



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 602 12 344 T2 2007.05.10

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 368 870 B1

(51) Int Cl.⁸: H01S 5/026 (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: 602 12 344.5

(86) PCT-Aktenzeichen: PCT/US02/01348

(96) Europäisches Aktenzeichen: 02 713 427.9

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 2002/058251

(86) PCT-Anmeldetag: 18.01.2002

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: 25.07.2002

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 10.12.2003

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: 14.06.2006

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 10.05.2007

(30) Unionspriorität:

262863 P	19.01.2001	US
891639	26.06.2001	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:

The Trustees of Princeton University, Princeton,
N.J., US

(72) Erfinder:

FORREST, R., Stephen, Princeton, NJ 08540, US;
GOKHALE, R., Milind, Princeton, NJ 08540, US;
STUDENKOV, V., Pavel, Monmouth Junction, NJ
08852, US

(74) Vertreter:

Patentanwälte Dr. Sturies Eichler Füssel, 42289
Wuppertal

(54) Bezeichnung: MITTELS ELEKTROABSORPTION MODULIERTER LASER MIT ASYMMETRISCHEM 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 eingelebt, 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**BEREICH DER ERFINDUNG**

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ganz allgemein das Gebiet der optischen Kommunikationsvorrichtungen und betrifft insbesondere Laser.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

[0002] Integrierte Photonenschaltkreise (PIC) stellen eine Plattform integrierter Technologie zur Verfügung, die in verstärktem Maße von komplexen optischen Schaltungen verwendet wird. Die PIC-Technologie ermöglicht es optischen Mehrfachvorrichtungen, sowohl aktiven als auch passiven, in einem einzigen Substrat integriert zu werden. Zum Beispiel können PIC integrierte Laser, integrierte Empfänger, Wellenleiter, Detektoren, optische Halbleiterverstärker (SOA), Gitter und andere aktive und passive optische Halbleitereinrichtungen umfassen. Die monolithische Integration von aktiven und passiven Einrichtungen in PIC stellt eine effektive integrierte Technologieplattform für die Verwendung in optischen Kommunikationseinrichtungen zur Verfügung.

[0003] Eine spezielle anpassungsfähige PIC-Plattformtechnologie ist die integrierte- oder Zwillingswellenleiter (TG) Struktur. Die Doppelwellenleitung kombiniert aktive und passive Wellenleiter in einer vertikalen direktionalen Kopplungsgeometrie, die eine flüchtige beziehungsweise gedämpfte Feldkopplung verwendet. Die TG-Struktur benötigt lediglich einen einzigen epitaktischen Wachstumsschritt, um eine Struktur zu erzeugen, auf welcher aktive und passive Einrichtungen schichtweise angeordnet und hergestellt sind. Das bedeutet, daß das beziehungsweise die TG eine Plattformtechnologie zur Verfügung stellt, mit welcher eine Vielfachheit von PIC, jede mit unterschiedlichen Auslegungen und Komponenten, aus dem gleichen Basiswafer hergestellt werden kann. Integrierte Komponenten sind bestimmt durch eine nach dem Wachstum durchgeführte Maskierung, wodurch die Notwendigkeit für ein epitaktisches Nachwachsen eliminiert ist. Hinzu kommt, daß aktive und passive Komponenten in einem TG-basierten PIC separat optimiert werden können, und zwar mit Nachwachsherstellungsschritten, die verwandt werden, um die Lokation und den Typ der Einrichtung auf dem PIC festzulegen.

[0004] Die konventionelle TG-Struktur wird allerdings negativ beeinflußt von dem Nachteil, daß die Wellenleiterkopplung von der Vorrichtungslänge streng abhängig ist, und zwar aufgrund der Interaktion zwischen optischen Modi. Für PIC-Einrichtungen, wie zum Beispiel Laser, führt die Interaktion zwischen optischen Modi zu der Unmöglichkeit, den Strom für die Laserschwelle und die Kupplung an passive Wellenleitern steuern zu können, und zwar als eine Kon-

sequenz der Sensitivität bezüglich Variationen von der Einrichtungsstruktur selbst. Die Sensitivität von Variationen entsteht aus der Interaktion zwischen den unterschiedlichen optischen Modi des Voranschreitens in der konventionellen TG-Struktur. Diese Interaktion führt zu einer konstruktiven und einer destruktiven Interferenz in der Laserkavität, was sich auf den Schwellstrom, die modale Verstärkung, die Kopplungseffizienz und die Ausgangskopplungsparameter der Vorrichtung auswirkt. Die konventionelle TG-Struktur leidet an einer unstabilen Sensitivität der Ausführungscharakteristika, und zwar aufgrund der Länge der Einrichtung, gerade/ungerade Mode-Interaktion und Variationen der geschichteten Struktur.

[0005] Die US Patentanmeldung mit der Seriennummer 09,337,785, eingereicht am 22. Juni 1999, mit dem Titel „Twin Waveguide Based Design for Photonic Integrated Circuits“ (US 2002 031 297 A1), offenbart eine modifizierte TG-Struktur, die als asymmetrischer Doppel- beziehungsweise Zwillingswellenleiter (ATG) bezeichnet wird, welche einige der Ausführungsprobleme konventioneller TG-Strukturen berücksichtigt. Die ATG-Struktur reduziert signifikant modale Störungen durch das Begrenzen unterschiedlicher Modi von Licht dahingehend, daß sie in unterschiedlichen Wellenleitern propagieren. Dies wird erreicht durch Auslegen eines jeden der einzelnen Mode-Wellenleitern, die in dem Zwillingswellenleiter enthalten sind, derart, daß der Mode des propagierenden Lichts in jedem der zwei Wellenleiter unterschiedliche Brechungsindizes aufweist. Die asymmetrischen Wellenleiter können lateral konisch zulaufen, um Kupplungsverluste bei resonanzerzeugender oder adiabatischer Kopplung von der optischen Energie zwischen dem ersten und dem zweiten Wellenleiter zu reduzieren. Die Auslegung des asymmetrischen Wellenleiters reduziert signifikant die Interaktion zwischen den optischen Modi und repräsentiert daher eine große Verbesserung gegenüber traditionellen TG-Einrichtungen.

[0006] Obwohl der ATG eine anpassungsfähige Plattform verspricht, haben die Anmelder die Notwendigkeit erkannt, die photonischen Einrichtungen zu liefern, die zwar oftmals angepriesen, aber nie-mals mittels der PIC-Technologie realisiert worden sind. Demgemäß offenbaren in der US Patentanmeldung mit der Seriennummer 09/717,851, angemeldet am 21. November 2000, mit dem Titel „Photonic Integrated Detector Having a Plurality of Asymmetric Waveguides“ (US 633 0378 B1) die Anmelder eine Photodetektoreinrichtung, die auf einer asymmetrischen Wellenleiterausführung basiert. Ein Ausführungsbeispiel von dem Photodetektor PIC enthält mehr als zwei asymmetrische Wellenleiter. Die asymmetrischen Wellenleiterphotodektoren sprechen äußerst schnell bei sehr hohen Frequenzen an und sind bei diesen betreibbar.

[0007] Die Entwicklung der Vorrichtung des asymmetrischen Wellenleiterphotodetektors verspricht viel für asymmetrische Wellenleiter-PIC. Allerdings besteht immer noch das Bedürfnis der Entwicklung anderer Typen von PIC-Einrichtungen. Insbesondere besteht die Notwendigkeit für verbesserte Lasereinrichtungen, wie zum Beispiel elektroabsorptionsmodulierte Laser (EMLs). EMLs werden oft als Transmitter in optische Fasern verwendende Kommunikationssysteme eingesetzt. Eine EML-Einrichtung enthält typischerweise einen Laser, der an dem Ausgang des Lasers mit einem Elektroabsorptionsmodulator integriert ist. Dieser Laser kann zum Beispiel eine verteilte Rückführungs-(DFB) oder eine verteilte Bragg-Reflektoreinrichtung (DBR) sein, die kontinuierlich betrieben werden, um die Stabilität des Outputs, der Leistung und der Wellenlänge sicher zu stellen. Der Elektroabsorptionsmodulator (EA) ist optisch mit dem Laserausgang gekoppelt und moduliert das von dem Laser generierte Signal. Forrest et al. beschreiben integrierte photonische Einrichtungen, die asymmetrische Wellenleiterstrukturen verwenden (Conference Proceedings, 222 Int. Conf. on InP and Related Materials, VA, Williamsburg; Mai 14-18, 2000; Seiten 13-16).

[0008] Es ist eine Vielzahl von Schwierigkeiten verbunden mit der Herstellung eines monolithischen integrierten Hochgeschwindigkeits-EML. Erstens benötigen die aktiven Bereiche von dem Laser und von dem Modulator typischerweise Quantenschächte, die mit unterschiedlichen Wellenlängen emittieren. Diese Auslegungseinschränkung ist allgemein erfüllt mittels des Festlegens des Lasers und des Modulators mit unterschiedlichen Stärken und/oder mit unterschiedlichen Materialien. Des weiteren ist eine effiziente optische Kopplung zwischen dem Laser und dem Modulator notwendig, und auch, im Fall des DBR-Lasers, zwischen den aktiven Einrichtungen des Lasers und des Gitters. Schließlich ist eine effektive elektrische Isolation zwischen den aktiven Einrichtungen von dem Laser und von dem Modulator notwendig, um eine Kreuzkupplung zwischen den zwei Einrichtungen zu vermeiden.

[0009] Bestehende Verfahren zur Herstellung monolithischer EML-Einrichtungen verwenden typischerweise entweder mehrfache Halbleiternachwachungsschritte, um separat den Laser und den EA-Modulator herzustellen, oder einen einheitlichen Wachstumsschritt auf einem speziell präparierten Substrat, worin die dielektrischen Masken in einander angrenzenden Bereichen des Wafers unterschiedliche Bandabstände erzeugen. Jedes dieser Verfahren ist komplex und führt typischerweise zu schlechten Ausbeuten und somit zu sehr hohen Kosten für das fertiggestellte Produkt.

[0010] Dem zufolge besteht ein Bedarf auf diesem Gebiet für einen verbesserten EML, der eine effizien-

te Kopplung und eine effektive Isolation zur Verfügung stellt und der relativ kostengünstig hergestellt werden kann.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0011] Kurz gesagt erfüllt die vorliegende Erfindung diese und andere Bedürfnisse auf diesem Gebiet.

[0012] Gemäß eines ersten Aspekts der Erfindung ist ein monolithischer symmetrischer Doppelbeziehungsweise Zwillingswellenleiter zur Verfügung gestellt, der auf einer elektroabsorptionsmodulierten Lasereinrichtung basiert. Die Lasereinrichtung enthält einen ersten Wellenleiter, der einen Verstärkungsbereich aufweist, wie zum Beispiel einen Multiquantenschachtbereich, um primär einen ersten Mode von Licht zu verstärken, und einen zweiten Wellenleiter mit einem darin ausgebildeten Modulator zum Modulieren eines zweiten Modes von Licht, das in diesem zweiten Wellenleiter forschreitet und bezogen auf den ersten Mode von Licht einen unterschiedlichen effektiven Brechungsindex aufweist. Der erste Wellenleiter ist vertikal oben auf dem zweiten Wellenleiter positioniert und hat eine darin ausgebildete lateral verlaufende Konizität, um Licht zwischen dem ersten Wellenleiter und dem zweiten Wellenleiter zu bewegen. Gemäß dieses ersten Aspekts der Erfindung wird der erste Modell des Lichts in dem ersten Wellenleiter verstärkt und in den zweiten Wellenleiter transferiert durch die lateral verlaufende Konizität. Am Ende des zweiten Wellenleiters trifft das Licht auf den Modulator, der dafür sorgt, daß ein moduliertes optisches Signal von dieser Einrichtung emittiert wird.

[0013] Gemäß eines weiteren Aspekts der Erfindung ist eine elektroabsorptionsmodulierte Lasereinrichtung offenbart, die mehr als zwei vertikal integrierte asymmetrische Wellenleiter umfasst. Diese Lasereinrichtung enthält einen ersten Wellenleiter mit einem Verstärkungsbereich, wie zum Beispiel einen Multiquantenschachtbereich, zum Verstärken primär eines ersten Modes von Licht, einen zweiten Wellenleiter mit einem darin angeordneten verteilten Bragg-Reflektor zum Führen primär eines Modes von Licht mit einem Brechungsindex, der unterschiedlich zu demjenigen des ersten Modes von Licht ist, und mit einem darin ausgebildeten Modulator zum Modulieren eines dritten Modes von Licht, das in dem dritten Wellenleiter propagiert und einen Brechungsindex aufweist, der von demjenigen des zweiten Modes von Licht unterschiedlich ist. Der erste Wellenleiter ist vertikal auf der Spitze des zweiten Wellenleiters positioniert, und der zweite Wellenleiter ist vertikal auf der Spitze des dritten Wellenleiters positioniert. Der erste Wellenleiter hat in sich eine lateral verlaufende Konizität ausgebildet zum Transferieren von Licht zwischen dem ersten Wellenleiter und dem zweiten Wellenleiter, und der zweite Wellenleiter hat

in sich eine lateral verlaufende Konizität ausgebildet zum Transferieren von Licht von dem zweiten Wellenleiter in den dritten Wellenleiter. Der erste Mode von Licht wird verstärkt in dem ersten Wellenleiter und in den zweiten Wellenleiter über die laterale Konizität transferiert. Das Licht propagiert in dem zweiten Wellenleiter als ein Licht mit einem zweiten Mode und wird in den dritten Wellenleiter über die lateral verlaufende Konizität transferiert. Der Modulator des dritten Wellenleiters bewirkt, daß das Signal bei dem Ausgang der Einrichtung moduliert.

