen sich verjüngenden ebenen Intrakavitäts-Wellenleiter, um den Ausgang eines Halbleiterlaserdiodenchips mit einer mehr als 10 µm breiten, einschließlich einer mehr als 20 µm breiten Öffnung in einen schmalen Einfachmoden-Wellenleiter zu koppeln, wodurch die optische Kavität einschließlich des Laserdiodenchips gezwungen wird, auch dann nur in einer einfachen transversale Mode zu arbeiten, wenn der Laserdiodenchip ohne den Wellenleiter in Mehrfachmoden arbeiten würde. Dies wird erreicht, weil der sich verjüngende Wellenleiter am schmalen Ende nur eine einfache transversale Mode unterstützt. Dieser Aspekt der Erfindung ist durch [Fig. 1](#) dargestellt, die die Draufsicht eines Laserdiodenchips **12** zeigt, der stumpf derart gegen Wellenleiterchip **14** stößt, dass das Licht, das in Laserdiodenchip **12** erzeugt wird, in den breitesten Abschnitt des sich verjüngenden Wellenleiters **14a** eintritt. Die sich verjüngende Kontur des sich verjüngenden Wellenleiters **14a** bewirkt dann, dass die optische Mode zu der Zeit auf einen schmalen Wellenleiterabschnitt mit einfacher transversaler Mode begrenzt ist, zu der sie das entgegengesetzte Ende des Wellenleiters erreicht, wo sich Streusegmente **16** befinden.

[0020] Ein Aspekt der Erfindung bringt das Minimieren der Reflexionen an der Schnittstelle des Laserdiodenchips und des Wellenleiterchips mit sich. [Fig. 2](#) stellt eine Seitenansicht einer Ausführungsform dar, die dies durch das Vorhandensein von Antireflexionsbeschichtungen **18**, **20** auf den aneinander stoßenden Kanten sowohl von Laserdiodenchip **12** als auch Wellenleiterchip **14** erreicht. In einer alternativen Ausführungsform ist die Antireflexionsbeschichtung nur auf dem Laserdiodenchip aufgetragen. Die Rolle der Antireflexionsbeschichtungen ist es, effiziente optische Kopplung zwischen dem Laserdiodenchip und dem passiven Wellenleiterchip bereitzustellen; das heißt, Reflexionen an jener Schnittstelle zu minimieren, wodurch optische Verluste in der gewünschten optischen Kavitätsmode minimiert werden und die Fabry-Perot-Moden des Laserdiodenchips selbst eliminiert werden. Techniken zum Anwenden von Antireflexionsbeschichtungen sind auf dem Fachgebiet wohl bekannt. In den einfachsten Versionen ist die Antireflexionsbeschichtung ein Material mit einem Brechungsindex von näherungsweise der Quadratwurzel des effektiven Index der optischen Mode des Chips, bei dem sie angewendet wird. Die geeignete Dicke ist dann gleich einem Viertel der Wellenlänge des fraglichen Lichts (im Beschichtungsmaterial).

[0021] Ein anderer Aspekt der Erfindung stellt sicher, dass der Wellenleiterchip **14** keine verlustarmen Bandleitermoden außerhalb des sich verjüngenden Wellenleiters **14a** unterstützt. Dies kann durch Bereitstellen abgetrennter Wellenleitersegmente erreicht werden, z.B. durch Streusegmente **16**, wie in [Fig. 1](#) gezeigt, die jedes Licht in Bandmoden streuen.

[0022] Im Allgemeinen weist, wie in [Fig. 2](#) dargestellt, Wellenleiterchip **14** ein Bandleiter aufweisendes Substrat **22**, eine untere Beschichtungsschicht **24**, eine Kernschicht **26**, eine obere Beschichtungsschicht **28** und eine Bondschicht **30** auf. Diese Schichten sind mit den entsprechenden Schichten des Laserdiodenchips ausgerichtet, d.h. Substrat **32**, untere Beschichtungsschicht **34**, Kernschicht **36**, obere Beschichtungsschicht **38** und Bondschicht **40**. In einigen Ausführungsformen sind Laserdiodenchip **12** und Wellenleiterchip **14** auf Unterbefestigung **44**, z.B. einem dünnen Siliciumwafer, über Lötsschicht **42** (z.B., Indium) befestigt. Derartige Befestigen ermöglicht gute Kopplung zwischen den optischen Moden des Laserchips und des sich verjüngenden Wellenleiters. Die Gleichmäßigkeit und Glätte des Lots ist wichtig für eine gute vertikale Ausrichtung, weil die optische Mode des gefertigten Geräts eine vertikale Abmessung (Halbwertsbreite) von typischerweise etwa 1 µm aufweist. Unterbefestigung **44** ist vorzugsweise an einer Wärmesenke oder einem thermoelektrischen Kühler (nicht gezeigt) angebracht, um überschüssige Wärme vom Laserdiodenchip während des Betriebs zu entfernen.

[0023] Geeignete Zusammensetzungen und Dicken der Kernschicht, der unteren Beschichtungsschicht, der oberen Beschichtungsschicht und jedweder zusätzlicher Schicht(en) können durch numerische Modellierung entworfen werden. Eine wohl bekannte Wellenleiter-Modellieretechnik ist der „Transfermatrix“-Ansatz (siehe beispielsweise Guided-Wave Optoelectronics, Theodor Tamir (Hrsg.), 2. Auflage, Springer-Verlag). Alternativ können kommerzielle Wellenleiter-Modellieretools verwendet werden, unter anderem OptiBPM der OptiWave Corporation, Ottawa, ON, Kanada.

[0024] Um effiziente Kopplung zwischen dem Laserdiodenchip und dem sich verjüngenden Wellenleiter zu ermöglichen, weisen die optischen Moden des Laserdiodenchips und des sich verjüngenden Wellenleiters vorzugsweise nahezu dieselbe vertikale Größe und dasselbe Profil auf. Die Ausrichtung wird erleichtert, wenn die Größe der Moden groß ist (die Kerne also dick sind, z.B. 0,5 µm – 3 µm), obgleich ein dicker Kern zu höherer Schwellstromdichte im Laserdiodenchip führen kann.

[0025] Der Wellenleiterchip der vorliegenden Erfindung kann, um die laterale Verjüngung zu bilden, durch

eine beliebige einer Anzahl von Techniken ausgeformt sein, typischerweise unter Beteiligung traditioneller Fotolithografie. Ein Verfahren des Ausformens des sich verjüngenden Wellenleiters beginnt mit einem unausgeformten Bandleiter und verwendet Fotoresist, das auf die obere Beschichtungsschicht aufgebracht wird, um die gewünschte Kontur des sich verjüngenden Wellenleiters zu definieren. Dann kann der belichtete Abschnitt der oberen Beschichtungsschicht mithilfe einer beliebigen geeigneten Technik (die vom Material abhängt) fortgeätzt werden, unter anderem durch nasschemisches Ätzen, reaktives Ionenätzen, Sputtern oder Ionenstrahlätzen, um einen Ridgewellenleiter zu bilden. Optional kann die Wellenleiterstruktur dann durch Aufbringen eines Füllmaterials in die geätzte Region eingeebnet werden. Dieser Aspekt der Erfindung ist durch Ridgewellenleiter **62** und Füllmaterial **60** nach [Fig. 5](#) dargestellt. Typischerweise weist das Füllmaterial einen niedrigeren Brechungsindex als die obere Beschichtung auf (um laterale optische Begrenzung bereitzustellen).

