Laserdioden und optisch integrierte Elemente

Autor(en): **Salathé, R. P.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **70 (1979)**

Heft 15

PDF erstellt am: **30.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-905406

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Laserdioden und optisch integrierte Elemente

Von R. P. Salathé

621.38 : : 535 : 621.375.826.038.825;

Die streifenförmige Kontaktgeometrie von Laserdioden lässt sich durch Laserlegieren herstellen. Bei diesen Streifenstrukturdioden werden aber die Anwendungsmöglichkeiten eingeschränkt durch Nichtlinearitäten in der Licht-Strom-Charakteristik, durch Einschwingphänomene und durch Multimodebetrieb. Verbesserungen der Diodenstruktur oder Betrieb in einem externen Resonator bringen Vorteile. Integrierte Elemente könnten Laserdioden in Zukunft ersetzen.

La géométrie de contact en bande des diodes laser s'obtient par alliage au laser. L'emploi de ces diodes est toutefois limité par des non-linéarités dans la caractéristique lumière-courant, par des phénomènes transitoires et par le fonctionnement multimode. Des améliorations de la structure de ces diodes ou le fonctionnement dans un résonateur externe présentent des avantages. Des éléments intégrés pourraient remplacer à l'avenir les diodes laser.

1. Aufbau von Doppelheterostruktur-Dioden mit streifenförmigen Kontakten

Laserdioden mit streifenförmigen Kontakten auf der p-Seite sind die zurzeit populärsten Halbleiterlaser für den Dauerstrichbetrieb bei Zimmertemperatur. Sie sind einfach herzustellen und besitzen eine extrapolierte Lebensdauer von ca. 10^6 h. Es handelt sich dabei um eine p-n-Diode, die in Vorwärtsrichtung betrieben wird. In einer dünnen Grenzschicht am Übergang rekombinieren die injizierten Minoritätsladungsträger unter Aussendung von Lichtquanten.

Die Emissionswellenlänge ist im wesentlichen gegeben durch den Bandabstand in der aktiven Schicht. Bei den in der optischen Kommunikation eingesetzten Dioden besteht diese Schicht aus (Al, Ga) As, Ga (As, Sb) oder (Ga, In) (As, P)[1]; die entsprechenden Emissionswellenlängen liegen im Bereich von 0,7...1,7 µm. Das Emissionsspektrum der Dioden ist abhängig vom Anregungsstrom und der Diodenstruktur. Es besteht meistens aus einem oder mehreren longitudinalen Moden. Der Modenabstand, gegeben durch die optische Länge der Diode, liegt im Bereich von $1{,}5...4 \cdot 10^{-10}$ m. Zwei Nachbarschichten mit höherem Bandabstand, 1...2 µm dick, reduzieren Ladungsträgerverluste, indem Potentialbarrieren an den Rändern der aktiven Schicht ausgebildet werden. Gleichzeitig entsteht dadurch ein planarer optischer Wellenleiter mit niederen Verlusten: der Brechungsindex der Nachbarschichten ist kleiner als in der aktiven Schicht. Die zum Laserbetrieb notwendige Rückkopplung erhält man durch Reflexion an zwei parallelen, 150...400 µm auseinanderliegenden Spaltflächen des Kristalls.