[0014] Gemäß eines weiteren Aspekts der Erfindung ist eine elektroabsorptionsmodulierte Lasereinrichtung offenbart, die einen verteilten Rückführungs-laser (DFB) anwendet. Die modulierte DFB-Lasereinrichtung enthält einen ersten Wellenleiter und einen zweiten Wellenleiter. Der erste Wellenleiter hat einen Verstärkungsbereich und ein Gitter darin, um einen DFB-Laser auszubilden. Ein von dem DFB-Laser kommendes Signal wird über eine laterale Konizität in den zweiten Wellenleiter transferiert, worin das Signal moduliert wird. Das in dem ersten Wellenleiter fortschreitende Licht weist einen unterschiedlichen effektiven Brechungsindex auf als der Mode von Licht, das in dem zweiten Wellenleiter fortschreitet.

[0015] Modulierte Laser nach der Erfindung stellen sowohl eine effiziente optische Kopplung zwischen dem Laser und dem Modulator als auch eine effektive elektrische Isolation zwischen dem Laser und den Modulatoreinrichtungen zur Verfügung. Des weiteren können erfindungsgemäß modulierte Laser mittels eines Verfahrens hergestellt werden, das lediglich einen einzigen epitaktischen Wachstumsschritt benötigt. Nach dem Wachstumsschritt durchgeführte Herstellungsschritte legen den Ort von dem Laser und von dem Modulator fest. Dies vereinfacht den Herstellungsprozeß und ermöglicht eine hohe Ausbeute, und zwar mittels der relativ kostengünstigen Integrationsmethode.

[0016] Weitere Aspekte der Erfindung sind weiter unten detailliert beschrieben. Ausführungsformen von der Erfindung sind angegeben in unabhängigen Ansprüchen 1 und 8. Weitere Ausführungsformen sind in den entsprechend abhängigen Ansprüchen 2-7 und 9-20 angegeben.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0017] Andere Merkmale der Erfindung werden des weiteren erkennbar von der folgenden detaillierten Beschreibung der derzeitig bevorzugten exemplarischen Ausführungsbeispiele von der Erfindung, und zwar im Zusammenhang mit den beigefügten Zeichnungen, in denen:

[0018] [Fig. 1](#) eine perspektivische Ansicht eines elektroabsorptionsmodulierten asymmetrischen Zwi-

lingswellenleiterlasers gemäß eines Aspekts der Erfindung ist;

[0019] [Fig. 2](#) eine perspektivische Ansicht eines Teils eines elektroabsorptionsmodulierten asymmetrischen Zwillingswellenleiterlasers gemäß eines Aspekts der Erfindung ist;

[0020] [Fig. 3](#) eine Teilansicht eines elektroabsorptionsmodulierten asymmetrischen Zwillingswellenleiterlasers gemäß der Erfindung ist;

[0021] [Fig. 4](#) eine Teilansicht eines alternativen Ausführungsbeispiels von einem elektroabsorptionsmodulierten asymmetrischen Zwillingswellenleiterlasers gemäß eines Aspekts der Erfindung ist;

[0022] [Fig. 5A](#) ein Flußdiagramm von einem Herstellungsprozeß eines elektroabsorptionsmodulierten asymmetrischen Zwillingswellenleiterlasers gemäß eines Aspekts der Erfindung ist;

[0023] [Fig. 5B](#) ein Flußdiagramm ist von einem Herstellungsprozeß eines alternativen Ausführungsbeispiels von einem elektroabsorptionsmodulierten asymmetrischen Zwillingswellenleiterlasers gemäß eines Aspekts der Erfindung;

[0024] [Fig. 6](#) einen Graph darstellt von der Intensität den Photoluminiszenzspektren gegenüber den Photolumiszenzlängen von dem Laser und dem Modulator von einer Einrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0025] [Fig. 7A](#) einen Graphen von der Ausgangsleistung durch einen Modulator gegenüber dem Strom für eine elektroabsorptionsmodulierte asymmetrische Zwillingswellenleiterlasereinrichtung gemäß der Erfindung darstellt;

[0026] [Fig. 7B](#) ein Graph von dem Ausgangsleistungsauslöscherhältnis gegenüber der an dem Modulator angelegten Spannung für einen elektroabsorptionsmodulierten asymmetrischen Zwillingswellenleiterlaser gemäß der Erfindung ist;

[0027] [Fig. 8](#) eine perspektivische Ansicht von einem Teil von einem elektroabsorptionsmodulierten asymmetrischen Wellenleiterlasers gemäß der Erfindung ist;

[0028] [Fig. 9](#) eine Teilansicht von einem elektroabsorptionsmodulierten asymmetrischen Wellenleiters gemäß der Erfindung ist;

[0029] [Fig. 10](#) ein Flußdiagramm von einem Herstellungsprozeß von einem elektroabsorptionsmodulierten asymmetrischen Wellenleiterlaser gemäß eines Aspekts der Erfindung ist;

[0030] [Fig. 11](#) eine perspektivische Ansicht von einem Teil eines elektroabsorptionsmodulierten asymmetrischen Zwillingswellenleiterlasers gemäß eines Aspekts der Erfindung ist;

[0031] [Fig. 12A](#) eine Teilansicht von einem elektroabsorptionsmodulierten asymmetrischen Zwillingswellenleiters gemäß der Erfindung ist; und

[0032] [Fig. 12B](#) eine Teilansicht eines alternativen Ausführungsbeispiels von einem elektroabsorptionsmodulierten asymmetrischen Zwillingswellenleiterlasers gemäß eines Aspekts der Erfindung ist.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0033] Unter Bezugnahme auf die [Fig. 1](#)-[Fig. 12B](#) werden nunmehr Systeme und Methoden mit den oben genannten vorteilhaften Merkmalen im Zusammenhang mit einem zur Zeit bevorzugten exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung beschrieben. Es ist für die Fachleute auf diesem Gebiet erkennbar, daß die hier mit Bezug auf diese Figuren gegebene Beschreibung lediglich illustrativer Natur ist und nicht dazu gedacht ist, den Schutzmfang der Erfindung in irgendeiner Weise zu beschränken. Alle Fragen bezüglich des Schutzmangs der Erfindung können unter Bezugnahme auf die beigefügten Ansprüche gelöst werden.

[0034] Allgemein gesprochen ist die vorliegende Anmeldung gerichtet auf asymmetrische monolithische integrierte Wellenleiterstrukturen. Der Aufbau eines asymmetrischen Zwillingswellenleiters (ATG) ist offenbart worden in der anhängigen US Patentanmeldung mit der Seriennummer 09/337,785, eingereicht am 22. Juni 1999, mit dem dem Titel „Twin Waveguide Based Design for Photonic Integrated Circuits“ (US 20022031297 A1). Im Allgemeinen verwendet die ATG-Auslegung zwei Wellenleiter, worin jeder Wellenleiter dazu ausgelegt ist, primär einen Mode von Licht zu leiten, wobei jeder Mode einen unterschiedlichen effektiven Brechungsindex aufweist. Eine laterale Konizität in einem der Wellenleiter induziert das Koppeln von Licht zwischen den Wellenleitern. Die laterale Konizität arbeitet so, um den effektiven Brechungsindex von einem Mode des Lichtes, das in dem ersten Wellenleiter fortschreitet, in einen zweiten Mode (von Licht) zu ändern, das primär in dem zweiten Wellenleiter fortschreitet. Diese Umwandlung vollzieht sich über die Länge der Konizität. Auf diese Art und Weise kann ein Mode von Licht mit einem ersten Brechungsindex am Anfang der Konizität beginnen, in dem zweiten Wellenleiter fortzuschreiten, und umgewandelt sein in einen zweiten Mode von Licht mit einem niedrigeren effektiven Brechungsindex bei dem Ende von dem Bereich der Konizität, wodurch bewirkt wird, daß der Mode im wesentlichen festgesetzt wird in seiner Fortschreitung

im dem zweiten Wellenleiter.

[0035] Die vorliegende Anmeldung ist gerichtet auf Laser-PC-Einrichtungen mit einer Vielzahl von vertikalen, asymmetrischen, integrierten Wellenleitern mit darin ausgebildeten lateralen Konizitäten. Gemäß eines ersten Aspektes der Erfindung ist eine elektroabsorptionsmodulierte Lasereinrichtung angegeben mit einer asymmetrischen Zwillingswellenleiterausführung. Es wird Licht entlang der Länge des ersten Wellenleiters verstärkt und über eine laterale Konizität in einen zweiten Wellenleiter eingekoppelt. Ein Modulator wirkt so, um das in dem zweiten Wellenleiter fortschreitende Licht zu modulieren. Auf diese Art und Weise wird das in dem ersten asymmetrischen Wellenleiter generierte und verstärkte Licht mittels eines Modulators in dem zweiten asymmetrischen Wellenleiter moduliert.

[0036] Die [Fig. 1](#) zeigt eine perspektivische Ansicht eines exemplarischen elektroabsorptionsmodulierten asymmetrischen Zwillingswellenleiterlasers gemäß eines Aspektes von der Erfindung. Wie gezeigt, enthält die elektroabsorptionsmodulierte Lasereinrichtung **110**, einen Laserbereich **104** und einen Modulatorbereich **106**. Ein von dem Laserbereich **104** generiertes Signal wird von dem Modulator **106** moduliert.

[0037] Im allgemeinen enthält die Einrichtung **110** einen ersten Wellenleiter **114** und einen zweiten Wellenleiter **116**, die auf einem Substrat **112** angeordnet sind. Wie mit Bezug auf die [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) weiter unten detailliert erläutert werden wird, weist der Wellenleiter **114** einen darin angeordneten Verstärkerbereich auf, zum Verstärken von in dem Wellenleiter fortschreitenden Licht. Das in dem Wellenleiter **114** fortschreitende Licht wird in den Wellenleiter **116** über laterale Konizitäten **122**, die in dem Wellenleiter **114** ausgebildet sind, transferiert. Der Wellenleiter **116** hat darin ausgebildete Gitterabschnitte **128**. Die Gitterabschnitte **128** arbeiten zusammen mit dem Verstärkungsbereich in dem Wellenleiter **114**, um einen verteilten Bragg-Reflektor-Laser (DBR) auszubilden. Daher enthält der Laserbereich **104** den Wellenleiter **114** und den Abschnitt des Wellenleiters **116** zwischen den Gittern **128**. Das von dem DBR-Laserbereich **104** emittierte Licht tritt in den Modulatorbereich **106** von dem Wellenleiter **116**. Der Modulatorbereich **106** bewirkt, daß das Signal aus dem Laser moduliert wird.

[0038] Die [Fig. 2](#) zeigt eine perspektivische Ansicht von einem Abschnitt eines exemplarischen elektroabsorptionsmodulierten asymmetrischen Zwillingswellenleiterlaser gemäß eines Aspektes der vorliegenden Erfindung. Wie gezeigt, ist die monolithische, integrierte, modulierte Zwillingswellenleiterlasereinrichtung **110** auf den Substrat **112** positioniert und enthält einen ersten Wellenleiter **114** und einen zweiten Wellenleiter **116**. Der Wellenleiter **114** hat einen

Multiquantenschacht-Bereich **118**, der darin ausgebildet ist, um in dem Wellenleiter **114** fortschreitendes Licht zu verstärken. In einem Ausführungsbeispiel enthält der Quantenschacht-Bereich **118** fünf Quantenschächte. Der elektrische Kontaktbereich **120** des Lasers wird verwendet, um eine Spannung an dem Multiquantenschacht-Bereich **118** anzulegen und um dadurch ein Laserbetriebs-Signal zu erzeugen. In dem exemplarischen Ausführungsbeispiel sind die Materialien und die relativen Dicken von denjenigen Materialien, die den Wellenleiter **114** umfassen, derart ausgewählt worden, daß ein einzelner Mode von Licht primär in dem Wellenleiter **114** fortschreitet. In einem exemplarischen Ausführungsbeispiel weist der einzelne Mode von Licht einen effektiven Brechungsindex von etwa 3,24 auf.