[0026] Mindestens ein Aspekt der vorliegenden Erfindung weist eine Wellenleiterkonstruktion auf, die die Verwendung relativ preiswerter und leicht verfügbarer Mehrfachmoden-Halbleiterlaserchips mit breiter Öffnung ermöglicht, um Hochleistungslaser herzustellen, die in einer einfachen transversalen Mode arbeiten. Ohne darauf beschränkt zu sein, sind geeignete Halbleiterwerkstoffe unter anderem III-V-Verbindungshalbleiter und -Legierungen einschließlich GaInP-GaInAs (Siehe z.B. US-Patentschrift Nr. 5.389.396), AlGaAs-InGaAs, GaInAsP-InP (siehe z.B. „High power operation of GaInAsP/GaInAs MQW ridge lasers emitting at 1.48 μm ,“ B. S. Bumbra, et al., Electronics Letters Bd. 26, S. 1755-1756 (1990)) oder AlGaInAs-InP.

[0027] Vorzugsweise weisen Werkstoffe, die zum Herstellen der Wellenleiter verwendet werden, die folgenden Eigenschaften auf: Transparenz bei der Laser-Wellenlänge, hohe optische Zerstörschwelle, Fähigkeit zur Ausformung, Verfügbarkeit in Stücken, die länger sind als für den sich verjüngenden Wellenleiter erforderlich, Spalt- oder Polierfähigkeit, um Facetten zu bilden, und seinem Substrat ähnliche Wärmeausdehnung. Darüber hinaus muss die Kernschicht einen höheren Brechungsindex als benachbarte Schichten aufweisen.

[0028] Der passive Wellenleiterchip kann aus einem oder mehreren transparenten Werkstoffen hergestellt sein, wie z.B. ZnSe (und anderen II-VI-Verbindungshalbleitern und -Legierungen), III-V-Halbleitern und -Legierungen und Siliciumdioxid- oder siliciumdioxidfreien Gläsern. Diese Werkstoffe können eine Bandlückenenergie aufweisen, die viel größer als die Laser-Photonenenergie ist, sodass bei Betrieb wenig optische Absorption vorhanden ist. Vorzugsweise muss die Bandlücke größer als das Zweifache der Laser-Photonenenergie sein, um nicht lineare Absorption zu minimieren. Generell können die Brechungsindizes dieser Werkstoffe durch Variieren der Zusammensetzung eingestellt werden.

[0029] Im Allgemeinen bieten II-VI-Verbindungen günstige Eigenschaften für Wellenleiter. II-VI-Verbindungshalbleiter und -Legierungen sind kristalline Werkstoffe. Bei Wachstum auf einem Einkristallsubstrat wie z.B. GaAs nehmen sie vorzugsweise die Form eines Einkristalls an und weisen den zusätzlichen Vorteil auf, die Bildung von Facetten hoher Qualität durch Spalten zu gestatten, was die Herstellung erheblich erleichtert. Ein Beispiel eines geeigneten passiven II-VI-Halbleiter-Wellenleiters weist einen BeZnTe-Kern mit BeZnSe-Beschichtungsschichten auf. Diese Legierungen können durch Molekularstrahlepitaxie (MBE) auf einem GaAs-Substrat wachsen und (beispielsweise) durch Ionenstrahlätzen ausgeformt werden. Weitere Beispiele geeigneter II-VI-Legierungen sind unter anderem MgZnSse oder BeMgZnSe, die auf GaAs- oder ZnSe-Substraten wachsen, und MgZnCdSe, das auf InP-Substraten wächst.

[0030] In einigen Ausführungsformen kann der sich verjüngende passive Wellenleiter III-V-Halbleiter oder -Legierungen aufweisen. Zu den III-V-Halbleiterwerkstoffen, die für den passiven, sich verjüngenden Wellenleiterchip geeignet sind, zählen beispielsweise AlGaAs oder AlGaInP, die auf GaAs wachsen, oder AlGaInN, das auf Saphirsubstraten wächst. Diese Werkstoffe weisen den Vorteil auf, dass sie wohl bekannt und von hoher Qualität sind. Weil diese Halbleiter für diese passiven Wellenleiter undotiert wachsen können, kann die optische Absorption niedrig sein. Bei Betrieb mit hoher Leistung ist die Bandlücke der Halbleiter, die für den passiven, sich verjüngenden Wellenleiter verwendet werden, vorzugsweise größer als das Doppelte der Laser-Photonenenergie. Diese III-V-Legierungen können durch Molekularstrahlepitaxie (MBE) oder Metallorganische Gasphasenepitaxie (MOCVD) wachsen und können (beispielsweise) durch Nassätzen oder reaktives Ionenstrahlätzen ausgeformt werden.

[0031] Optische Wellenleiter, die mit Siliciumdioxid, dotiertem Siliciumdioxid (einschließlich mit z.B. Al, Ge, P, Ti, Ta, Hf, Zr, B oder F dotiertem Siliciumdioxid) und anderen Gläsern hergestellt sind, sind wohl bekannt. Ein wichtiges Beispiel ist Siliciumoxinitrid (SiO_xN_y), in dem der Brechungsindex des Siliciumoxinitrids durch den Stickstoffgehalt kontrolliert ist. Diese Wellenleiter können auf vielen unterschiedlichen Substraten aufgebracht sein, einschließlich auf Siliciumwafern. In einer Ausführungsform ist das Substrat ein Siliciumwafer, die untere Beschichtung ist Siliciumdioxid, der Kern ist Siliciumoxinitrid und die obere Beschichtung ist Siliciumdioxid. Das

Ausformen des Wellenleiters kann durch reaktives Ionenätzen des Kerns vor dem Aufbringen der oberen Beschichtung erreicht werden. (Siehe beispielsweise „Silicon Oxynitride Layers for Optical Waveguide Applications," R. Germann et al., Journal of the Electrochemical Society, 147 (6), S. 2237-2241 (2000).)

[0032] Eine Technik zum Ausformen einer alternativen Glaswellenleiter-Ausführungsform, wie in [Fig. 6](#) dargestellt, weist Aufbringen und Ausformen eines optischen Begrenzungswerkstoffs **76** der Kernschicht **78** benachbart außerhalb der gewünschten Region des sich verjüngenden Wellenleiters **82** auf. Weist der optische Begrenzungswerkstoff **76** einen niedrigeren Brechungsindex als die angrenzende Beschichtungsschicht **74** auf, ist die laterale optische Begrenzung erreicht.