Um die Erwärmung in der aktiven Schicht im Dauerstrichbetrieb klein zu halten, wird der Stromfluss durch Oxidabdeckung oder Ionenimplantation auf einen Streifen von 8...15 µm Breite reduziert. Die Herstellung dieser Strukturen kann vereinfacht werden, wenn zum Legieren des p-Kontakts ein Laser verwendet wird. Die hohe örtliche Auflösung des Lasers kann ausgenutzt werden, um mittels geeigneter Optik (Zylinderlinsen, Hologramme usw.) streifenförmige Kontaktzonen zu legieren. Oxidabdeckung oder Protonenimplantation werden dadurch überflüssig. In der oberen Hälfte von Fig. 1 ist der p-Kontakt einer laserlegierten Diode mit einer Streifenbreite von 12 µm dargestellt. Der untere Teil zeigt das Nahfeld der Diode im Betrieb, aufgenommen mit einem IR-empfindlichen Vidikon. Der Diodenspiegel wurde dabei mit einer Wolframlampe beleuchtet. Der Stromfluss beschränkt sich auf den legierten Streifen: die aktive Zone (heller Fleck) befindet sich unmittelbar unter dem p-Kontakt. Die Licht-Strom-(*L-I*-) Charakteristik derselben Diode im Dauerstrichbetrieb ist in Fig. 2 dargestellt. Sie besitzt eine Laserschwelle von 120 mA und einen differentiellen Quantenwirkungsgrad von ca. 15%.

Die Streifenstrukturdioden weisen bezüglich breitbandiger, optischer Kommunikation zwei Nachteile auf. Ihre strahlende Fläche besitzt eine grosse Asymmetrie (Breite/Höhe); dies begrenzt den Kopplungsgrad an Monomodefibern. Das optische Feld wird ferner im planaren Wellenleiter in lateraler Richtung nicht geführt; dies führt zu Instabilitäten in der Lichtemission und Nichtlinearitäten in der Licht-Strom-Charakteristik («Kinks»), welche sich nachteilig auf die Modulationstreue auswirken.

Diese Nichtlinearitäten treten nicht auf in Strukturen mit einem lateralen Wellenleiter wie im «Buried Double Heterostructure» (BDH-) Laser [1], «Transverse Junction Stripe»- [2] (TJS-) oder «Buried Strip» (BS-) Laser [3]. Die Schwellströme von BDH- und TJS-Lasern liegen bei Zimmertemperatur im Bereich von 15...30 mA. Diese Laser besitzen lineare *L-I*-Kennlinien. Sie sind die kleinsten heute bekannten Laser und von der Geometrie der aktiven Schicht her besser geeignet zur Ankopplung an Monomode-Fasern. Wegen ihres kleinen Volumens treten die bei anderen Diodenstrukturen beobachteten Relaxationsoszillationen im Bereich von 100...500 MHz bei ihnen nicht auf. Man kann dadurch mit BDH-Lasern Übertragungsraten bis in den GHz-Bereich erzielen.

2. Rückkopplung

Die Rückkopplung von Licht in die aktive Schicht ändert die *L-I*-Kennlinie und das dynamische und spektrale Verhalten der Laseremission [4]. Eine derartige Rückkopplung kann

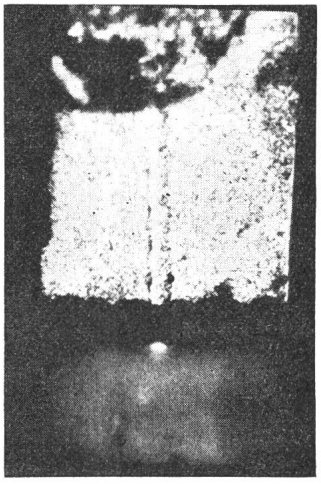

Fig. 1
Doppelheterostruktur (DH) – Diode mit Streifenkontakt hergestellt durch Laserlegieren

Oben: Ansicht p-Kontakt
Unten: Infrarot-Aufnahme des Diodenspiegels

Vortrag, gehalten an der SEV-Informationstagung über «Informationsübertragung mit Glasfasern», am 13. Juni 1979 in Bern.

[1]) Al Aluminium, As Arsen, Ga Gallium, In Indium, P Phosphor, Sb Antimon.