[0039] Der Wellenleiter **114** weist darin ausgebildete laterale Konizitäten **122** auf, um Licht in den Wellenleiter **116** zu transferieren. Die Breite des Endes der Konizität des Wellenleiters **116**, die hierin bezeichnet wird als W_{TAPEND} , beträgt 1 µm. Die Breite der Konizität an einem Punkt, welcher bei dem exemplarischen Ausführungsbeispiel der entfernteste Punkt der Konizität ist, wird im folgenden als W_{TAP} bezeichnet und beträgt zwischen etwa 1,8 und 2,2 µm. Die Länge der Konizität von ihrem Ende zu dem Punkt, der W_{TAP} entspricht, die im folgenden als L_{TAP} bezeichnet wird, beträgt zwischen 100 und 1250 µm. Die oben beschriebenen Werte für W_{TAPEND} , W_{TAP} und L_{TAP} führen zu einem lateralalen Konuswinkel Θ von zwischen etwa 0,09 und 0,23 Grad. Der Wellenleiter **116** ist unterhalb des Wellenleiters **114** positioniert und einstückig damit ausgebildet. Der Wellenleiter **116** ist ausgelegt worden, um primär einen Mode von Licht zu leiten, wobei der Mode von Licht einen geringeren effektiven Brechungsindex aufweist, als der Mode von Licht, das in dem Wellenleiter **114** fortschreitet. Im einem exemplarischen Ausführungsbeispiel ist der effektive Brechungsindex von dem Mode von Licht, das in dem Wellenleiter **116** fortschreitet, zwischen etwa 3,2 und 3,21 ausgewählt.

[0040] Der Wellenleiter **116** enthält einen Multiquantenschacht-Bereich **124**, der in einem Ausführungsbeispiel zehn Quantenschächte enthält. Der elektrische Kontakt **126** wird verwendet, um eine Sperr-Vorspannung an den Quantenschacht-Bereich **124** zu induzieren, um so eine Verschiebung der Bandlücken und der Absorption zu induzieren. Die Sperr-Vorspannung führt zu einer Modulation des Signals, das von dem Wellenleiter **126** ausgegeben worden ist.

[0041] Allgemein ist der Multiquantenschacht-Bereich **124** transparent für die vom Laser emittierte Wellenlänge, und zwar aufgrund der Bandlücken-Verstimmung. Daher ist ein verteilter Bragg-Gitterreflektor '128 in den Wellenleiter **116** eingeätzt. Das Ergebnis ist ein frequenzstabilisierter verteilter Bragg-Reflektor-Laser **104** (DBR), dessen optische

Ausgangsfrequenz entlang des Wellenleiters **116** geleitet wird.

[0042] Wie bereits vorher bemerkt, besteht eine wichtige Überlegung bezüglich der Auslegung für die elektroabsorptionsmodulierten Laser darin, eine effektive elektrische Isolation zwischen dem Laser und dem Modulator zu haben. Die elektrische Isolation ermöglicht ein unabhängiges Vorspannen von zwei Einrichtungen. Die [Fig. 3](#) zeigt eine Abschnittsansicht des asymmetrischen Zwillingswellenleiterlasers von [Fig. 2](#). Wie gezeigt, enthält der Wellenleiter **114** einen p dotierten Bereich **210**, einen Multiquantenschacht-Bereich **118** und einen n dotierten Bereich **212**. Der Wellenleiter **116** ist positioniert auf dem oberen Bereich des n+ dotierten Substrats **112** und enthält den Quantenschacht-Bereich **124** und den n+ dotierten Bereich **214**. Der n dotierte Bereich **214** ist angrenzend an den n dotierten Bereich **212** des Wellenleiters **114** angeordnet.

[0043] Ein Abschnitt der oberen Mantelschicht **214** des Wellenleiters **116**, der unter dem Kontakt **126** positioniert ist, ist unter Verwendung von einer Akzeptor-Diffusion lokal in einen p-Typ-Bereich **220** konvertiert worden. Die Diffusion erzeugt einen p-n-Anschluß in dem Bereich unterhalb des Kontaktes **126**. Es wird eine Vorspannung in Durchlaßrichtung an dem Laser-Bereich von der Einrichtung angelegt mittels Anlegen einer Spannung über den Kontakt **120** und dem Substrat **112** oder alternativ über den Kontakt **120** und einem Seitenkontakt am Schacht **214**. Durch Anlegen einer negativen Spannung zwischen dem Modulatorkontakt **126** und dem Substrat **112** wird eine Sperr-Vorspannung an den Quantenschacht-Bereich **124** angelegt.

[0044] Bei dem Anschluß des Bereichs **220** und dem Mantel **214** wird ein rückwärts vorgespannter p-n-Anschluß ausgebildet, wodurch eine elektrische Isolation zwischen dem Modulator und dem Laser zur Verfügung gestellt wird. Auf diese Art und Weise arbeitet die Zusammenstellung der Wellenleiter so, um eine elektrische Isolation zwischen dem Laser und dem Modulator zur Verfügung zu stellen.

[0045] In der [Fig. 4](#) ist ein alternatives Ausführungsbeispiel zum zur Verfügung stellen einer elektrischen Isolation für den asymmetrischen Zwillingswellenleiterlaser gezeigt. Wie gezeigt, enthält der Wellenleiter **114** einen p dotierten Bereich **310**, einen n dotierten Bereich **312** und einen Quantenschacht-Bereich **118**. Der Wellenleiter **116** ist auf dem oberen Bereich des Substrats **112** und unterhalb des Wellenleiters **114** positioniert. Der Wellenleiter **116** enthält eine n dotierte Mantelschicht **314**, einen Quantenschacht-Bereich **124** und eine mit n+ hochdotierte Kontaktsschicht **316**.

[0046] Es ist eine Vorspannung im Durchlaßrich-

tung für den Laser an dem Laserkontakt **120** und der n+ Schicht **316** angelegt. Die Sperr-Vorspannung für den Modulator ist zwischen der n+ Kontaktsschicht **216** und dem Substrat **112** angelegt. Auf diese Art und Weise teilen sich bei dem Ausführungsbeispiel von [Fig. 4](#) der Laser und der Modulator die Kontaktsschicht **316** als einen gemeinsamen Masseanschluß bzw. Erdung. Um den Laser effektiver von dem Modulator zu isolieren, ist in der n+ Schicht **312** ein Ionen-Implantationsbereich **320** ausgebildet, eine Kontaktsschicht **316** und eine n+ Schicht **314**. Der Ionen-Implantationsbereich erzeugt eine Widerstand von mehreren einhundert kiloOhm zwischen dem Laser und dem Modulator. Dieser hinzugefügte Widerstand dient dazu, die Kreuzkoppelung zwischen den zwei Einrichtungen zu minimieren.

[0047] Wie bereits vorstehend bemerkt, besteht ein großer Vorteil der asymmetrischen Wellenleitertechnologie darin, daß sie unter Verwendung des Wachstumschrittes sich selbst die Möglichkeit der Erzeugung von Einrichtungen verleiht. Ein Wafer zur Verwendung bei der Herstellung auf asymmetrischen Wellenleitern basierenden modulierten Lasers, wie er oben in Bezug auf die [Fig. 1](#) bis [Fig. 4](#) beschrieben worden ist, kann wie folgt aufgebaut werden. Zuerst wird eine 0,5 µm Dicke InP-Pufferschicht auf einem (100) p dotierten InP-Substrat **112** aufgebaut. Als nächstes wird der MQW (Multiquantenschacht-Bereich) **124** des Modulators aufgebaut. Der MQW-Bereich **124** enthält zehn InGaAsP-Quantenschächte mit einer Emissionswellenlänge von etwa $\lambda = 1,5 \mu\text{m}$, die mittels neun InGaAsP-Barrieren mit einer Bandlücken-Wellenlänge von etwa $\lambda_g = 1,2 \mu\text{m}$ voneinander getrennt sind. Diese Schichten sind zwischen zwei InGaAsP (Bandlücken-Wellenlänge $\lambda_4 = 1,05 \mu\text{m}$) separate heterostrukturierte Einschluß(SCH)-Schichten zwischengefügt, welche jeweils etwa 0,05 µm dick sind. Dem Modulator folgt eine 0,35 µm dicke InP-Schicht, eine 0,05 µm dicke n+ dotierte InGaAsP-Schicht sowie eine andere 0,35 µm InP Schicht. Auf dem oberen Bereich davon wird der MQW-Bereich **118** des Lasers aufgebaut. Der Laserwellenleiter MQW-Bereich **118** enthält fünf Quantenschächte mit einer Emissionswellenlänge von etwa $\lambda = 1,55 \mu\text{m}$, welche separiert sind mittels vier InGaAsP-Barrieren mit einer Bandlücken-Wellenlänge von etwa $\lambda_4 = 1,2 \mu\text{m}$. Diese Schichten sind zwischen zwei InGaAsP(Bandlücken-Wellenlänge $\lambda_g = 1,2 \mu\text{m}$)-SCH-Schichten zwischengefügt, welche etwa 0,15 µm dick sind. Auf dem oberen Bereich des Lasers wird eine 0,1 µm InP-Schicht aufgebaut, die von einer 0,02 µm InGaAsP-Ätzstoppschicht sowie einer 1 µm dicken InP-Mantelschicht obendrauf gefolgt werden. Schließlich wird auf der Mantelschicht eine 0,2 µm dicke, p+ dotierte InGaAsP-Schicht (Bandlücken-Wellenlänge $\lambda_g = 1,2 \mu\text{m}$) aufgebaut.

[0048] Die [Fig. 5A](#) ist ein Flussdiagramm von einem Herstellungsprozess eines elektroabsorptionsmodu-

lierten asymmetrischen Zwillingswellenleiterlasers, wie er in [Fig. 3](#) dargestellt ist. Der modulierte Laser wird hergestellt mittels einer Abfolge von Maskierungs- und Ätz-Schritten. Wie gezeigt, wird bei dem Schritt **410** eine monolithische Struktur, die die oben beschriebenen Schichten aufweist, mittels einer Molekularstrahlepitaxie (MBE) oder metallorganischen, chemischen Aufdampfung (MOCVD), zum Beispiel in einem einzelnen epitaxischen Schritt auf einem n+ dotierten Substrat **112** aufgebaut. Bei dem Schritt **412** wird die Kontur des Wellenleiters **114**, der einen lateral konisch zugelaufenden Bereich **122** bzw. eine laterale Konizität **122** darin ausgebildet hat, mittels Maskieren festgelegt, und es werden die umgebenden Schichten auf dem oberen Bereich des Wellenleiters **116** weggeätzt. Bei dem Schritt **414** wird der Wellenleiter **116** mittels Maskieren festgelegt, und die umgebenden Bereiche werden auf dem oberen Bereich des Substrats **112** weggeätzt. Bei dem Schritt **416** wird in dem Wellenleiter **116** das Gitter **128** ausgebildet, und zwar mittels eines Interferometrie-Verfahrens oder e-Strahl-Lithographie ausgebildet. Bei dem Schritt **418** wird in dem Wellenleiter **116** ein p+ Bereich **220** ausgebildet, und zwar unter Verwendung von Akzeptor-Verunreinigungs-Diffusionstechniken. Bei dem Schritt **420** werden die Kontakte **120** bzw. **126** auf dem Wellenleiter **114** bzw. dem Wellenleiter **116** ausgeformt.

[0049] Die [Fig. 5B](#) ist ein Flussdiagramm eines Herstellungsprozesses von einem elektroabsorptionsmodulierten asymmetrischen Zwillingswellenleiterlaser, wie er in der [Fig. 4](#) gezeigt ist. Wie gezeigt, wird bei Schritt **450** eine monolithische Struktur, die die oben beschriebenen Schichten aufweist, mittels MBE oder mittels MOCVD aufgebaut, z.B. in einem einzigen epitaxischen Schritt auf dem p+ dotierten Substrat **112**. Bei dem Schritt **452** wird die Kontur des Wellenleiters **114**, der eine darin ausgebildete laterale Konizität **122** aufweist, mittels Maskieren festgelegt und es werden die umgebenden Schichten auf dem oberen Bereich des Wellenleiters **116** weggeätzt. Bei dem Schritt **454** ist der Wellenleiter **116** mittels Maskieren festgelegt und die umgebenden Bereiche auf dem oberen Abschnitt des Substrats **112** weggeätzt. Bei dem Schritt **456** wird in dem Wellenleiter **116** ein Gitter **128** mittels eines Interferometrieverfahrens oder e-Strahl-Lithographie ausgebildet. Bei dem Schritt **458** wird in dem Wellenleiter **116** der Bereich **320** der elektrischen Isolation ausgebildet, und zwar unter Verwendung von Standard-Ionenimplantationstechniken. Bei dem Schritt **460** werden Kontakte **122** bzw. **126** auf dem Wellenleiter **114** bzw. Wellenleiter **116** ausgeformt.