[0033] Ein anderer Aspekt der Erfindung nutzt ein Bragg-Gitter, um optische Rückkopplung bereitzustellen, um die Emissionswellenlänge des Lasers zu stabilisieren. Das Bragg-Gitter kann in einem Abschnitt des sich verjüngenden Wellenleiters gebildet sein. Das Gitter kann z.B. durch Ätzen flacher Nuten in das Substrat vor dem Wachsen der Wellenleiterschichten, durch Ätzen flacher Nuten in die Wellenleiterschichten selbst oder durch Ausformen eines Bragg-Gitters in einem optischen Begrenzungswerkstoff (z.B. MgF_2) gebildet werden. Alternativ kann der Ausgang des Lasers (mit sich verjüngendem Wellenleiter) in eine Anschlussfaser gekoppelt sein, die ein Faser-Bragg-Gitter aufweist.

[0034] Der Hochleistungsbetrieb der Laserdiode, die einen passiven, sich verjüngenden Intrakavitäts-Wellenleiter aufweist, kann signifikante Verbesserungen der Konstruktion und der Leistung optischer Verstärker ermöglichen. Zu den geeigneten optischen Verstärkern zählen seltenerd-dotierte Faserverstärker, wie z.B. jene, die mit Erbium dotiert sind, und optional mit anderen Werkstoffen wie z.B. Thulium dotierte (siehe beispielsweise „Multi-stage erbium-doped fiber amplifier designs", J.-M. P. Delavaux, J. A. Nagel, Journal of Lightwave Technology, Band: 13 Ausgabe: 5, (1995) Seiten: 703-720). Bei diesen Typen von Verstärkern wird die Laserdiode als 980 nm- bzw. 1480 nm-Pumplaser verwendet.

[0035] Die Laserdiode, die einen sich verjüngenden Intrakavitäts-Wellenleiter aufweist, kann auch mit einem Raman-Faserverstärkersystem verwendet werden. Bei diesen Typen von Verstärkern wird die Laserdiode als 1365 nm- bzw. 1530 nm-Pumplaser verwendet (siehe beispielsweise „Ultrabroad-band Raman amplifiers pumped and gain-equilized by wavelength-division-multiplexed high-power laser diodes" von S. Namiki und Y. Emori, IEEE Journal on Selected Topics in Quantum Electronics, Bd. 7, S. 3 (2001)).

[0036] Die Laserdiode, die einen passiven, sich verjüngenden Intrakavitäts-Wellenleiter aufweist, ist auch zur Verwendung in Drucksystemen geeignet. In einem Drucksystem, das beispielsweise Ablation oder Wärmeoxidation verwendet, um ein Bild zu erzeugen, ist eine Einfachmoden-Laserquelle mit einer hohen Leistungsdichte vorteilhaft, weil die optische Konstruktion des Laserabtastsystems optimiert werden kann. Indem mit einer Laserquelle mit hoher Leistung und kleiner Öffnung begonnen wird, kann eine Vergrößerung des Strahldurchmessers genutzt werden, was in einer längeren Schärfentiefe resultiert, während die erforderliche Leistungsdichte weiterhin erreicht wird. Eine längere Schärfentiefe kann die Notwendigkeit zum dynamischen Fokussieren im Drucksystem beseitigen.

[0037] Zu den anderen geeigneten Anwendungen für eine Laserdiode mit einem passiven, sich verjüngende Intrakavitäts-Wellenleiter zählt der Primärstrahl in Lasersystemen zur Erzeugung der zweiten Harmonischen (SHG-Lasersystemen), die verwendet werden, um Licht mit einer Wellenlänge der Hälfte derjenigen des Primärstrahls zu erzeugen. (Siehe beispielsweise „3.6 mW blue light by direct frequency doubling of a diode laser using an aperiodically poled lithium niobate crystal", D. J. L. Birkin et al., Applied Physics Letters, Bd. 78, S. 3172, (2001)). In diesen nicht linearen Geräten steigt die Konversionseffizienz mit der Einfachmoden-Eingangleistung; daher bietet die vorliegende Erfindung einen substantziellen Vorteil in der Leistung von SHG-Systemen, die direkte Frequenzverdopplung eines Diodenlasers nutzen.

[0038] Die folgenden Beispiele veranschaulichen die vorliegende Erfindung.

Beispiele

Simulationsergebnisse

[0039] Modellierung, die mithilfe des kommerziellen Wellenleiter-Modellierertools OptiBPM erfolgte, das von der Opti-Wave Corporation, Ottawa, ON, Kanada, angeboten wird, zeigt, dass das Verjüngungsprofil des Wellenleiters vorzugsweise von ansteigender Sinusform ist:

$$w(z) = w_1 + \frac{w_2 - w_1}{L} z - \frac{w_2 - w_1}{2\pi} \sin\left(\frac{2\pi z}{L}\right)$$

wobei $w(z)$ die Breite des sich verjüngenden Wellenleiters als Funktion von z (Abstand in Richtung der Lichtausbreitung) ist, L die Länge des sich verjüngenden Wellenleiters ist und w_1 und w_2 die Breiten des Wellenleiters an beiden Enden sind. [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) sind Simulationsergebnisse der Modellierung eines sich verjüngenden Wellenleiters. Zu Simulationszwecken wurde ein Spiegelbild des Wellenleiters verwendet, um einen 100 μm breiten Einfachmoden-Eingang für den sich verjüngenden Wellenleiter zu erzeugen. Dies stellt effektiv eine Runde innerhalb der Laserkavität dar. [Fig. 3](#) zeigt die Wellenleiterstruktur hinsichtlich der Brechungsindexwerte (Wellenleiterindex = 2,5, Beschichtungsindex = 2,495), und [Fig. 4](#) zeigt die Amplitude des optischen Feldes als Funktion von z , der Richtung der Ausbreitung entlang des Wellenleiters. Ein Leistungsüberschneidungsintegral von Ausgangsfeld und Eingangsfeld zeigte, dass 97% der Leistung übrig bleibt. Anders ausgedrückt, betrug der Ausbreitungsverlust bei der Runde 0, 13 dB.

[0040] Weitere Modellierung hat gezeigt, dass bei Verwendung einer ansteigenden Sinusverjüngung die benötigte Länge der Verjüngung vom Quadrat der Breite des Wellenleiters am breiten Ende abhängt (wobei alle anderen Parameter konstant gehalten werden). Beispielsweise würde, wenn eine gegebene, sich verjüngende Wellenleiterkonstruktion 2 cm für eine 100 μm „breite“ Facette benötigt, dann eine 0,5 cm-Verjüngung für eine 50 μm „breite“ Facette benötigt. Andere Verjüngungsprofile können ebenfalls verwendet werden, z.B. eine lineare Verjüngung, jedoch können diese eine längere sich verjüngende Region erfordern.

