集

CATV**伝送用光デバイス**

Semiconductor Laser Diode Module for Optical CATV Transmission

あらまし

1,310 nm帯アナログ映像伝送用光源として,光出力が11 dBm以上の高出力動作時にお いても十分な低歪み特性を持つ半導体レーザモジュールを開発した。さらに,1,550 nm 帯ディジタル映像伝送用光源として,FMレスポンスが100 MHz/mA以下の低チャープ 半導体レーザを開発し,60 km伝送後でも十分な低歪み特性を実現した。

Abstract

We have developed a 1,310 nm laser module for analog video transmission that has low distortion characteristics at an optical output power over 11 dBm. In addition, we have developed a 1,550 nm laser module for digital video transmission that has an FM response of less than 100 MHz/mA and offers sufficiently low distortion even after a 60 km transmission. This paper describes the transmission performance of these devices.



河村浩充(かわむら ひろみつ)

富士通カンタムデパイス(株)光デパ イス事業部第一技術部 所属 現在,半導体レーザの開発に従事。



近藤真人(こんどう まこと)

富士通カンタムデバイス(株)光デバ イス事業部第一技術部 所属 現在,半導体発光素子の開発に従事。



島 克人(しま かつひと)

富士通カンタムデバイス(株)光デパ イス事業部所属 現在,半導体レーザの開発・製造に 従事。

CATV伝送用光デバイス

まえがき

近年,インターネットの急速な普及に伴い,既存の電 話回線の伝送能力が限界にきているため,ネットワーク の高速化が必要となってきている。

光ファイバと同軸ケーブルから構成されたHFQ(Hybrid Fiber Coaxial システムは、最も有望な高速ネットワーク の一つで、CATVを中心に導入されつつある。インター ネットはパケット交換を基本としているため、伝送容量 の増加に対しても、ノード・サイズを細分化するだけで リアルタイムの通話性を維持できることがHFCシステム の利点である。とくに北米では、CATVの普及率が高く、 1990年には80%以上の世帯が何らかの形でCATVに加入し ている。このため、莫大な投資が必要な回線交換機能を もたせなくても、ノードまでの同軸ケーブルを光ファイ バに置き換えるだけで、ネットワークの高速化を実現す ることが可能である。

また,1996年2月にアメリカ合衆国上下両院において 通信法改正案が可決され,規制が緩和されたこともCATV を中心としたネットワークの高速化に拍車をかけた。既存 のアナログ映像伝送を行うCATVシステムでは,1,310 nm 帯光源が用いられ,低歪みで雑音の少ない発光デバイス が必要とされる。さらに,最近のディジタル映像伝送方 式では,ファイパアンプを併用して波長多重通信を行う ことが多く,1,550 nm帯光源が用いられる。このシステ ムでは光ファイバの分散による歪を低減するため,波長 揺らぎの少ない光デバイスが必要とされる。

本稿では,これらのCATV伝送用半導体レーザモジュー ルの基本性能について述べる。

アナログ CATV 伝送用半導体レーザ

AM-VSB変復調方式

CATV伝送システムは、従来のTV放送に用いられる AM-VSBアナログ信号を搬送波に重量させて同軸ケーブ ルを伝送させる方式で、特別な回路を用いなくても伝送 システムを構築できるため、北米を中心に広く普及して きた。ところが、近年の多チャネル化に伴い、とくに長 距離伝送を行う場合、従来の同軸ケーブルとブースタア ンプでは映像品質が低下するため、低損失な光ファイバ への置換えが進んだ。

レーザチップ

このような光CATV伝送システムに用いられる光源に対しては,直線性に優れ,低歪みであることに加えて,高 出力で動作することが求められる。これは,長距離伝送 や多分岐においても十分な信号レベルを確保し,良好な 信号対雑音比を得るためである。したがって,高出力時 においても低歪みであることがレーザチップの基本的な 設計指針となる。以下に,開発したレーザチップの構造 と特性について述べる。

【構造】

典型的なレーザチップ構造を図-1に示す。活性層は,有 機金属気相成長法(以下,MOCVD法)により作製した多 重量子井戸構造(以下,MQW構造)を採用している。この MQW構造は,従来のバルク構造と比較して微分利得が大 きく,とくに高周波での歪み低減に効果がある。また, 活性層の内部損失が低減したため,発光効率が大幅に増 加するという利点もある。

活性層の下方には回折格子が施してあり,分布帰還型 (DFB)半導体レーザを構成している。このDFBレーザ構 造は,ファブリペロー型レーザと比較して単一波長で発 振するため,モード競合による雑音が少ないのが大きな 特徴である。活性層の埋込みには独自に開発したFBH (Flat-surface Buried Hetero-structure)構造を採用してお り,電流が有効に活性層に注入されるので,漏れ電流に よる歪みの発生を抑制している。

レーザチップの前端面および後端面には,それぞれ低反 射膜および高反射膜を施しており,その結果,前端面から 高い光出力が得られ,前方向発光効率として0.5 mW/mA 以上を実現している。

【低歪み設計】

半導体レーザをアナログ変調した場合,緩和振動によ る歪みに加えて,漏れ電流に伴う歪み,さらに軸方向 ホールバーニング⁽¹⁾に起因する歪みが発生する。緩和振動 による歪みがバイアス電流の増加に伴い小さくなるのに 対して,漏れ電流や軸方向ホールバーニングに起因する 歪みはバイアス電流の増加に伴い大きくなる。したがっ



図-1 レーザチップ構造 Fig.1-Schematic structure of laser chip.