[0050] Die [Fig. 6](#) zeigt einen Graph der Intensität der Fotoluminiszenzspektren gegenüber der Fotoluminiszenzwellenlänge für jeden der Laser, was mit der Linie **512** dargestellt ist, und dem Modulator, was mit der Linie **510** dargestellt ist, und zwar der in [Fig. 4](#)

dargestellten Einrichtung. Wie gezeigt, ist eine Verschiebung von 33 nm in der Fotoluminiszenzslänge zwischen dem Laser und dem Modulator. Die aktuelle Laserbetrieb-Wellenlänge beträgt 1540 nm, welche um 52 nm von der Spitze der Modulator-Fotoluminiszenz verstimmt wird.

[0051] Die [Fig. 7A](#) und [Fig. 7B](#) sind Graphen des Ausgangs des elektroabsorptionsmodulierten, asymmetrischen Zwillingswellenleiterlasers, wie er in der [Fig. 4](#) dargestellt ist. Die [Fig. 7A](#) stellt eine Graphen der Ausgangsleistung durch den Modulator gegenüber dem Laser-Antriebsstrom dar. [Fig. 7B](#) ist ein Graph des Ausgangsleistungs-Auslösungsverhältnisses gegenüber der an dem Modulator angelegten Spannung.

[0052] Die Anmelder haben festgestellt, daß das Anordnen des Kontaktes **126**, welcher typischerweise aus Metall hergestellt worden ist, in geringer Nähe zu dem Quantenschacht **124** dazu führen kann, daß ein optischer Verlust des fortschreitenden Signales in dem Quantenschacht **124** auftreten kann. Dementsprechend besteht daher eine Motivation dahingehend, die Distanz zwischen dem Modulator-Kontakt **126** und dem Quantenschacht **124** zu maximieren. Bei den modulierten Lasern der [Fig. 1](#) bis [Fig. 4](#) stellen die Mantelschichten bei dem Anschluß der Wellenleiter **714** und **716** eine Trennung zwischen dem Kontakt **126** und dem Quantenschacht **124** sicher. Um den optimalen Betrieb des Modulators zu erzielen, sollte die Dicke der Mantelschicht relativ groß sein, z.B. in dem Bereich von etwa 1 Mikrometer. Ein Reduzieren der Dicke des Mantels unterhalb 1 Mikrometers führt zu einem raschen Anstieg des Wellenleiterverlustes in der Modulatorsektion.

[0053] Die Anmelder haben des weiteren entdeckt, daß die Laserregion **104** der Vorrichtung **110** am besten arbeitet, wenn die Stärke des Mantels zwischen dem Wellenleiter **114** und **116** in etwa 0,5 Mikrometer beträgt. Wenn der Mantel in etwa 0,5 Mikrometer dick ist, stellt eine relativ kurze Konizität **121** einen sehr geringen Einkoppelungsverlust zwischen den Wellenleitern **114** und **116** zur Verfügung. Ein Ansteigen der Dicke des Mantels zwischen 0,8 und 1 Mikrometer benötigt einen Anstieg der Länge der Konizität, um einen geringen Einkoppelungsverlust aufrecht erhalten zu können. Ein Anstieg der Länge der Konizität macht die Konizität allerdings anfälliger für Herstellungsänderungen. Des weiteren können lange aktive Konizitäten zu hohen Schwellwert-Strömen führen, und zwar aufgrund der relativ langen nicht-radiativen Rekombinationen innerhalb der Konizität, was durch das Ätzen durch den Quantenschacht-Bereich verursacht wird.

[0054] Daher stellt die Optimierung der Arbeitsweise von dem Modulatorbereich **106** und von dem Laserbereich **104** einander widersprechende Ausle-

gungsbedingungen dar – der Modulator arbeitet am besten, wenn die Mantelschicht zwischen dem Kontakt **126** und dem Quantenschacht **124** groß ist, während der Laser am besten arbeitet, wenn diese Mantelschicht minimiert ist. Bei einem Versuch, beide Auslegungsbedingungen zu erfüllen, haben die Anmelder eine Auslegung eines modulierten Lasers entwickelt, der mehr als zwei asymmetrische Wellenleiter aufweist. Das Einführen eines dritten Wellenleiters erlaubt es, daß die Laser- und Modulatorkomponenten unabhängig voneinander optimiert werden können.

[0055] Demgemäß ist eine elektroabsorptionsmodulierte Lasereinrichtung angegeben, die mehr als zwei asymmetrische Wellenleiter aufweist. Das Licht wird entlang eines ersten Wellenleiters verstärkt und dann über die laterale Konizität in einen zweiten Wellenleiter eingekoppelt. Der zweite Wellenleiter enthält einen verteilten Bragg-Reflektor, um die Stabilität der Leistung und der Wellenlänge in dem optischen Signal sicherzustellen. Das durch den Reflektor hindurchgehende Licht wird in einen dritten Wellenleiter über eine zweite laterale Konizität eingekoppelt. Ein Modulator in dem dritten Wellenleiter arbeitet daran, daß das Lichtsignal moduliert wird.

[0056] Die [Fig. 8](#) zeigt eine perspektivische Ansicht einer exemplarischen elektroabsorptionsmodulierten Lasereinrichtung **710**, die mehr als zwei asymmetrische Wellenleiter aufweist. Wie gezeigt, enthält die Einrichtung **710** den Laserwellenleiter **712**, den passiven Wellenleiter **714** und den Modulatorwellenleiter **716**, die alle auf dem Substrat **718** angeordnet sind. Die Materialien und die relativen Stärken von diesen Materialien, die die Wellenleiter **712, 714** und **716** aufweisen, sind derart ausgewählt, daß ein unterschiedlicher Mode von Licht, jeder hat einen unterschiedlichen effektiven Brechungsindex, primär in jedem der Wellenleiter fortschreitet. Der Wellenleiter **712** hat laterale Konizitäten **722**, die darin ausgebildet sind, um Licht zwischen dem Wellenleiter **712** und dem Wellenleiter **714** zu bewegen. In ähnlicher Art und Weise hat der Wellenleiter **714** eine laterale Konizität **724**, die darin ausgebildet ist, um Licht zwischen dem Wellenleiter **714** und dem Wellenleiter **716** zu bewegen.

[0057] Der Wellenleiter **712** enthält einen Multiquantenschacht-Bereich **730**, zum Verstärken des in dem Wellenleiter **712** fortschreitenden Lichtes. Der elektrische Kontaktbereich **732** des Lasers wird dazu verwandt, um eine Spannung an den Multiquantenschacht-Bereich **730** zum Zwecke der Verstärkung des Signals in dem Wellenleiter anzulegen. Bei dem exemplarischen Ausführungsbeispiel sind die Materialien und relativen Stärken von denjenigen Materialien, die der Wellenleiter **712** enthält, derart ausgewählt worden, daß ein einzelner Mode von Licht primär im Wellenleiter **712** fortschreitet. In einem exemplarischen Ausführungsbeispiel weist der einzelne

Mode von Licht einen effektiven Brechungsindex von etwa 3,26 auf. Die laterale Konizität **722** arbeitet so, um das verstärkte Licht in den Wellenleiter **714** zu führen. Bei diesem exemplarischen Ausführungsbeispiel ist die Konizität **722** zwischen 100 und 250 Mikrometer.

[0058] Der Wellenleiter **714** ist unterhalb des Wellenleiters **712** positioniert und ist mit diesem einstückig ausgebildet. Der Wellenleiter **714** enthält einen passiven Fortschreitungsbereich **733**, um das von dem Wellenleiter **712** empfangene Licht zu dem Gitterbereich **734** zu bewegen. Die Gitterbereiche **714** bilden einen Bragg-Reflektor, der überwiegend eine Frequenz von Licht zurückreflektiert.

[0059] Die laterale Konizität **724** arbeitet so, um das in dem Wellenleiter **714** fortschreitende Licht in den Wellenleiter **716** zu transferieren. Der Wellenleiter **714** besteht aus einem optischen hochqualitativen Material mit einem sehr geringen Verlust bei der Laserbetrieb-Wellenlänge, wie z.B. InGaAsP, das gitterförmig mit InP versehen ist. Des weiteren ist die Konizität **724** relativ lang, beispielsweise in einem Bereich zwischen etwa 250 und 600 Mikrometer. Das hochqualitative und einen geringen optischen Verlust aufweisende Material und die lange Konizität stellen eine effiziente Koppelung zwischen den Wellenleitern **714** und **716** zur Verfügung. Der Wellenleiter **714** ist so ausgelegt, um primär einen Mode von Licht zu leiten, wobei der Mode von Licht einen geringeren effektiven Brechungsindex aufweist, als der Mode von Licht, das in dem Wellenleiter **712** fortschreitet. In einem exemplarischen Ausführungsbeispiel beträgt der effektive Brechungsindex des Modes von Licht, das in dem Wellenleiter **714** fortschreitet, zwischen etwa 3,23 und 3,24.

[0060] Der Wellenleiter **716** ist vertikal unterhalb des Wellenleiters **714** positioniert und ist mit diesem einstückig ausgebildet. Der Wellenleiter **716** enthält einen Multiquantschacht-Bereich **736** und hat einen darauf ausgebildeten elektrischen Kontakt **740**. Der Kontakt **740** wird verwandt, um eine Sperr-Vorspannung an dem Quantenschacht-Bereich **736** anzulegen, um einen Bandlückenversatz sowie eine Absorption des in dem Wellenleiter fortschreitenden Lichtsignals zu induzieren. Die Sperr-Vorspannung eröffnet die Möglichkeit, das von dem Wellenleiter **716** ausgegebene Signal zu modulieren. Der Wellenleiter **716** ist so ausgelegt, um primär einen Mode von Licht zu leiten, wobei dieser Mode von Licht einen geringeren effektiven Brechungsindex aufweist, als der Mode von Licht, das in dem Wellenleiter **714** fortschreitet. In einem exemplarischen Ausführungsbeispiel beträgt der effektive Brechungsindex des Modes von Licht, das in dem Wellenleiter **716** fortschreitet, etwa 3,2 bis etwa 3,21.

[0061] Die [Fig. 9](#) zeigt eine Teilansicht der modulier-

ten Lasereinrichtung **710**. Wie gezeigt, enthält in dem exemplarischen Ausführungsbeispiel der Wellenleiter **712** eine p dotierte Mantelschicht **742**, einen Multiquantschacht-Bereich **730** und einen n dotierten Bereich **744**. Der Wellenleiter **714** enthält einen n dotierten Bereich **746**, einen passiven Wellenleiterbereich **733** und einen n dotierten Bereich **748**. Der Wellenleiter **716** enthält einen n dotierten Bereich **750** und einen Multiquantschacht-Bereich **736**. Der p dotierte Bereich **752** ist in der n (dotierten) Mantelschicht **750** ausgebildet und arbeitet ähnlich wie die oben mit Bezug auf [Fig. 3](#) beschriebene.

[0062] Die Fachleute auf diesem Gebiet werden erkennen, daß die Einfügung des Wellenleiters **714** zwischen dem Wellenleiter **712** und Wellenleiter **716** Laser- und Modulator-Abschnitte der Vorrichtung zur Verfügung stellen, die unabhängig voneinander optimiert werden können. Mit Bezug auf den Laserabschnitt von der Vorrichtung ist zu sagen, daß die jeweilige Stärke der Mantelschichten **744** und **746** bei dem Anschluß der Wellenleiter **712** und **714** minimiert werden kann, um eine kürzere Konizität **722** zur Verfügung zu stellen. Zum Beispiel beträgt in einem Ausführungsbeispiel die Mantel-Stärke etwa 0,5 Mikrometer, welches es ermöglicht, die Länge der Konizität **722** auf etwa zwischen 100 und 120 Mikrometer festzulegen. Die dünne Mantelschicht und die damit einhergehende kurze Konizität sorgt für eine effiziente Koppelung zwischen dem Quantenschacht-Bereich **730** und dem Gitter **734**. Hinzukommt, daß der Wellenleiter **740** aus einem hochqualitativen optischen Material ohne Quantenschächte und mit sehr geringer optischer Verlustrate hergestellt ist. Diese Charakteristika reduzieren das Ausmaß des Verlustes in dem Gitter und in der Laser-Kavität. Des Weiteren sorgt die relative Dünne der Mantelschichten für ein relativ flaches Gitter, um das Bragg-Gitter **734** auszubilden.

[0063] Im Hinblick auf den Modulator-Abschnitt der Einrichtung ist zu sagen, daß die Stärke von den Mantelschichten **748** und **750** bei dem Anschluß der Wellenleiter **714** und **716** maximiert werden kann, um so den Abstand zwischen dem Kontakt **740** und dem Quantenschacht-Bereich **736** zu vergrößern. Die vergrößerte Dicke von dem Mantel minimiert die Einflüsse bei dem Kontakt **740** durch Signale, die in dem Wellenleiter **716** fortschreiten.