Beispiel 1: 980 nm-Laser

[0041] Dieses Beispiel beschreibt einen 980 nm-Laser, der einen AlGaAs-GaInAs-Laserdiodenchip, einen sich verjüngenden BeZnSe-BeZnTe-Wellenleiter und eine Silicium-Unterbefestigung aufweist.

AlGaAs-GaInAs-Laserdiodenchip

[0042] In diesem Beispiel wächst ein Laserdiodenchip durch Molekularstrahlepitaxie (MBE) auf einem (100) GaAs:Si-Halbleiterwafer. Die untere Beschichtung ist $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}:\text{Si}$ ($x = 0,2$, $n = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) mit 1 μm Dicke. Die wirksame Region (Laserwellenleiterkern) ist 1 μm dickes undotiertes GaAs mit drei $\text{Ga}_y\text{In}_{1-y}\text{As}$ -Quantenfilmen ($y = 0,8$) in deren Mitte. Die Filme sind voneinander durch 20 nm GaAs getrennt. Die Dicke (Wachstumszeit) der Quantenfilme ist eingestellt, um die gewünschte Laser-Wellenlänge (980 nm) bereitzustellen, und beträgt näherungsweise 7 nm. Die obere Beschichtung ist $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}:\text{Be}$ ($x = 0,2$, $p = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$), mit 1 μm Dicke. Die Kontaktschicht ist GaAs:Be ($p = 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, 50 nm dick).

[0043] Die Fertigung des Laserdiodenchips beginnt mit der Auftragung des p-leitenden Kontaktmetalls, bestehend aus 20 nm Pd, 100 nm Au und 2 nm Ti, auf der Kontaktschicht. Das Ti erleichtert die Haftung von Fotoresist im nächsten Schritt. Ein 75 μm breiter Fotoresiststreifen wird auf dem p-leitenden Kontaktmetall ausgeformt, sorgfältig an einer $\langle 110 \rangle$ -Achse ausgerichtet. Der Wafer wird dann durch Ionenstrahlätzen (500 eV Xe⁺-Ionen) ausgeformt, wobei durch das p-leitende Kontaktmetall und 0, 25 μm in den Halbleiter geätzt wird. Der geätzte Wafer wird dann unverzüglich zu einem Vakuumverdampfer verbracht, wo 0,37 μm Al_2O_3 durch Elektronenstrahlverdampfung aufgebracht wird. Der Fotoresiststreifen wird dann mit Aceton abgezogen, wobei das Al_2O_3 über dem nicht geätzten Streifen abgehoben wird und eine ebene Fläche zurückbleibt. Als Nächstes wird, nachdem wieder Fotoresist auf die obere Fläche aufgetragen und ausgeformt wurde, Bondmetall (100 nm Ti und 300 nm Au) aufgebracht und durch Abheben in 1000 μm breite Streifen ausgeformt, zentriert über der 75 μm breiten wirksamen Region. An diesem Punkt ist die Bearbeitung der oberen Fläche abgeschlossen. Der Wafer wird mit Wachs auf einem Polierwerkzeug befestigt, und die Rückseite wird zu einer glänzenden Fläche poliert. Nach dem Entfernen vom Polierwerkzeug wird die Rückseite des Wafers gereinigt und leicht geätzt. Wieder wird Fotoresist aufgetragen und ausgeformt, und das n-leitende Rückseiten-Kontaktmetall (10 nm Pd, 25 nm Ge, 300 nm Au) wird durch Vakuumverdampfung aufgebracht und durch Abheben in 1000 μm -Streifen ausgeformt. Diese Streifen werden in Bezug auf die wirksamen Streifen auf der Vorderseite des Wafers ausgerichtet, um so ein „Fenster“ zu ermöglichen, durch das man den wirksamen Streifen mithilfe eines Infrarotmikroskops durch das GaAs-Substrat sehen kann.

[0044] Der Wafer wird dann in Barren von 1000 μm Länge gespalten, und auf die vorderen Facetten wird eine Antireflexionsbeschichtung (12,7 nm Al_2O_3) aufgetragen, und auf die hinteren Facetten wird eine Beschichtung mit hohem Reflexionsvermögen (eine Viertelwellenlängen-Lage Al_2O_3 und MgF_2) aufgetragen. Die Barren werden dann in (1500 μm breite) Chips geschnitten, die montagefähig sind. In jedem dieser Chips ist das Zentrum

der optischen Mode 2,0 μm von der oberen Fläche des Bondmetalls entfernt.

Sich verjüngender BeZnTe-Wellenleiter

[0045] Das Wachstum des II-VI-Wellenleiterwerkstoffs erfolgt innerhalb eines Molekularstrahlepitaxie-Systems. Ein derartiges System weist typischerweise einer Kammer für das Wachstum einer III-V-Pufferschicht oben auf einem III-V-Substrat, eine Kammer zum Wachsen des II-VI-Wellenleiters oben auf dem III-V-Puffer und eine Transferkammer auf, die die zwei Wachstumskammern verbindet, sämtlich unter Hochvakuum-Bedingungen.

[0046] [Fig. 5](#) stellt einen Wellenleiter **50** dar, der einen BeZnTe-Kern aufweist.

[0047] Das Wachstum von III-V-Puffern (einschließlich GaAs-Puffern) und die Wachstumsinitiierung von II-VI-Werkstoffen auf III-V-Puffern ist in „III-V/II-VI semiconductor interface fabrication method“, US-Patentschrift Nr. 5.879.962, beschrieben. Mithilfe dieser Techniken wächst ein GaAs-Puffer **52** in einer ersten Kammer und wird unter den Bedingungen ultrahohen Vakuums zu einer zweiten Kammer verbracht, wo eine Pufferschicht aus ZnSe (nicht gezeigt) wächst. Die ZnSe-Schicht wächst bei einer Substrattemperatur von 275 °C auf eine Dicke von 30 nm.

[0048] Nach dem Wachsen der ZnSe-Pufferschicht ist die Probe für das Wachstum der Wellenleiterstruktur in derselben Kammer bereit. Die erste Schicht der Wellenleiterstruktur ist die untere $\text{Be}_x\text{Zn}_{(1-x)}\text{Se}$ -Beschichtung **54**. Zur Gitteranpassung an GaAs ist $x = 0,029$. Diese Schicht wächst mit näherungsweise 1 $\mu\text{m}/\text{h}$ bei einer Wachstumstemperatur von 275 °C. Das VI/II-Flussverhältnis ist ausreichend Gruppe-VI-reich, sodass das RHEED-Muster (2×1) ist. Die gewünschte Dicke dieser Schicht ist durch die Verlustanforderungen des Wellenleiters diktiert und ist typischerweise 3 μm oder größer. In einer Ausführungsform wächst eine dünne (1 nm-) Schicht BeTe auf dem BeZnSe, um übermäßige Ausdiffusion von Se zu verhindern, vor dem Anheben der Substrattemperatur der nächsten Schicht.