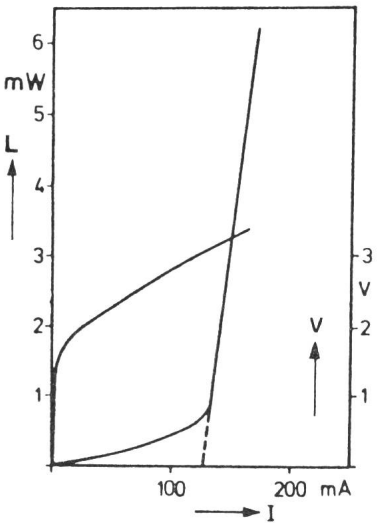

Fig. 2 **Licht-Strom (L–I–) und Spannungs-Strom (V–I–) Charakteristik der in Fig. 1 abgebildeten Diode**

unabsichtlich (z.B. bei Ankopplung an Glasfasern) oder absichtlich (durch externe Spiegel) erfolgen. Bei der Rückkopplung von Licht tritt im Emissionsspektrum eine zusätzliche Modulation auf, die durch die Resonanzen des externen Resonators verursacht wird. In Fig. 3 sind die Spektren einer gepulsten Doppelheterostruktur-(DH-)Diode bei einem konstanten Anregungsstrom von 10% über der Schwelle dargestellt für die isolierte Diode (3a) und im Falle von Rückkopplung an einem ebenen Spiegel mit einem Kopplungsgrad von 0,1%. Der Abstand des Spiegels beträgt eine halbe optische Weglänge des Diodenresonators. Durch die Überlagerung der beiden Resonatoren wird jeder zweite longitudinale Mode der Diode verstärkt; durch genaue Abstimmung der Resonatorlänge kann dabei die eine (3b) oder andere (3c) Modenschar

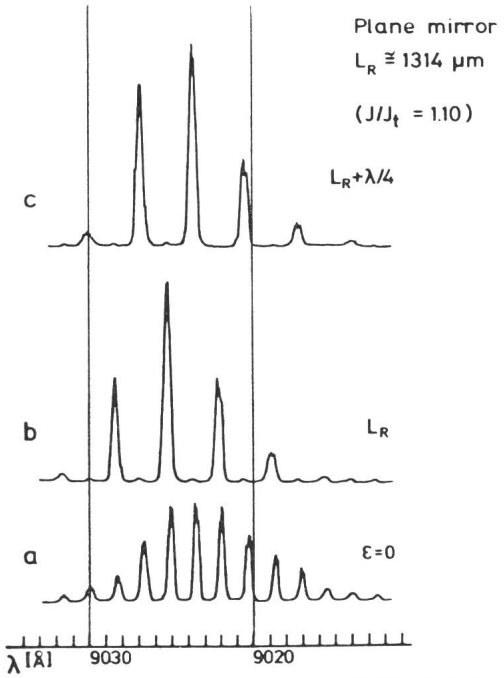

Fig. 3 **Spektra einer gepulsten DH-Diode**

a ungekoppelt

b, c gekoppelt an einen ebenen Spiegel mit einem Abstand L_R, welcher der halben optischen Weglänge des Diodenresonators entspricht

selektioniert werden. Wird der Abstand des externen Spiegels auf etwa 200 µm oder weniger reduziert, so lässt sich die Emission auf einen longitudinalen Mode einschränken. Durch die Rückkopplung des Lichts ändern sich zusätzlich die Frequenz ω_0 und die Dämpfungskonstante τ_0 der Relaxationsoszillation: Mit zunehmender Kopplung nimmt ω_0 ab und τ_0 zu. Dieser Effekt kann zur Dämpfung der Relaxationsoszillationen benützt werden [5].