[0064] Ein Wafer zur Verwendung bei der Herstellung eines auf einem asymmetrischen Wellenleiter basierenden modulierten Lasers, wie er oben mit Bezug auf die [Fig. 8](#) und [Fig. 9](#) beschrieben worden ist, kann wie folgt aufgebaut werden. Zuerst wird eine 0,5 µm dicke InP-Pufferschicht auf einem (100) p dotierten InP Substrat **718** aufgebaut. Als nächstes wird der Modulator MQW-Bereich **736** aufgebaut. Der Modulator MQW-Bereich **736** enthält zehn InGaAsP-Quantenschächte mit einer Emissionswellen-

länge von etwa $\lambda = 1,50 \mu\text{m}$, die voneinander separiert sind mittels neun InGaAsP-Barrieren mit einer Bandlücken-Wellenlänge von etwa $\lambda_g = 1,2 \mu\text{m}$. Diese Schichten sind zwischen zwei separaten InGaAsP-(Bandlücken-Wellenlänge $\lambda_g = 1,05 \mu\text{m}$)-Schichten aus separaten eingeschlossenen Heterostrukturen (SCH) zwischengefügt, wobei jede dieser Schichten etwa $0,05 \mu\text{m}$ dick ist. Dem Modulator-Wellenleiter 716 folgt eine $1 \mu\text{m}$ dicke InP-Schicht, die diesen von dem passiven Wellenleiter 714 trennt. Der passive Wellenleiter 714 wird als nächstes aufgebaut und enthält eine $0,5 \mu\text{m}$ dicke InGaAsP(Bandlücken-Wellenlänge $\lambda_g = 1,2 \mu\text{m}$)-Schicht. Diese wird gefolgt von einer $0,22 \mu\text{m}$ dicken InP-Schicht, einer $0,05 \mu\text{m}$ dicken n+ dotierten InGaAsP-Schicht und einer anderen $0,22 \mu\text{m}$ dicken InP-Schicht. Der Laser-MQW-Wellenleiter 712 wird darauf aufgebaut. Der Laser-Wellenleiter 712 enthält fünf InGaAsP-Quantenschächte mit einer Emissionswellenlänge von $\lambda = 1,55 \mu\text{m}$, welche separiert sind mittels vier InGaAsP-Barrieren mit einer Bandlücken-Wellenlänge von etwa $\lambda_g = 1,2 \mu\text{m}$. Diese Schichten sind zwischen zwei InGaAsP(Bandlücken-Wellenlänge $\lambda_g = 1,2 \mu\text{m}$)-SCH-Schichten zwischengefügt, welche jeweils etwa $0,17 \mu\text{m}$ dick sind. Auf diesen Schichten ist eine $0,1 \mu\text{m}$ um InP-Schicht aufgebaut, die von einer $0,02 \mu\text{m}$ dicken InGaAsP-Ätzstoppeschicht sowie ein $1 \mu\text{m}$ dicken InP-Abschlußmantelschicht gefolgt werden. Schließlich wird eine $0,2 \mu\text{m}$ p+ dotierte InGaAsP-Schicht (Bandlücken-Wellenlänge $\lambda_g = 1,2 \mu\text{m}$) auf dieser Mantelschicht aufgebaut.

[0065] Die [Fig. 10](#) ist ein Flussdiagramm für einen Herstellungsprozess eines elektroabsorptionsmodulierten asymmetrischen Zwillingswellenleiter-Lasers, wie er in den [Fig. 8](#) und [Fig. 9](#) dargestellt ist. Der modulierte Laser wird hergestellt mittels einer Reihe von Maskierungs- und Ätzschritten. Wie bei dem Schritt 910 gezeigt, wird eine monolithische Struktur, die oben beschriebene Schichten aufweist, aufgebaut mittels MBE oder MOCVD, zum Beispiel in einem einzelnen epitaxischen Schritt auf einem n+ dotierten Substrat 718. Bei dem Schritt 912 wird die Kontur des Wellenleiters 712, der eine laterale Konizität 722 darin ausgebildet aufweist, mittels Maskieren festgelegt und die umgebenden Schichten werden auf dem oberen Bereich des Wellenleiters 715 weggeätzt. Bei dem Schritt 914 wird der Wellenleiter 714, der eine darin ausgebildete laterale Konizität 724 aufweist, mittels Maskieren festgelegt und die umgebenden Bereiche werden auf dem oberen Bereich des Wellenleiters 716 geätzt. Bei dem Schritt 916 wird die Kontur des Wellenleiters 716 mittels Maskieren festgelegt und die umgebenden Schichten werden oben auf dem Substrat 718 weggeätzt. Bei dem Schritt 918 wird der Gitter-Reflektor 734 in dem Wellenleiter 714 mittels einer Interferometriemethode oder der e-Strahl-Lithographie ausgebildet. Bei dem Schritt 920 wird in dem Wellenleiter 716 die p+ Region 752

unter Verwendung von Akzeptor-Verunreinigungs-Diffusionstechniken ausgebildet. Bei dem Schritt 922 werden die Kontakte 120 bzw. 126 auf dem Wellenleiter 712 bzw. auf dem Wellenleiter 714 ausgebildet.

[0066] Die Einrichtungen, wie sie mit Bezug auf den [Fig. 1](#) bis [Fig. 10](#) beschrieben worden sind, verwenden ein DBR-Laserdesign. Es ist allerdings zu bemerken, daß eine erfindungsgemäße Einrichtung alternativ auch einen verteilten Rückführungs(DFB)-Laser verwenden könnte.

[0067] Die [Fig. 11](#) zeigt eine perspektivische Ansicht einer elektroabsorptionsmodulierten Lasereinrichtung nach der Erfindung mit einem DFB-Laser. Wie gezeigt, enthält die Einrichtung gemäß [Fig. 11](#) einen ersten Wellenleiter 1110 und einen zweiten Wellenleiter 1112. Der Wellenleiter 1110 enthält einen Verstärkungsbereich 1116 und ein Gitter 1118, um einen DFB-Laser zu bilden. Der Wellenleiter 1112 enthält einen Verstärkungsbereich 1120 und eine Modulatorbereich 1122. Ein aus dem DFB-Laser austretendes Signal wird über die laterale Konizität 1124 in den Wellenleiter 1114 transferiert, wo das Signal moduliert ist. Im Gegensatz zu den Ausführungsbeispielen, wie sie oben beschrieben worden sind, ist der Laserabschnitt der Einrichtung gemäß [Fig. 11](#) vollständig in dem oberen Wellenleiter 1110 enthalten. Demzufolge sind keine Gitter-Abschnitte in dem zweiten Wellenleiter 1112 vorhanden.

[0068] Die in der [Fig. 11](#) gezeigte Einrichtung stimmt mit den asymmetrischen Auslegungen, wie sie oben angegeben worden sind, überein. Demzufolge hat ein in dem Wellenleiter 1110 fortschreitendes Licht einen unterschiedlichen effektiven Brechungsindex als der Mode von Licht, das in dem Wellenleiter 1112 fortschreitet.

[0069] Die [Fig. 12A](#) und [Fig. 12B](#) zeigen Teilsichten von zwei alternativen Ausführungsbeispielen der Einrichtung gemäß [Fig. 11](#). Wie gezeigt, ist in der Einrichtung gemäß [Fig. 12A](#) eine Isolation zwischen dem Laserbereich der Einrichtung und dem Modulator-Bereich der Einrichtung unter Verwendung eines Ionen-Implantat-Bereichs 1210 ausgebildet, welche auf ähnliche Art und Weise arbeitet, wie die Ausführungsbeispiele, die oben mit Bezug auf [Fig. 4](#) beschrieben worden sind. Die Isolation in dem Ausführungsbeispiel gemäß [Fig. 12D](#) ist ausgebildet unter Verwendung eines Diffusionsbereichs 1212, welcher ähnlich arbeitet, wie ähnliche Ausführungsbeispiele, die oben mit Bezug auf [Fig. 3](#) beschrieben worden sind. Bezüglich beider Ausführungsbeispiele ist der Gitterbereich 1118 auf dem Wellenleiter ausgeformt.

[0070] Daher sind nun verbesserte elektroabsorptionsmodulierte monolithische asymmetrische Wellenleiterlaser-Einrichtungen offenbart worden. Gemäß

eines Aspektes der Erfindung ist ein elektroabsorptionsmodulierter asymmetrischer Zwillingswellenleiter basierender Laser PIC geschaffen. Gemäß eines anderen Aspektes der Erfindung ist ein elektroabsorptionsmodulierter Laser PIC mit mehr als zwei asymmetrischen Wellenleitern geschaffen. Die exemplarischen Ausführungsbeispiele der verbesserten Lasereinrichtungen stellen effiziente optische Koppelungen zwischen dem Laser und dem Modulator und effektive Isolation zwischen diesen Einrichtungen zur Verfügung. Die Einrichtungen können betrieben werden mit Geschwindigkeiten die mindestens so groß sind wie zwischen 10 und 40 Ghz. Die Einrichtungen sind relativ einfach und kostengünstig herstellbar.

[0071] Während die Erfindung beschrieben worden ist und gezeigt worden ist, mit Bezug auf spezielle Ausführungsbeispiele, ist es doch für Fachleute auf diesem Gebiet erkennbar, daß Modifikation und Variationen gemacht werden können, ohne von den Prinzipien der Erfindung, wie sie oben beschrieben und in den folgenden Ansprüchen fortgesetzt ist, abzuweichen. Zum Beispiel kann eine elektroabsorptionsmodulierter, asymmetrischer Wellenleiter-Laser gemäß der Erfindung Notierungsanordnungen und Materialien enthalten, die sich von dem beschriebenen unterscheiden. Des Weiteren kann die Erfindung in einer großen Vielfalt von Einrichtungen angewandt werden. Zum Beispiel kann ein elektroabsorptionsmodulierter asymmetrischer Wellenleiter-Laser gemäß der Erfindung benutzt werden, um hochsensitive 40 GHz-Transmitter für optische Kommunikationsverbindungen herzustellen. Demgemäß sollte bezüglich des Umfangs der Erfindung auf die beigefügten Ansprüche Bezug genommen werden.

Patentansprüche

1. Eine modulierte Lasereinrichtung (**110**), folgendes aufweisend:
 einen ersten Wellenleiter (**114, 1110**) mit einem darin ausgebildeten Verstärkungsbereich zum Verstärken von mindestens einem ersten Mode von Licht;
 einen zweiten Wellenleiter (**116, 1112**) mit einem darin ausgebildeten Modulator (**106, 1122**) zum Modulieren eines zweiten Modes von Licht, das primär in diesem zweiten Wellenleiter fortschreitet, wobei dieser zweite Wellenleiter bezüglich zu diesem ersten Wellenleiter vertikal positioniert ist, dieser erste Wellenleiter eine darin ausgebildete laterale Konizität aufweist zum Transferieren dieses ersten Modes von Licht zwischen diesem ersten Wellenleiter und diesem zweiten Wellenleiter, und wobei dieser erste Mode von Licht einen effektiven Brechungsindex aufweist, der unterschiedlich zu demjenigen des zweiten Modes von Licht ist.

2. Eine modulierte Lasereinrichtung nach Anspruch 1, worin dieser erste Wellenleiter vertikal auf dem oberen Bereich von diesem zweiten Wellenleiter

positioniert ist.

3. Eine modulierte Lasereinrichtung nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, worin dieser zweite Wellenleiter einen Multiquantenschacht-Bereich (**124**) aufweist.

4. Eine modulierte Lasereinrichtung nach Anspruch 3, worin eine an dem Multiquantenschacht-Bereich anliegende Rückwärtsspannung bewirkt, daß dieser zweite Mode von Licht moduliert wird.

5. Eine modulierte Lasereinrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, worin dieser erste Wellenleiter einen p dotierten Bereich (**210**), einen n dotierten Bereich (**212**) und einen Multiquantenschacht (**118**) aufweist, der zwischen dem p dotierten Bereich und diesem n dotierten Bereich positioniert ist.

6. Eine modulierte Lasereinrichtung nach Anspruch 6, des Weiteren aufweisend ein p+ dotiertes oder ein n+ dotiertes Substrat (**112**), wobei dieser zweite Wellenleiter einen Multiquantenschacht (**124**) und einen n dotierten Bereich (**214**) aufweist, wobei dieser n dotierte Bereich in dem ersten Wellenleiter angrenzend an dem n dotierten Bereich in dem zweiten Wellenleiter positioniert ist.