[0049] Vor dem Wachsen der nächsten Schicht wird die Substrattemperatur auf näherungsweise 600 °C angehoben. Wenn die Substrattemperatur stabilisiert ist, wird mit dem Wachstum der $\text{Be}_y\text{Zn}_{(1-y)}\text{Te}$ -Kernschicht **56** begonnen. Zur Gitteranpassung an GaAs ist $y = 0,935$. Das VI/II-Flussverhältnis war ausreichend Gruppe-VI-reich, sodass das RHEED-Muster (2×1) war. Die Wachstumsrate dieser Schicht beträgt näherungsweise 1 $\mu\text{m}/\text{h}$, und die Gesamtdicke beträgt 1,0 μm , um zur optischen Mode des Laserdiodenchips zu passen.

[0050] Nach dem Wachsen der BeZnTe-Schicht wird die Substrattemperatur für das Wachstum der oberen BeZnSe-Beschichtung auf näherungsweise 275 °C abgesenkt. Es werden dieselben Wachstumsbedingungen wie beim Wachstum der unteren Beschichtungsschicht **58** verwendet. Die Dicke dieser Schicht beträgt 1,0 μm , um die Position der optischen Mode an die des Laserdiodenchips anzupassen. Eine abschließende dünne (50 nm-) Schicht ZnSe (nicht gezeigt) wächst, um die Be-haltigen Schichten vor Oxidation zu schützen, wenn die Probe aus der Kammer entfernt wird.

[0051] Zur Fertigung des sich verjüngenden Wellenleiters wird Fotoresist (vorzugsweise NR7-1000PY, erhältlich bei Futurrex, Inc., Franklin, N.J., USA) auf dem II-VI-Halbleiter geeignet ausgeformt, sorgfältig an einer $\langle 110 \rangle$ -Achse ausgerichtet. Die Ausformung weist einen sich verjüngenden Wellenleiter, der am breiten Ende 75 μm breit und am schmalen Ende 7,5 μm breit ist, sowie Streusegmente auf. Die Form der Verjüngung ist ein ansteigender Sinus, und die Länge beträgt 1 cm. Der Wafer wird durch Ionenstrahlätzen (500 eV Xe⁺-Ionen) ausgeformt, wobei 0,75 μm der oberen Beschichtungsschicht fortgeätzt wird. Der geätzte Wafer wird dann unverzüglich zu einem Vakuumverdampfer verbracht, wo 0,75 μm MgF_2 durch Elektronenstrahlverdampfung aufgebracht wird, um ein „laterales Beschichtungs“-Füllmaterial **60** zu bilden. Der Fotoresiststreifen wird mit Aceton abgezogen, wobei das MgF_2 über der nicht geätzten Region abgehoben wird und eine ebene Fläche zurückbleibt. Dann wird Bondmetall (100 nm Ti, 300 nm Au) per Vakuumbeschichtung über den ganzen Wafer aufgebracht, und der Wafer wird in (1 cm lange) Barren gespalten. Eine Antireflexionsbeschichtung (16,8 nm SiO_2) wird per Vakuumbeschichtung auf die breiten Enden der Wellenleiter aufgebracht. Die schmalen (Ausgangs-) Enden der Wellenleiter werden nicht beschichtet. Die Barren werden dann in (1500 μm breite) einzelne Wellenleiterchips gespalten. In diesen Wellenleitern ist das Zentrum der optischen Mode 2,0 μm von der oberen Fläche des Bondmetalls entfernt.

Unterbefestigung

[0052] Aus praktischen Gründen wird ein dünner (125 μm -) Siliciumwafer für die Unterbefestigung verwendet.

Es könnten alternativ Werkstoffe mit höherer thermischer Leitfähigkeit (z.B. Diamant) verwendet werden. Die obere Fläche der Unterbefestigung wird durch Hochvakuumverdampfung mit 50 nm Pt und 3 µm In beschichtet. Die Pt-Schicht verhindert, dass sich das In beim Schmelzen auf der Unterbefestigungsfläche aufwirft. Die untere Fläche wird mit 100 nm Ti und 300 nm Au ebenfalls durch Hochvakuumverdampfung beschichtet. Die Unterbefestigung ist 3 mm breit und 1,5 cm lang.

Zusammenbauprozess

[0053] Um den kompletten Laser zusammenzubauen, wird der Laserdiodenchip zuerst nahe einem Ende der Unterbefestigung platziert, wobei seine Bondmetallschicht mit der In-beschichteten Seite der Unterbefestigung in Kontakt steht. Der Laserdiodenchip wird mit minimal ausreichender Kraft, um zu haften, leicht in das In gepresst. Als Nächstes wird die Antireflexionsbeschichtung auf dem sich verjüngenden Wellenleiterchip in Berührung mit der Antireflexionsbeschichtung auf dem Laserdiodenchip platziert. Dann wird der sich verjüngende Wellenleiterchip verschoben, um den sich verjüngenden Wellenleiter am wirksamen Streifen im Laserdiodenchip auszurichten. Dies wird mithilfe eines Mikroskops mit einem Infrarot-Videosystem und Bilderfassung durch die Substrate sowohl des Laserdiodenchips als auch des sich verjüngenden Wellenleiterchips erreicht. Wenn die Chips ausgerichtet sind, wird der Wellenleiterchip sanft in das In gepresst und freigegeben. Als Nächstes werden die Unterbefestigung, der Laserdiodenchip und der sich verjüngende Wellenleiterchip kurz in Formiergas erwärmt, bis das In schmilzt und mit dem Bondmetall eine Bindung ausbildet. Abschließend wird die Unterbefestigung mit einer Wärmesenke verlötet, die an einem thermoelektrischen Kühler angebracht ist. Der Laser wird betrieben, indem Strom durch Leitungen geleitet wird, die elektrisch mit dem n-leitenden Kontaktmetall und dem In verbunden sind.

Beispiel 2: 1480 nm-Laser

[0054] Dieses Beispiel beschreibt einen 1480 nm-Laser, der einen AlGaInAs-InP-Laserdiodenchip, einen sich verjüngenden Siliciumoxinitrid-Wellenleiterchip und eine Silicium-Unterbefestigung aufweist.

AlGaInAs-InP-Laserdiodenchip

[0055] In diesem Fall wächst der Laserdiodenwafer durch Metallorganische Gasphasenepitaxie (MOCVD) auf einem (100) InP:S-Wafer. Alle Schicht sind nominell an das InP gitterangepasst. Die untere Beschichtung ist InP:S ($n = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) mit 0,8 µm Dicke plus 0,1 µm AlGaInAs:S ($E_g = 1,44 \text{ eV}$, $n = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$). Die wirksame Region (Laserwellenleiterkern) ist 0,28 µm dickes undotiertes AlGaInAs ($E_g = 1,1 \text{ eV}$) mit fünf GaInAs-Quantenfilmen in deren Mitte. Die Filme sind voneinander durch 10 nm AlGaInAs ($E_g = 1,1 \text{ eV}$) getrennt. Die Dicke (Wachstumszeit) jedes der Quantenfilme ist eingestellt, um die gewünschte Laser-Wellenlänge (1480 nm) bereitzustellen. Die obere Beschichtung weist 0,1 µm AlGaInAs:Zn ($E_g = 1,44 \text{ eV}$, $p = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) und 1,3 µm InP:Zn ($p = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) auf. Die p-leitenden Kontaktschichten sind 0,05 µm GaInRsP ($E_g = 0,95 \text{ eV}$, $p = 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) und 0,2 µm GaInAs:Zn ($p = 10^{19} \text{ cm}^{-3}$).