3. Integrierte Strukturen

Diodenlaser mit externem Resonator können heute auch in monolithisch integrierter Form hergestellt werden. Dazu muss das in der aktiven Schicht erzeugte Licht in einen verlustarmen, passiven Wellenleiter des gleichen Kristalles überführt werden. In (Al, Ga) As- und (Ga, In) (As, P)-Kristallen werden diese passiven Wellenleiter mit derselben Technik hergestellt wie die Laserstrukturen. Der Bandabstand der passiven Wellenleiterschicht muss etwas grösser sein als in der aktiven Schicht, damit die Absorptionsverluste im passiven Wellenleiter klein bleiben. Das Licht kann von einer aktiven in eine passive Wellenleiterschicht gekoppelt werden entweder über ein keilförmig auslaufendes Schichtende («taper coupling»), oder indem aktive und passive Schicht über eine Länge von 0.1...1 mm mit einem Abstand in der Grössenordnung der Lichtwellenlänge parallel geführt werden, sog. «twin guide coupling» [6]. Das Prinzip des «taper coupling» (TC) ist in Fig. 4 dargestellt. Eine in der Schicht mit dem höchsten Brechungsindex durch Totalreflexion geführte Welle trifft, von links herkommend, auf das keilförmig auslaufende Ende. In diesem Endstück werden die Reflexionswinkel derart verändert, dass in einem bestimmten Punkt der Grenzwinkel zur Totalreflexion unterschritten wird. Dadurch wird das Licht in die darunterliegende passive Schicht gekoppelt. Kopplungsgrade von bis zu 70% in (Al, Ga) As-Schichten sind so experimentell erreicht worden [7].

In Fig. 5 ist der Aufbau eines TC-Lasers schematisch dargestellt in einem Längsschnitt (oben) und in einer Ebene parallel zur aktiven Schicht (unten). Der linke Teil des Elementes (Fig. 5 oben) entspricht einem DH-Laser mit Streifenstruktur. Der rechte Teil besteht aus einem passiven Wellenleiter. Das Licht wird in der rein schraffiert dargestellten, aktiven Zone erzeugt und mittels Taper in die darunterliegende Wellenleiterschicht aus $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ gekoppelt. Die zur Rückkopplung notwendigen Spiegel werden durch zwei parallele Spaltflächen am linken Ende der aktiven, bzw. am rechten Ende der passiven Schicht gebildet. Der Schwellstrom im Dauerstrichbetrieb liegt im Bereich von 300 mA. Er ist etwa 30% höher als in kurzen Kontrolldioden, hergestellt aus aktivem Material aus demselben Substrat. Das Licht wird durch den Taper in einen planaren, passiven Wellenleiter gekoppelt. Der Kopplungsgrad zwischen aktivem und passivem Teil wird durch Beugungsverluste in lateraler Richtung (Fig. 5 unten) begrenzt. Die Resonatorgeometrie ist instabil, da in lateraler Richtung kein Wellenleiter vorhanden ist. Die entsprechende *L-I*-Kennlinie ist oberhalb der Schwelle nichtlinear (Fig. 6, gestrichelte Kurve). Passive, dreidimensionale Wellenleiter sind mit demselben Verfahren wie BS-Laser [3] hergestellt worden. Die *L-I*-Kennlinie eines TC-Lasers mit einem derartigen passiven Wellenleiter ist ebenfalls in Fig. 6 dargestellt. Sie ist linear und besitzt einen höheren Quantenwirkungsgrad. Der entsprechende TC-Laser emittiert oberhalb der Schwelle in einem einzigen longitudinalen Mode.

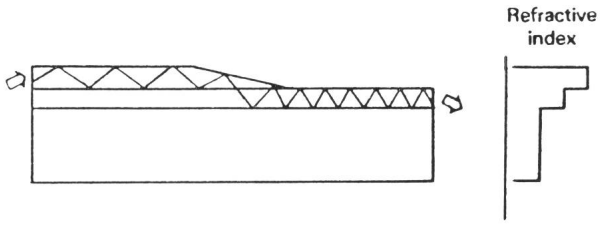

Fig. 4 Prinzip des Taper Couplings in einem zweischichtigen planaren Wellenleiter (links) und entsprechendes Brechungsindexprofil (rechts)