7. Eine modulierte Lasereinrichtung nach Anspruch 6, worin dieses Substrat n+ dotiert ist und dieser n dotierte Bereich von diesem zweiten Wellenleiter einen dotierten Bereich (**220**) des p Typs aufweist, der darin ausgebildet ist, um einen p-n-Anschluß für eine elektrische Isolierung dieses Modulators zu bilden.

8. Eine modulierte Lasereinrichtung (**710**), folgendes aufweisend:
 einen ersten Wellenleiter (**712**) mit einem darin ausgebildeten Verstärkungsbereich zum Verstärken von mindestens einem ersten Modes von Licht;
 einen zweiten Wellenleiter (**714**) zum Leiten primär eines zweiten Modes von Licht, wobei dieser zweite Wellenleiter vertikal bezogen auf diesen ersten Wellenleiter, positioniert ist, wobei dieser erste Wellenleiter eine darin ausgebildete laterale Konizität aufweist zum Transferieren dieses ersten Modes von Licht zwischen diesem ersten Wellenleiter und diesem zweiten Wellenleiter, und worin dieser erste Modes von Licht einen effektiven Brechungsindex aufweist, der unterschiedlich ist zum demjenigen von diesem zweiten Modes von Licht; und
 einen dritten Wellenleiter (**716**) mit einem darin ausgebildeten Modulator zum Modulieren eines dritten Modes von Licht, das primär in diesem dritten Wellenleiter fortschreitet, wobei dieser dritte Wellenleiter bezogen auf den zweiten Wellenleiter vertikal positioniert ist, wobei dieser zweite Wellenleiter eine darin ausgebildete laterale Konizität aufweist zum Transfe-

rieren dieses zweiten Modes von Licht zwischen diesem ersten Wellenleiter und diesem dritten Wellenleiter, und worin dieser zweite Modes von Licht einen effektiven Brechungsindex aufweist, der unterschiedlich ist zu demjenigen von dem dritten Modes von Licht.

9. Lasereinrichtung nach Anspruch 8, worin dieser dritte Modes von Licht einen effektiven Brechungsindex aufweist, der geringer ist als derjenige des zweiten Modes von Licht.

10. Eine modulierte Lasereinrichtung nach Anspruch 8 oder 9, worin dieser erste Wellenleiter auf dem oberen Bereich von diesem zweiten Wellenleiter vertikal positioniert ist und dieser zweite Wellenleiter vertikal auf dem oberen Bereich von diesem dritten Wellenleiter positioniert ist.

11. Eine modulierte Lasereinrichtung nach irgendeinem der Ansprüche 8 bis 10, worin dieser dritte Wellenleiter einen Multiquantenschacht-Bereich (736) aufweist.

12. Eine modulierte Lasereinrichtung nach Anspruch 11, worin an dem Multiquantenschacht-Bereich eine Rückwärtsspannung anliegt, die bewirkt, daß dieser dritte Modus von Licht moduliert wird.

13. Eine modulierte Lasereinrichtung nach irgendeinem der Ansprüche 8 bis 12, worin dieser erste Wellenleiter einen p dotierten Bereich (742), einen n dotierten Bereich (744) und einen Multiquantenschacht (730) aufweist, der zwischen dem p dotierten Bereich und diesem n dotierten Bereich positioniert ist.

14. Eine modulierte Lasereinrichtung nach Anspruch 13, des Weiteren aufweisend ein p+ dotiertes oder ein n+ dotiertes Substrat (718), worin dieser dritte Wellenleiter einen Multiquantenschacht (736) sowie einen n dotierten Bereich (750) aufweist.

15. Eine modulierte Lasereinrichtung nach Anspruch 14, worin dieses Substrat n+ dotiert ist und dieser n dotierte Bereich von diesem dritten Wellenleiter einen dotierten Bereich (752) des p Typs aufweist, der darin ausgebildet ist, um einen p-n-Anschluß für eine elektrische Isolierung dieses Modulators zu bilden.

16. Eine modulierte Lasereinrichtung nach irgendeinem der vorstehenden Ansprüche, worin dieser zweite Modes von Licht einen effektiven Brechungsindex aufweist, der geringer ist als derjenige des ersten Modes von Licht.

17. Eine modulierte Lasereinrichtung nach irgendeinem der vorstehenden Ansprüche, worin dieser verstärkende Bereich einen Multiquant-

schacht-Bereich (118, 730) aufweist.

18. Eine modulierte Lasereinrichtung nach irgendeinem der vorstehenden Ansprüche, worin dieser Modulator ein Elektro-Absorptionsmodulator ist.

19. Eine modulierte Lasereinrichtung nach irgendeinem der vorstehenden Ansprüche, worin dieser erste Wellenleiter oder dieser zweite Wellenleiter des Weiteren ein Gitter (128, 711, 1118) aufweist zum predominant Reflektieren einer Frequenz von Licht.

20. Eine modulierte Lasereinrichtung nach irgendeinem der vorstehenden Ansprüche, worin dieser erste Wellenleiter einen verteilten Rückkopplungslaser (DFB) aufweist.

Es folgen 14 Blatt Zeichnungen

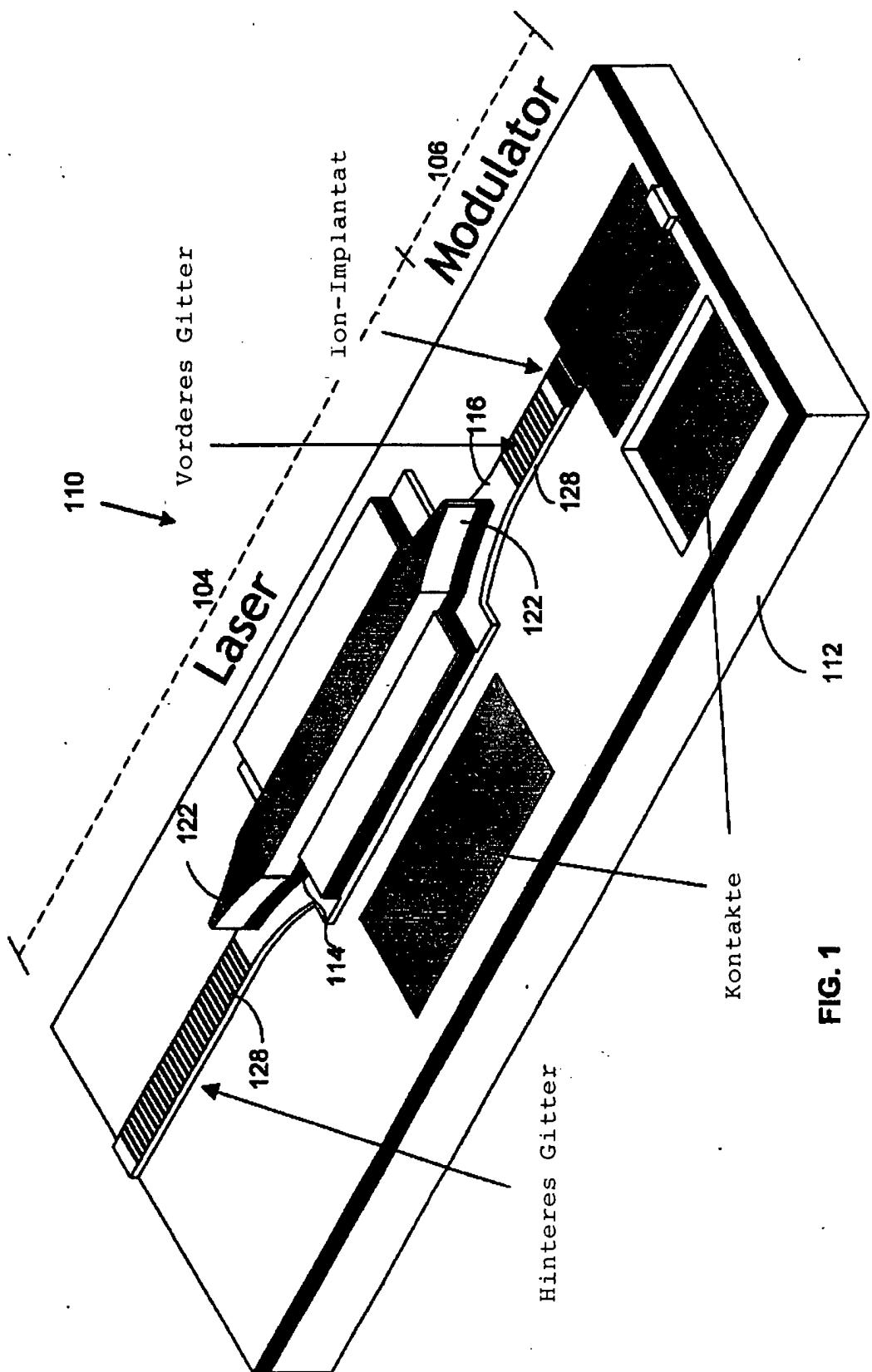


FIG. 1

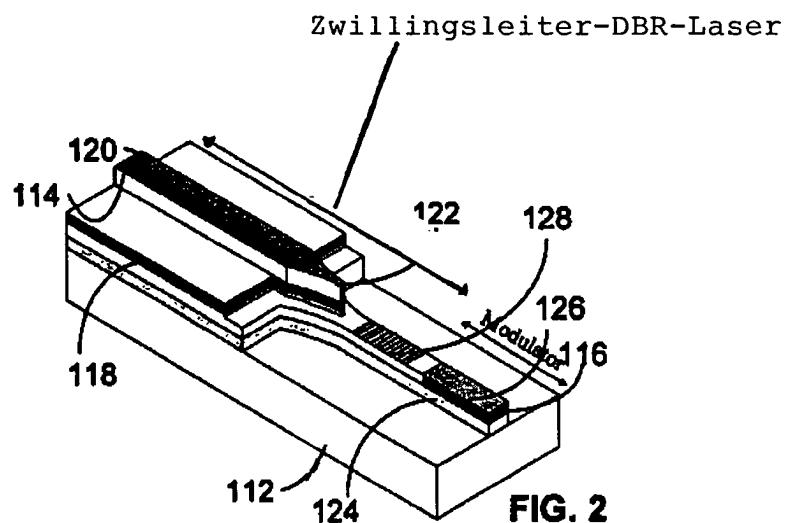


FIG. 2

- MQW-Bereich $\lambda_g = 1,3 \mu\text{m}$ (Laser)
- MQW-Bereich $\lambda_g = 1,25 \mu\text{m}$ (Modulator)
- Kontakte
- p-Diffusion