[0056] Die Fertigung des Laserdiodenchips beginnt mit der Auftragung des p-leitenden Kontaktmetalls, bestehend aus 20 nm Pd, 100 nm Au und 2 nm Ti, auf der Kontaktschicht. Das Ti erleichtert die Haftung von Fotoresist im nächsten Schritt. Ein 100 µm breiter Fotoresiststreifen wird auf dem p-leitenden Kontaktmetall ausgeformt, sorgfältig an einer <110>-Achse ausgerichtet. Der Wafer wird dann durch Ionenstrahlätzen (500 eV Xe+-Ionen) ausgeformt, wobei durch das p-leitende Kontaktmetall und 0,25 µm in den Halbleiter geätzt wird. Der geätzte Wafer wird dann unverzüglich zu einem Vakuumverdampfer verbracht, wo 0,37 µm Al₂O₃ durch Elektronenstrahlverdampfung aufgebracht wird. Der Fotoresiststreifen wird mit Aceton abgezogen, wobei das Al₂O₃ über dem nicht geätzten Streifen abgehoben wird und eine ebene Fläche zurückbleibt. Als Nächstes wird, nachdem wieder Fotoresist aufgetragen und ausgeformt wurde, Bondmetall (100 nm Ti und 300 nm Au) aufgebracht und durch Abheben in 1000 µm breite Streifen ausgeformt, zentriert über der 100 µm breiten wirksamen Region. An diesem Punkt ist die Bearbeitung der oberen Fläche abgeschlossen. Der Wafer wird mit Wachs auf einem Polierwerkzeug befestigt, und die Rückseite wird zu einer glänzenden Fläche poliert. Nach dem Entfernen vom Polierwerkzeug wird die Rückseite des Wafers gereinigt und leicht geätzt. Wieder wird Fotoresist aufgetragen und ausgeformt, und das n-leitende Rückseiten-Kontaktmetall (10 nm Pd, 25 nm Ge, 300 nm Au) wird durch Vakuumverdampfung aufgebracht und durch Abheben in 1000 µm-Streifen ausgeformt. Diese Streifen werden in Bezug auf die wirksamen Streifen auf der Vorderseite des Wafers ausgerichtet, um so ein „Fenster“ zu ermöglichen, durch das man den wirksamen Streifen mithilfe eines Infrarotmikroskops durch das InP-Substrat sehen kann.

[0057] Der Wafer wird dann in Barren von 1000 µm Länge gespalten, und auf die vorderen Facetten wird eine

Antireflexionsbeschichtung (20,9 nm Al_2O_3) aufgetragen, und auf die hinteren Facetten wird eine Beschichtung mit hohem Reflexionsvermögen (eine Viertelwellenlängen-Lage Mg F_2 und Si) aufgetragen. Die Barren werden dann in (1500 μm breite) Chips geschnitten, die montagefähig sind. In jedem dieser Chips ist das Zentrum der optischen Mode 2,14 μm von der oberen Fläche des Bondmetalls entfernt.

Sich verjüngender Siliciumoxinitrid-Wellenleiterchip

[0058] Fig. 6 stellt einen sich verjüngenden Wellenleiter 70 dieses Beispiels dar, der gebildet wird, indem mit einem (100) Siliciumwafer 72 begonnen wird, der auf beiden Seiten poliert ist. Ein Oxid wächst auf der oberen Fläche des Wafers auf eine Dicke von mindestens 3 μm , wobei die untere Beschichtung 74 gebildet wird. Mithilfe von Standardtechniken wird Fotoresist auf der unteren Beschichtung ausgeformt, wobei kleine Ausrichtungsmarkierungen (10 μm im Quadrat) definiert werden, wobei diese präzise an einer $\langle 110 \rangle$ -Achse des Substrats ausgerichtet werden. Der Wafer wird in einem Vakuumbeschichtungssystem platziert, und eine dünne Schicht (100 nm) Ge wird durch Elektronenstrahlverdampfung aufgebracht. Nach dem Entfernen aus dem Beschichtungssystem wird das Fotoresist in Aceton entfernt (andere geeignete Lösungsmittel könnten verwendet werden), wodurch das Ge durch „Abheben“ in kleine Ausrichtungsmarkierungen ausgeformt wird.

[0059] Mithilfe von Standardtechniken wird wieder Fotoresist (vorzugsweise NR7-1000PY, erhältlich bei Futurrex, Inc., Franklin, N.J., USA) auf der unteren Beschichtung ausgeformt, wobei die gewünschte Wellenleiter-Ausformung (sowie Streusegmente) definiert wird und sie präzise an den Ge-Ausrichtungsmarkierungen ausgerichtet wird, die nahe dem breiten Ende jeder sich verjüngenden Wellenleiter-Ausformung positioniert sind. In diesem Beispiel verjüngt sich der Wellenleiter über eine Länge von 2,0 cm von 100 μm Breite auf 7,5 μm Breite. Die Form der Verjüngung ist ein ansteigender Sinus. Der Wafer wird in einem Vakuumbeschichtungssystem platziert, und eine dünne Schicht MgF_2 (der optische Begrenzungswerkstoff 76) wird durch Elektronenstrahlverdampfung aufgebracht (alternativ würden andere Auftragungstechniken funktionieren, unter anderem thermische Verdampfung oder Sputtern). Nach dem Entfernen aus dem Beschichtungssystem wird das Fotoresist in Aceton entfernt (andere geeignete Lösungsmittel könnten verwendet werden), wodurch das MgF_2 durch „Abheben“ ausgeformt wird. In diesem Beispiel ist das MgF_2 37,5 nm dick. Als Nächstes wird der Wafer in einem System für Plasmaunterstützte Gasphasenabscheidung (PECVD) platziert. Siliciumoxinitrid-Kern 78 wird beschichtet, gefolgt von der oberen Siliciumdioxid-Beschichtung. In diesem Beispiel weist der Kern eine Dicke von 0,4 μm auf, und die PECVD-Gasströmungen sind eingestellt, um einen Stickstoffgehalt im Kern bereitzustellen, der für einen Brechungsindex von 1,668 bei der Auslegungswellenlänge von 1480 nm geeignet ist. Obere Beschichtung 80 weist eine Dicke von 1,64 μm auf. Diese Schichtdicken sind gewählt, um nahezu zur Größe und Position der optischen Mode im Laserdiodenchip zu passen. Die resultierende Wellenleiterstruktur weist eine fast völlig ebene Fläche auf (zum Bonden mit einer Unterbefestigung geeignet) und unterstützt eine einfache transversale Mode bei der Auslegungswellenlänge von 1480 nm. Der Wellenleiter-Absorptionsverlust kann durch ein abschließendes Hochtemperatur-Tempern (z.B. 1140 °C.), um den Wasserstoff in den PECVD-Schichten zu reduzieren, minimiert werden.