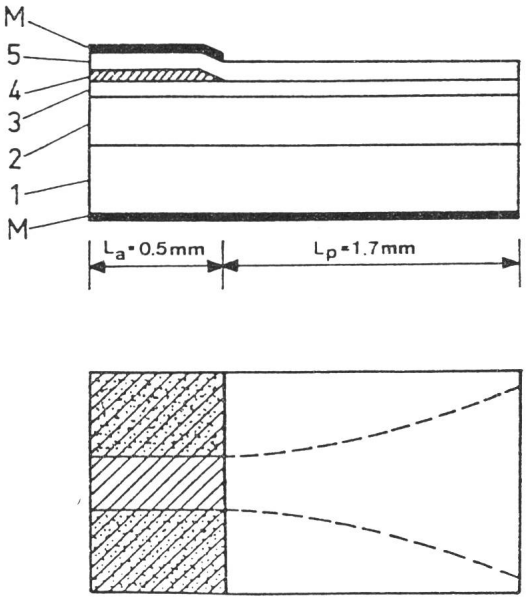

Fig. 5 Schematischer Aufbau eines Taper Coupled (TC-) Lasers im Längsschnitt (oben) und in der Ebene der aktiven Zone (unten)

Die aktive Zone ist schraffiert, das ionenimplantierte Gebiet punktiert und die metallisierten Zonen (M) schwarz dargestellt. Schichtfolge:

1 n-GaAs (100 µm dick, Substrat)
2 n-$Al_{0.36}Ga_{0.64}As$ (3 µm)
3 n-$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ (0,9 µm, passiver Wellenleiter)
4 p-GaAs (0,2 µm, aktive Schicht)
5 p-$Al_{0.36}Ga_{0.64}As$ (3 µm)

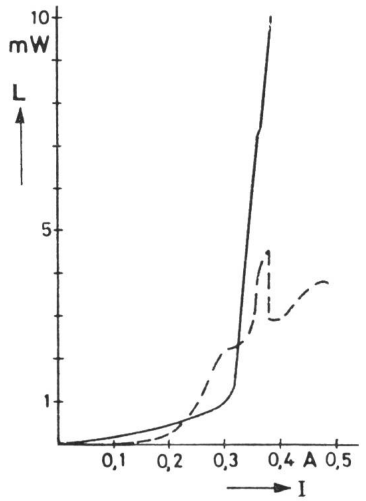

Fig. 6 Vergleich der Licht-Strom-Charakteristik eines TC-Lasers mit planarem, passivem Wellenleiter (gestrichelt) mit einem TC-Laser mit dreidimensionalem passivem Wellenleiter (ausgezogen)

«Integrated Twin Guide» (ITG-) Laser [8] und TC-Laser stellen eine Vorstufe einer ersten Generation von monolithisch integrierten Elementen dar. Auf die langen, passiven Wellenleiter dieser Strukturen können weitere Elemente integriert werden:

– Modulatoren, indem metallische Kontakte auf den passiven Wellenleiter aufgedampft werden und die passive Seite in Sperrrichtung betrieben wird [9];
– Wellenleiterschalter mit parallel geführten dreidimensionalen Wellenleitern [10] oder vertikalen Schichtstrukturen [11];
– Koppelelemente, indem Gitter mit einer Periodizität im Wellenlängenbereich der Dioden durch Fotolithografie auf dem aktiven oder passiven Teil hergestellt werden.

Mit Gitterstrukturen kann auch eine wellenlängenselektive Rückkopplung erreicht werden: Wenn die Periode des Gitters einem ganzzahligen Vielfachen der halben Wellenlänge entspricht, wird ein Teil der im Wellenleiter sich fortpflanzenden Welle reflektiert. Entsprechende Elemente, «distributed feedback» (DFB) [12] oder «distributed bragg reflector» (DBR) [13]-Laser brauchen keine Spiegel und können in Planartechnologie hergestellt werden. Ihre Emissionswellenlänge ist innerhalb der spontanen Linienbreite durch die Periodizität der Struktur festgelegt. Schon heute können mehrere Elemente auf einem Substrat integriert werden. So sind zum Beispiel in einem Labormodell 6 DFB-Laser mit verschiedenen Emissionsfrequenzen auf demselben Kristall aufgebaut und an einen gemeinsamen passiven Wellenleiter gekoppelt worden [14].