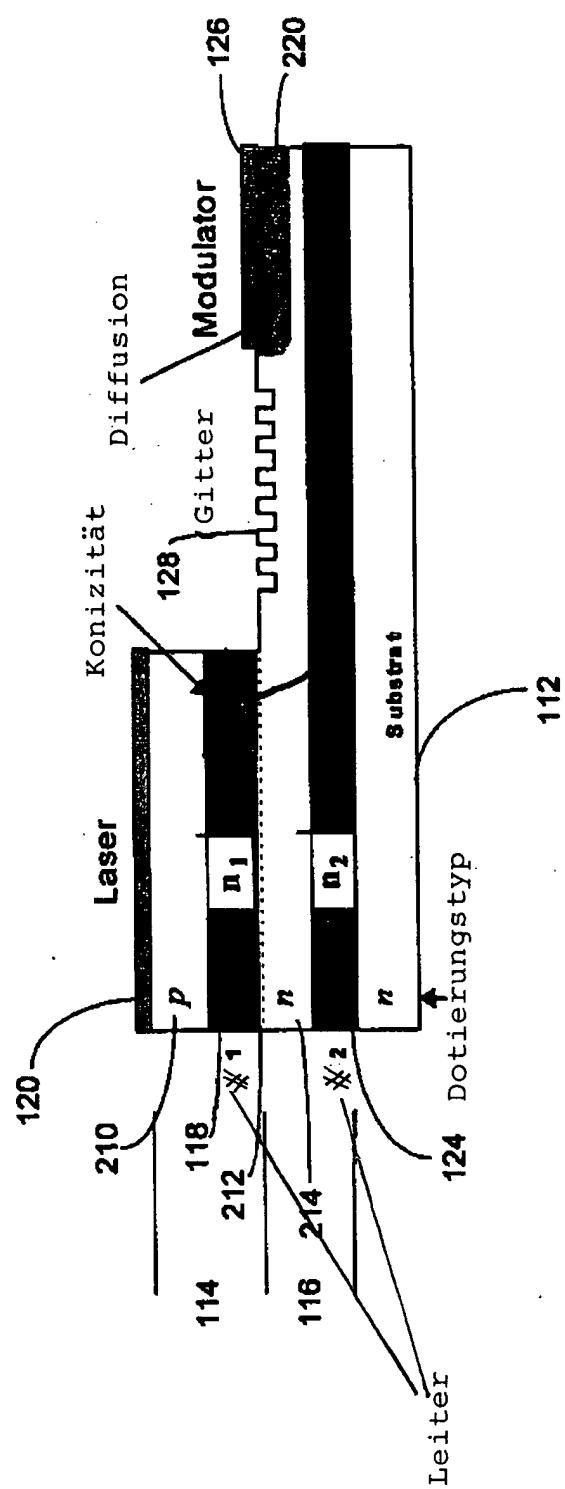


FIG. 3

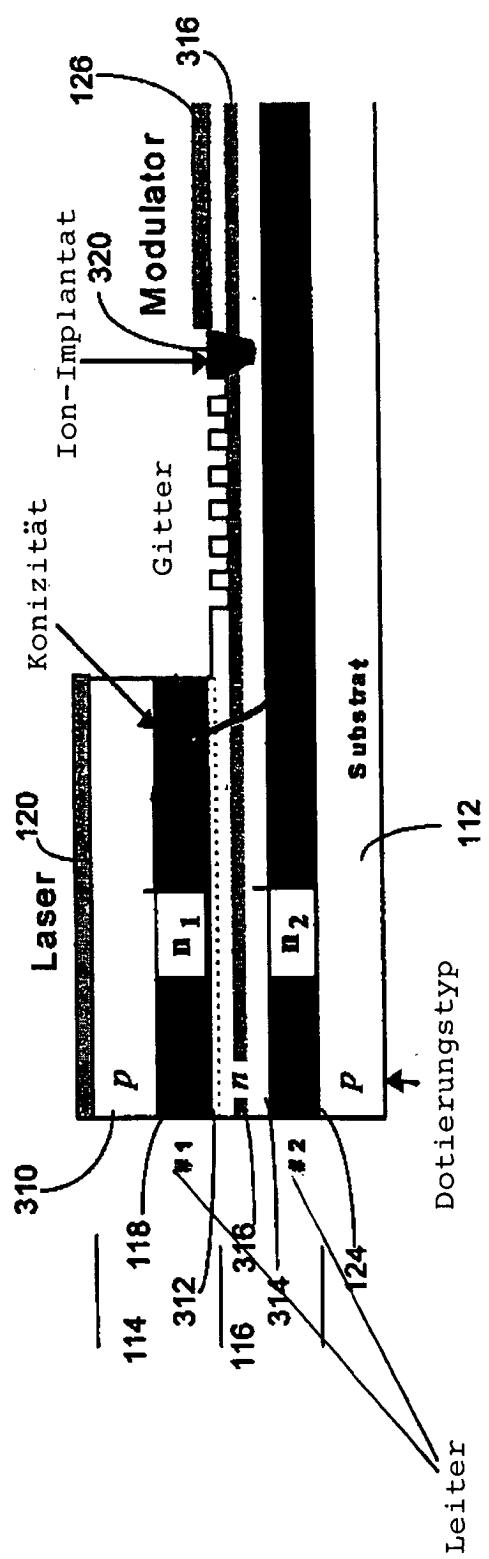
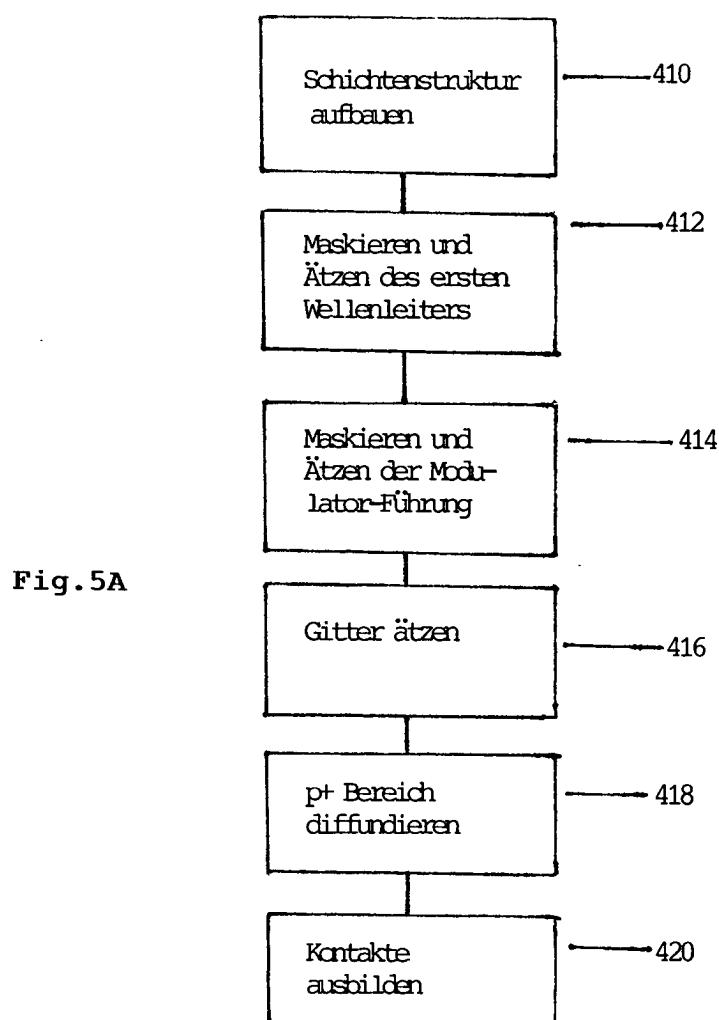
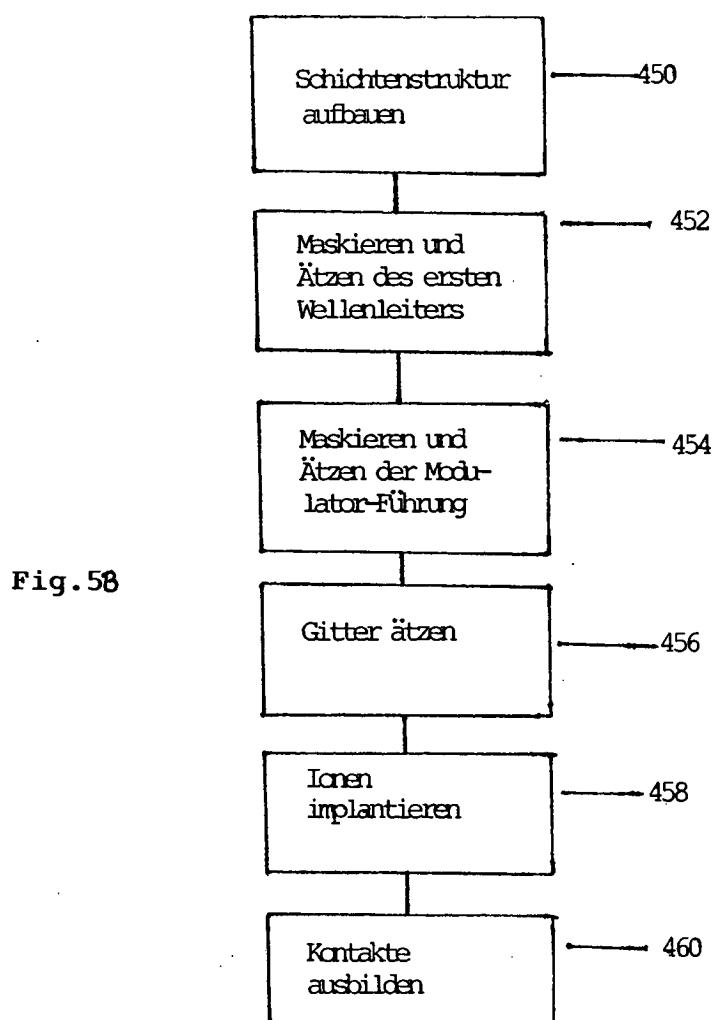