[0060] Dann wird (nicht gezeigtes) Bondmetall (100 nm Ti, 300 nm Au) per Vakuumbeschichtung über den ganzen Wafer aufgebracht, und der Wafer wird in (2 cm lange) Barren gespalten. Eine Antireflexionsbeschichtung (26,8 nm Mg F_2) wird per Vakuumbeschichtung auf die breiten Enden der Wellenleiter aufgebracht. In diesem Beispiel werden die schmalen (Ausgang-) Enden der Wellenleiter nicht beschichtet. Die Barren werden dann in (1500 μm breite) einzelne Wellenleiterchips gespalten. In diesen Wellenleitern ist das Zentrum der optischen Mode 2,14 μm von der oberen Fläche des Bondmetalls entfernt.

Unterbefestigung und Zusammenbauprozess

[0061] Mit einer Ausnahme sind die Unterbefestigung und der Zusammenbauprozess mit jenen in Beispiel 1 identisch. In diesem Beispiel ist der sich verjüngende Wellenleiter, der durch die dünne MgF_2 -Schicht definiert ist, sehr schwer durch das Si-Substrat mithilfe des Mikroskops mit einem Infrarot-Videosystem zu sehen. Jedoch sind die Ge-Ausrichtungsmarkierungen leicht zu sehen, wodurch es möglich ist, den Laserdiodenchip genau am sich verjüngenden Wellenleiter auszurichten, weil die Position des Wellenleiters in Bezug auf die Ausrichtungsmarkierungen bekannt ist.

[0062] Die vorliegende Erfindung würde gleichermaßen gut mit anderen Kombinationen der Werkstoffsysteme für den Laserdiodenchip und den Wellenleiterchip funktionieren. Beispielsweise könnte der AlGaAs-InGaAs -Laserdiodenchip nach Beispiel 1 wirksam mit dem Siliciumoxinitrid-Wellenleiterchip nach Beispiel 2 gekoppelt werden, wenn kleinere Anpassungen an Schichtdicken vorgenommen würden, um gute Ausrichtung der Kernschichten sicherzustellen. In ähnlicher Weise könnte der AlGaInAs-InP -Laserdiodenchip nach Bei-

spiel 2 wirksam mit dem BeZnTe-Wellenleiterchip nach Beispiel 1 unter der Voraussetzung gekoppelt werden, dass geeignete Dickenanpassungen vorgenommen werden.

[0063] Verschiedene Modifikationen und Abänderungen dieser Erfindung sind für den Fachmann offensichtlich, ohne dass der Umfang dieser Erfindung verlassen wird.

Patentansprüche

1. Laser (**10**), aufweisend einen Laserdiodenchip (**12**), der optisch mit einem passiven, sich verjüngenden Intrakavitäts-Wellenleiter (**14a**) gekoppelt ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Laserdiodenchip eine Ausgangsöffnung einer Breite größer als 10 Mikrometer aufweist.

2. Laser (**10**) nach Anspruch 1, wobei der Laser (**10**) konfiguriert ist, eine einfache transversale Mode zu erzeugen.

3. Laser nach Anspruch 1, wobei der Wellenleiter (**14**) einen kristallinen Werkstoff aufweist.

4. Laser nach Anspruch 3, wobei der kristalline Werkstoff ein Einkristall ist.

5. Laser nach Anspruch 3, wobei der kristalline Werkstoff einen II-VI-Verbindungshalbleiterwerkstoff aufweist.

6. Laser nach Anspruch 5, wobei der II-VI-Verbindungshalbleiterwerkstoff BeZnTe aufweist.

7. Laser nach Anspruch 1, wobei der Wellenleiter (**14**) ein Glas aufweist.

8. Laser nach Anspruch 1, wobei der Laserdiodenchip (**12**) auf seiner Fläche an der Schnittstelle des Laserdiodenchips (**12**) und des Wellenleiters (**14**) eine Antireflexionsbeschichtung (**18**) aufweist.

9. Laser nach Anspruch 1, wobei der Laserdiodenchip (**12**) und der Wellenleiter (**14**) jeder auf seiner Fläche an der Schnittstelle des Laserdiodenchips (**12**) und des Wellenleiters (**14**) eine Antireflexionsbeschichtung (**18, 20**) aufweisen.

10. Laser nach Anspruch 1, wobei der Wellenleiter (**14**) eine Länge von 0,5 Zentimetern oder mehr aufweist.

11. Optischer Verstärker, der den Laser (**10**) nach Anspruch 1 aufweist.

12. Optischer Verstärker nach Anspruch 11, wobei der Verstärker mit einem Seltenerdmetall dotiert ist.

13. Optischer Verstärker nach Anspruch 12, wobei der Verstärker mit Erbium dotiert ist.

14. Optischer Verstärker nach Anspruch 13, wobei der Verstärker ferner mit Thulium dotiert ist.

15. Optischer Verstärker nach Anspruch 11, wobei der Verstärker ein Raman-Verstärker ist.

16. Optischer Verstärker nach Anspruch 13, wobei der Laser eine Ausgangsstrahl-Wellenlänge von etwa 980 nm oder etwa 1480 nm aufweist.

17. Optischer Verstärker nach Anspruch 15, wobei der Laser eine Ausgangsstrahl-Wellenlänge von etwa 1365 nm bis etwa 1530 nm aufweist.

18. Laserdrucksystem, das den Laser (**10**) nach Anspruch 1 aufweist.

19. Lasersystem zur Erzeugung der zweiten Harmonischen, das den Laser (**10**) nach Anspruch 1 aufweist.

20. Laser nach Anspruch 1, wobei der Laserdiodenchip (**12**) und der Wellenleiter (**14**) auf einer Unterbefestigung (**44**) ausgerichtet sind.