て,高出力で動作させる場合には漏れ電流や軸方向ホー ルパーニングに起因する歪みを低減する必要がある。

以下に,これらの歪み低減を実現するための要素技術 を述べる。

(1) 規格化結合係数 L の最適化

レーザ電流())対光出力(L)特性(以下,I-L特性)の直 線性は,軸方向の周期的な屈折率変化の度合いを表す結 合係数 と共振器長Lの積である規格化結合係数 Lや回 折格子の端面位相に大きく依存する。パイアス電流を増 加させて活性層内の光密度を大きくした場合,軸方向 ホールパーニングという現象が原因で共振器方向の光強 度分布が変化する。

このため、レーザチップの前端面から出射される光出 力は、パイアス電流に比例せず、I-L 特性の直線性が損な われる。また、アナログ変調した場合、パイアス点を中 心として光出力が変動するが、前述した軸方向ホール パーニングが大きいと閾値利得が変化し、このパイアス 点をふらつかせる作用⁽²⁾を与えるため歪みが増大する。し たがって、規格化結合係数 <u>L</u>や回折格子の端面位相の最 適化が歪みの低減に必要不可欠となる。レーザチップ端 面位相は劈開位置に依存するため、製造上のばらつきが 制御困難であるが、規格化結合係数 <u>L</u>を最適化すること により、直線性に優れたレーザチップを作り出すことに 成功した。

(2) 狭メサ構造

埋め込み構造を採用したレーザチップの場合,活性層 脇を流れる漏れ電流がpn接合を通過するために歪みが発 生する。この原因は,レーザチップへ注入される電流が 活性層を流れる電流と活性層脇を流れる漏れ電流に分か れ,その分岐比率がレーザチップへの注入電流に応じて 変化するためである。したがって,活性層脇のpn接合面 積をできる限り小さくすることが漏れ電流による歪みを 低減するのに有効である。活性層に沿って両側の埋め込 み領域に図1のように活性層を含むストライプ状のメサ領 域を設けることにより,活性層脇のpn接合面積を減らす ことができる。このメサ幅をできる限り狭くすることに より,低歪み特性は実現される。

信頼性

レーザチップに対して,長期高温通電試験(70 , 20 mW)を行った場合の歪み特性の変動を調査した結果を 図-2に示す。横軸は通電時間,縦軸は複合2次歪み (CSO)である。歪み特性は,レーザチップ温度を25 に 戻し,光出力Po = 10 mWにバイアスして測定した。2,000 時間経過後まで,-57 ~ -70 dBc程度の良好な値が全素



図-2 高温通電試験を行った場合の歪み特性変動 Fig.2-CSO stability for high temperature ACC condition.

子について維持されている。有意な劣化は見られず, 歪 み特性に関しても高い信頼性があることを実証した。

歪み特性の変動要因としては、軸方向ホールパーニン グに影響を与える屈折率周期構造の変化や、漏れ電流の 増加、動作電流の変化が考えられる。図-2の結果は、長 期高温通電を行っても屈折率周期構造に変化は現れない こと、また歪みに影響を与えるほどの漏れ電流の増加を 引き起こす動作電流の劣化がないためと推定される。

パッケージ

アナログCATV伝送システムに用いられるパッケージに 対しては,光学的に反射の少ないことが求められる。こ れは,レーザチップの歪み特性や雑音特性は反射による レーザへの戻り光に対して不安定なためで,反射の少な い光学設計が重要となる。以下に,最適化設計を中心と したパッケージの構造について述べる。 【構造】

パッケージは,パタフライ型で長さ約30 mm,幅約 15 mm,高さ約10 mmである。レーザモジュールの外観 を図-3に,レーザモジュールの構造模式図を図-4に示 す。レーザチップの歪み特性・雑音特性が反射戻り光に よって影響を受けることを避けるため,アイソレータを 内蔵することにより安定した低雑音特性・低歪み特性を 実現している。

光学結合系は2個のレンズで構成し,約65%の高い光 学結合効率を実現しているとともに,YAG溶接技術を用 いて固定することにより高い信頼性を得ている。サーミ スタ素子とペルチェ素子を内蔵し,レーザチップを一定 温度に温度制御し安定動作を確保している。また,モニ タ用フォトダイオードを用いて一定出力で動作できるよう になっている。さらに,RF入力端子とレーザチップの間 はストリップライン基板で接続され,周波数応答特性が

CATV伝送用光デバイス



図-3 レーザモジュールの外観 Fig.3-Photograph of laser module.



図-4 レーザモジュールの構造模式図 Fig.4-Schematic structure of laser module.