Das Ziel all dieser Entwicklungen besteht darin, dass mit monolithisch integrierten Elementen in zukünftigen optischen Übermittlungssystemen ein möglichst grosser Anteil der Signalverarbeitung direkt optisch durchgeführt werden kann. Neben einem einfacheren Systemaufbau verspricht man sich davon auch eine bedeutende Steigerung der Übermittlungskapazität.

Literatur

[1] *T. Tsukada:* GaAs-$Ga_{1-x}Al_xAs$ buried-heterostructure injection lasers. J. Appl. Physics 45(1974)11, p. 4899...4906.
[2] *H. Namizaki* a.o.: Transverse-junction-stripe-geometry double-heterostructure lasers with very low threshold current. J. Appl. Physics 45(1974)6, p. 2785 to 2786.
[3] *W.T. Tsang, R.A. Logan* and *M. Ilegems:* High-power fundamental-transverse-mode strip buried heterostructure lasers with linear light-current characteristics. Appl. Physics Letters 32(1978)5, p. 311...314.
[4] *C. Voumard, R. Salathé* and *H. Weber:* Resonance amplifier model describing diode lasers coupled to short external resonators. Appl. Physics 12(1977)12, p. 369...378.
[5] *K. Kobayashi, R. Lang* and *K. Minemara:* Novel optical methods for high speed direct modulation of semiconductor lasers. Proceedings of the 7th Conference on Solid State Devices, Tokyo, 1975. Supplement of Japanese Journal of Applied Physics 15(1976), p. 281...287.
[6] *L.O. Wilson* and *F.K. Reinhart:* Coupling of nearly degenerate modes in parallel asymmetric dielectric waveguides. Bell System Techn. J. 53(1954)4, p. 717...739.
[7] *F.K. Reinhart* and *R.A. Logan:* GaAs-AlGaAs double hetero-structure lasers with taper coupled passive waveguides. Appl. Physics Letters 26(1975)9, p. 516...518.
[8] *Y. Suematsu, M. Yamada* and *K. Hayashi:* A multi-hetero-AlGaAs laser with integrated twin guide. Proc. IEEE 63(1975)1, p. 208.
[9] *F.K. Reinhart* and *R.A. Logan:* Integrated electro-optic intracavity frequency modulation of double-heterostructure injection laser. Appl. Physics Letters 27(1975)10, p. 532...534.
[10] *J.C. Shelton, F.K. Reinhart* and *R.A. Logan:* Rib waveguide switches with MOS electrooptic control for monolithic integrated optics in GaAs-Al_xGa_{1-x}As. Appl. Optics 17(1978)16, p. 2548...2555.
[11] *J.L. Merz* and *R.A. Logan:* Dual beam laser: A GaAs double-cavity laser with branching output waveguides. Topical Meeting on Integrated and Guided Wave Optics, January 16...18, 1977 Salt Lake City, Utah, p. MD7–1...MD7–4.
[12] *M. Nakamura* a.o.: CW operation of distributed-feedback GaAs-GaAlAs diode lasers at temperatures up to 300 °K. Appl. Physics Letters 27(1975)7, p. 403...405.
[13] *F.K. Reinhart, R.A. Logan* and *C.V. Shank:* GaAs-$Al_xGa_{1-x}As$ injection lasers with distributed Bragg reflectors. Appl. Physics Letters 27(1975)1, p. 45...48.
[14] *K. Aiki, M. Nakamura* and *J. Umeda:* Frequency multiplexing light source with monolithically integrated distributed feedback diode lasers. Appl. Physics Letters 29(1976)8, p. 506...508.

Adresse des Autors

Dr. phil.nat. *R.P. Salathé*, Institut für angewandte Physik, Universität Bern, Sidlerstrasse 5, 3012 Bern.