21. Laser nach Anspruch 1, wobei der sich verjüngende Wellenleiter (**14a**) von ansteigender Sinuskontur

ist.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

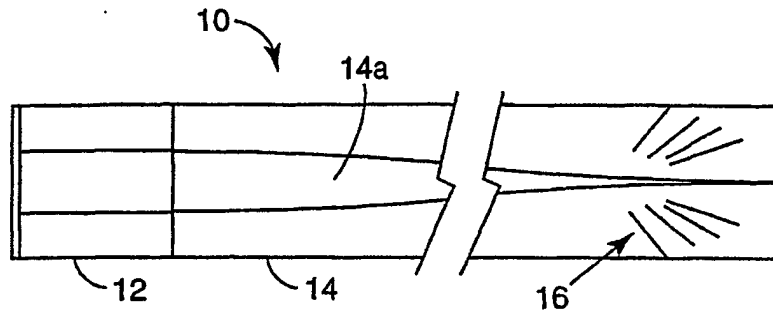


FIG. 1

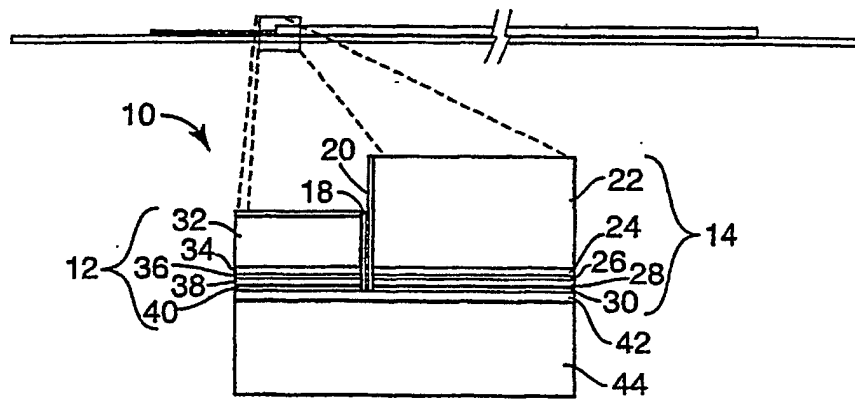


FIG. 2

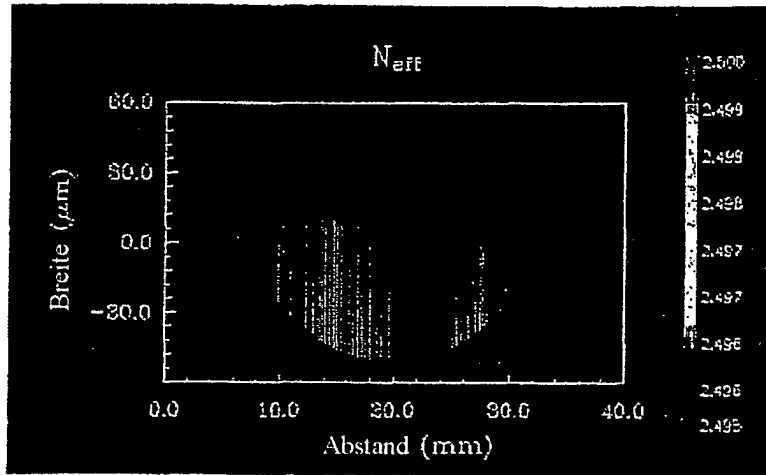


FIG. 3

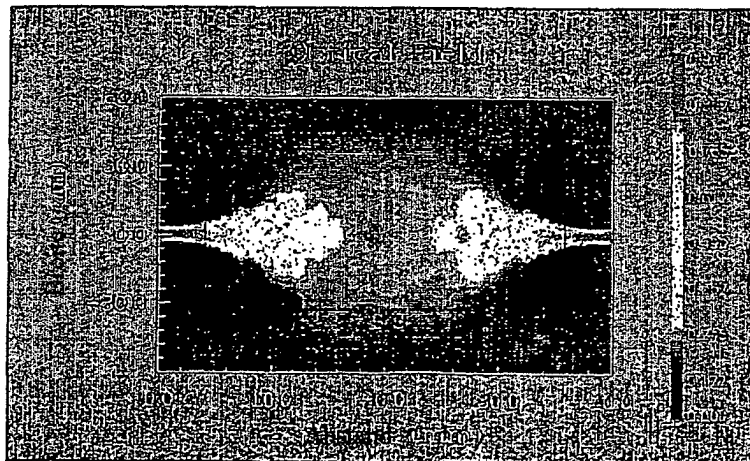


FIG. 4

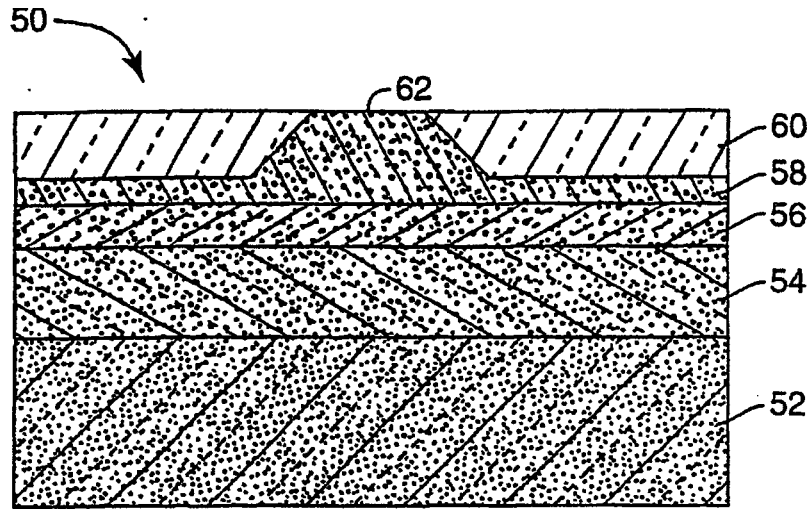


FIG. 5

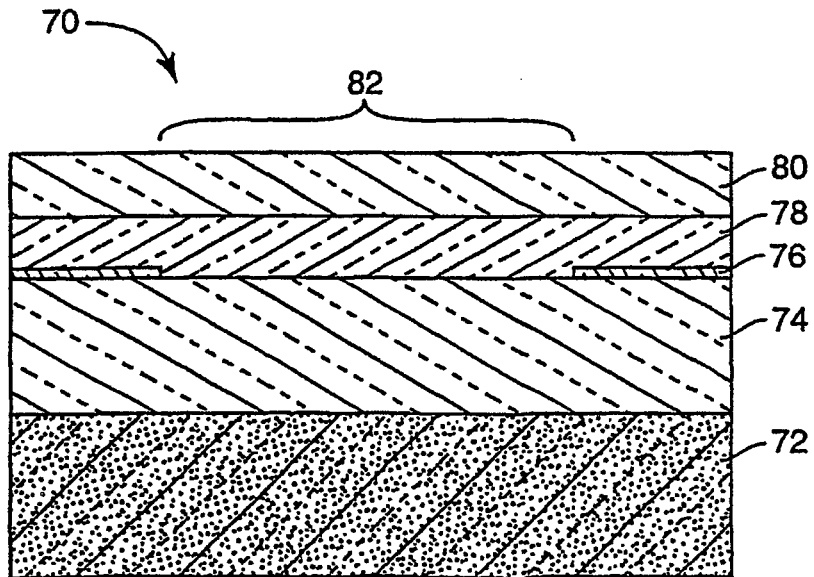


FIG. 6