平坦で光変調度を各チャネルで一定に設定した場合に, 電気的なRF入力電力のチャネル間のレベル偏差が1dB以 下に抑えられる設計となっている。

【信頼性】

パッケージでの信頼性で重要な項目は,レーザチップ とピグテイルファイバ間の光結合効率の安定性である。 Ta = +85 における長期高温放置試験を行った場合の光 出力変動の経時変化を図-5に示す。2,000時間経過後も光 出力の変動 Pfは±10%以内であり,有意な光出力の変 動は見られず高い信頼性が得られている。

特性

米国での標準的な搬送波の周波数配置(NTSCフォーマット)による110チャネルのアナログ信号(55.25-745.25 MHz) を約28 km(光損失 = 10 dB)の光ファイバを伝送したと きの歪み特性を図-6に示す。図は,周波数54 MHzと 746.5 MHzにおける複合2次至(CSO),および周波数 433.25 MHzと745.25 MHzの複合3次至(CTB)を歪み特性 の代表値として示している。

また,同じ条件での信号対雑音比(CNR)特性を図-7に 示す。55.25 MHzと745.25 MHzにおける信号対雑音比を 縦軸にとっている。歪み特性としては,ファイバ端光出 カ11 dBmにおいて,CSO - 57 dBc,CTB - 65 dBc が得られ,CNR特性としては,ファイバ端光出力Pf = 11 dBmにおいてCNR 51 dBが得られている。



図-5 長期高温放置試験

Fig.5-High temperature storage test.



図-6 CSO, CTB特性 Fig.6-CSO and CTB characteristics.



光出力が比較的低い領域では,レーザチップの緩和振動による歪みが支配的であるため,発生する歪みが周波数依存性を持つ。光出力が高い領域では,周波数依存性を持たない軸方向ホールパーニングに起因する歪が支配的になるため,重複度に比例した歪となる。この光出力

CATV伝送用光デバイス



Fig.9-CTB characteristics.

が高い領域では、CSOの位相がバイアス電流によらず安定で、歪み補償回路の調節が容易であり、歪み補償回路 と組み合わせることによりシステム特性のさらなる向上 が期待できる。

ディジタル CATV 伝送用半導体レーザ

QAM変復調方式

近年,映像伝送を含む様々なデータ通信をQAM多値位 相変復調方式により伝送する方式が普及しつつある。この 方式では,光増幅器(EDFA)を使用して波長多重(WDM) 方式を用いることが多く,1,550 nm帯の半導体レーザが 使用される場合が多い。

レーザチップ

従来の光CATV網に敷設された1,310 nm帯ゼロ分散ファ イバに1,550 nm帯の光信号を伝送すると,ファイバ分散に より波形歪みが生じる。したがって,光源である1,550 nm 帯半導体レーザチップには,波長揺らぎ(以下,波長 チャープ)を小さくし,ファイバ分散による波形歪みを低 減することが必要となる。著者らは,MQW活性領域への 光閉じ込め量に着目し,低波長チャープを実現するため の構造の最適化を図り,波長チャープの指標であるFMレ スポンス FM 100 MHz/mAのチップを開発した。

FMレスポンスの測定結果を図-8に示す。200 MHz, 600 MHz, 1GHzの実用動作領域において,周波数によ らず FM 100 MHz/mAが実現されていることが分 かる。

特性

さらに,このチップをモジュールに実装して,実用シス テムに近い8チャネルの歪み特性を評価した結果を図-9 に示す。1,310 nm ゼロ分散ファイパ60 km伝送させた後に おいても,複合3次歪みCTB - 60 dBの低歪み特性が 得られている。

むすび

これまで述べてきたように,CATVシステムにおいて は,光ファイバへの置き換えが進み,高性能な半導体 レーザが必要とされてきた。このため,Head-Endからの アナログ映像伝送用として,光出力が11 dBm以上の高出 力動作時においても十分な低歪み特性を持つ1,310 nm帯 半導体レーザモジュールを開発した。

ところが,近年このCATVシステムにおいては,従来の アナログ伝送方式からディジタル伝送方式へと徐々に移 行しつつある。このシステムでは,さらなる多チャネル 化を実現するため,光増幅器(EDFA)を用いた波長多重 (WDM)伝送方式を採用しており,1,550 nm帯の光源が必 要とされている。このようなディジタル映像伝送用光源 として,FMレスポンスが100 MHz/mA以下の低チャープ な1,550 nm帯半導体レーザを開発し,60 km伝送後でも十 分な低歪み特性を実現した。

一方,ネットワークの双方向伝送化が進むにつれ,上 リ伝送用の半導体レーザの需要も増加すると予測され る。これまで確立してきた要素技術に加えて新技術の開 発を進め,これらの新市場に対応できる製品開発を推進 していく。

参考文献

- H. Soda, et al. : Stability in Single Longitudinal Mode Operation In InGaAsP Phase-Adjusted DFB Laser. *IEEE J. Quantum Electron.*, QE-23, pp.804-814, 1987.
- (2) H. Kawamura, et al. : Effect of Varying Threshold Gain on Second Order Inter-Modulation Distortion in Distributed Feedback Lasers. *Electron Lett.*, 26, 20, pp.1720-1721(1990)