FIG. 4





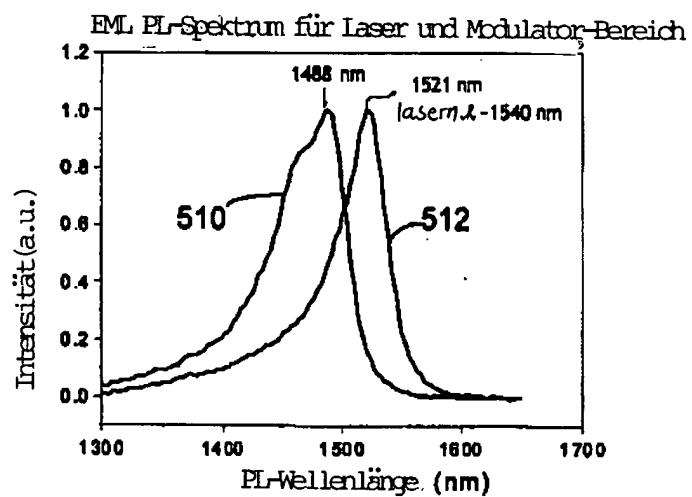


FIG. 6

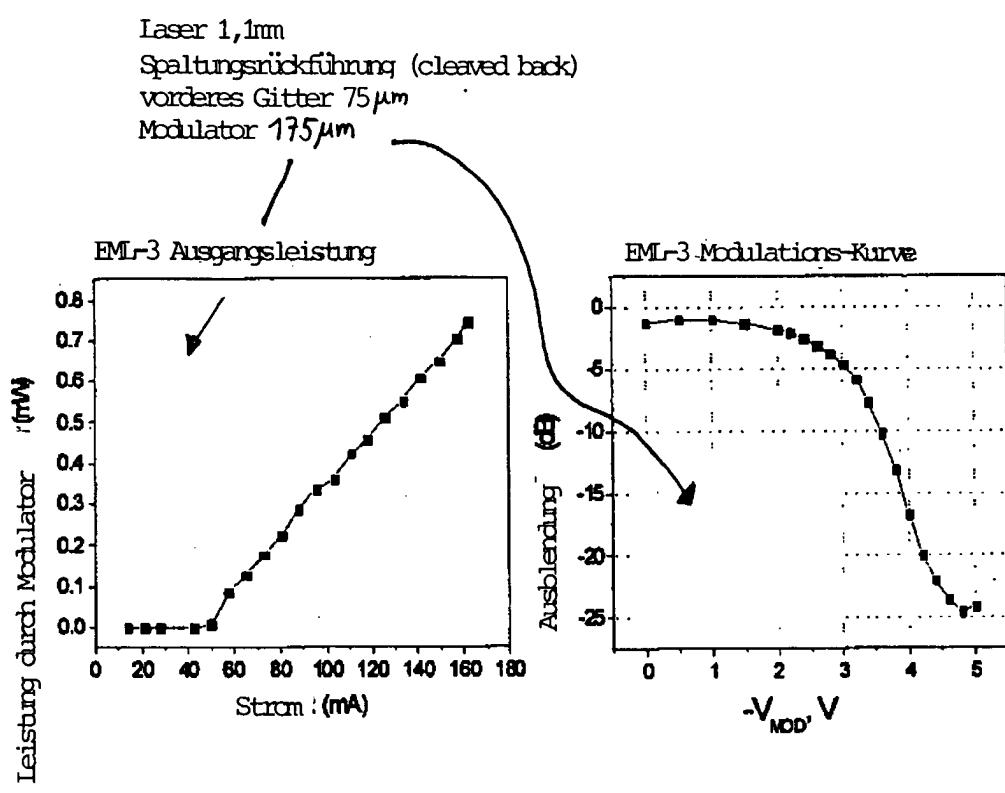


FIG. 7A

FIG. 7B

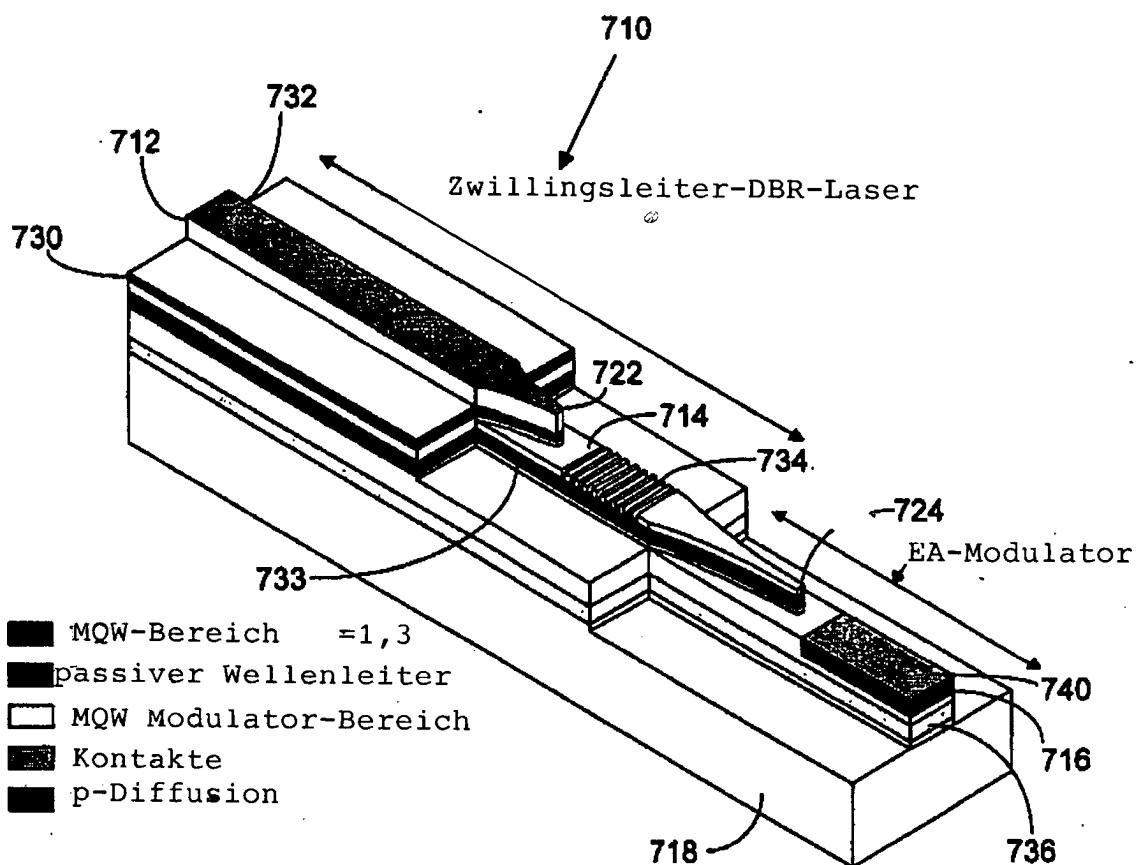


FIG. 8

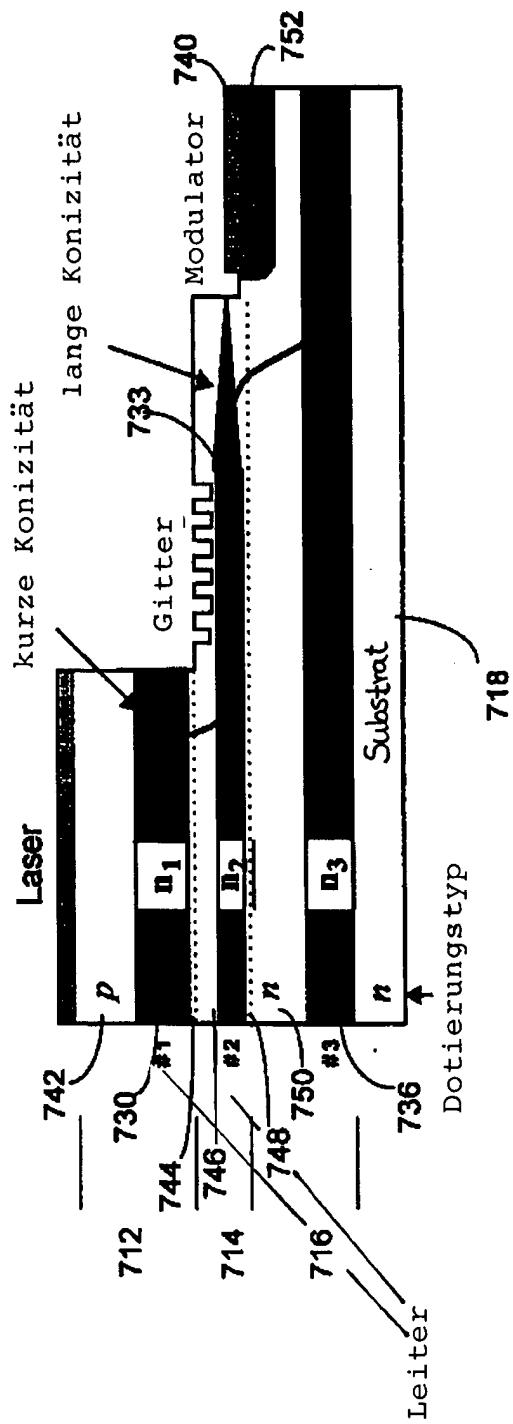
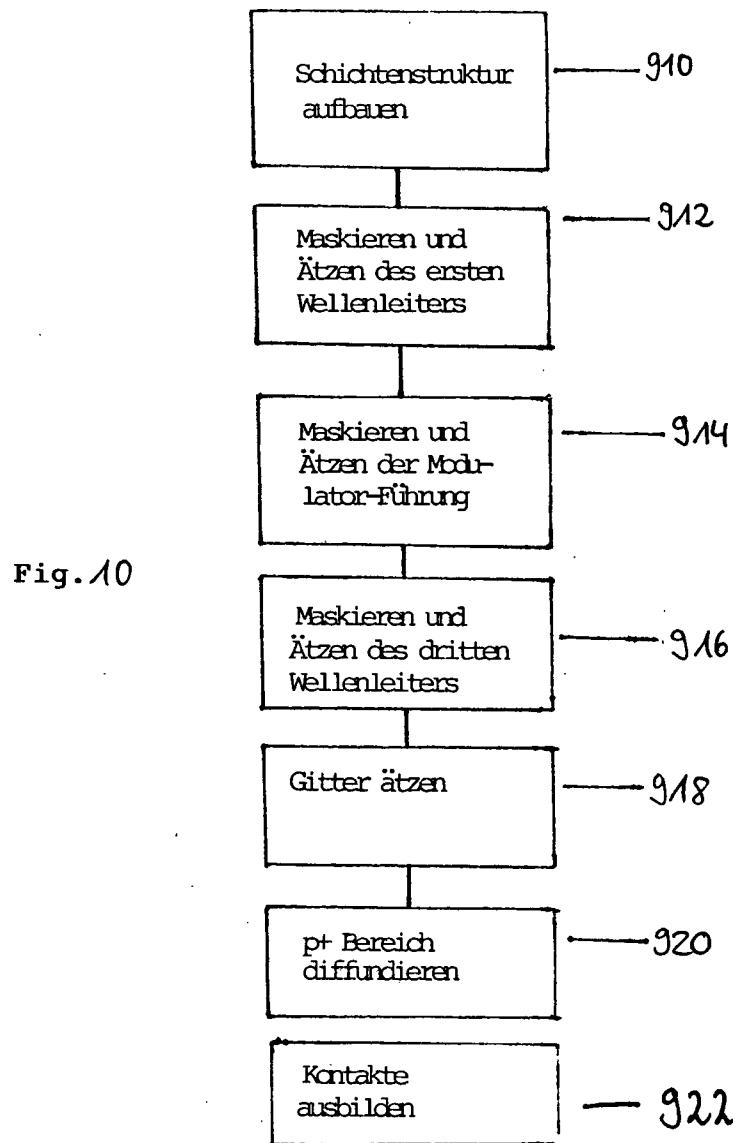


FIG. 9



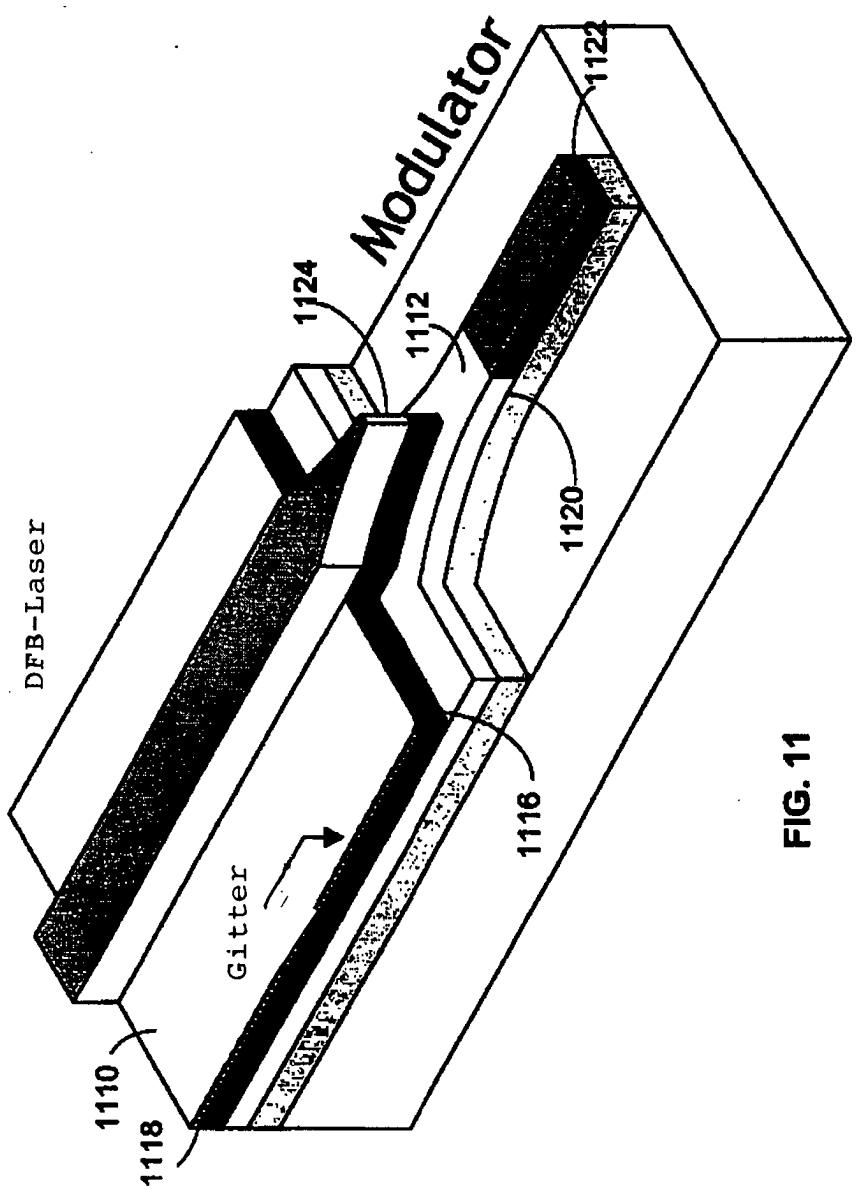


FIG. 11

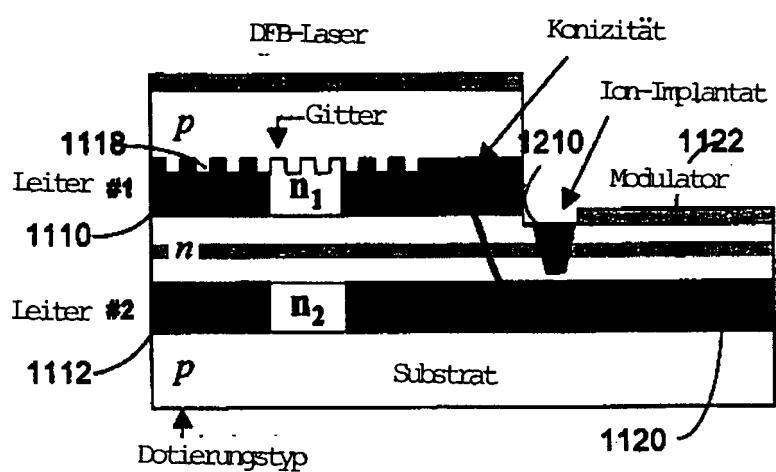


FIG. 12A

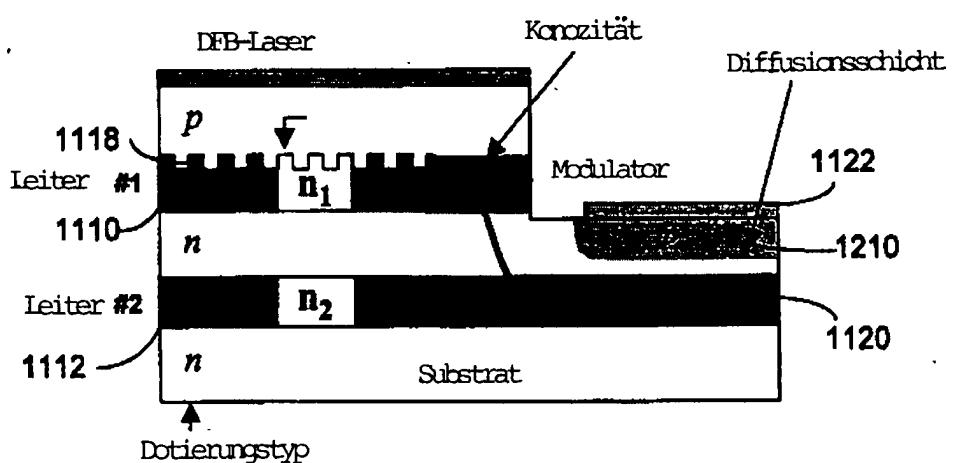


FIG. 12B