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)

富士通カンタムデバイス(株)光デバ 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)

富士通カンタムデパイス(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。

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HFC(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,ファイバ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变復調方式

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パーニング(*)に起因する歪みが発生する。緩和振動による歪みがパ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パーニングに起因する歪みはパイアス電流の増加に伴い大きくなる。したがっ

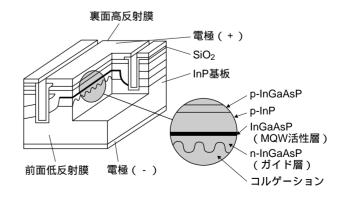


図-1 レーザチップ構造 Fig.1-Schematic structure of laser chip.

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バ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(上 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。バ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,軸方向ホールバ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,バ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,バ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バーニングが大きいと閾値利得が変化し,このバ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 L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 L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

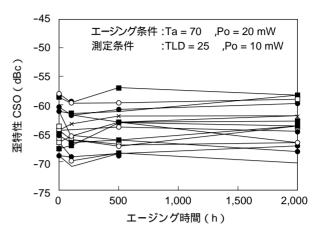


図-2 高温通電試験を行った場合の歪み特性変動 Fig.2-CSO stability for high temperature ACC condition.

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、軸方向ホールバ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、バ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。サーミスタ素子とベ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

158 FUJITSU.51, 3, (05,2000)

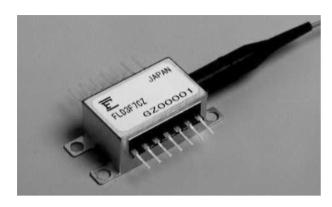


図-3 レーザモジュールの外観 Fig.3-Photograph of laser module.

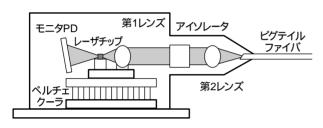


図-4 レーザモジュールの構造模式図 Fig.4-Schematic structure of laser module.

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次歪(CSO),および周波数433.25 MHzと745.25 MHzの複合3次歪(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,ファイバ端光出力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。

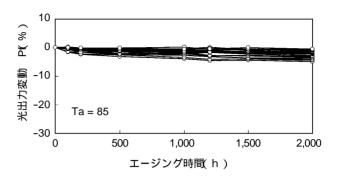


図-5 **長期高温放置試験** Fig.5-High temperature storage test.

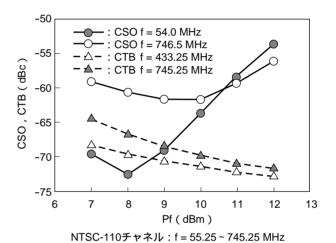
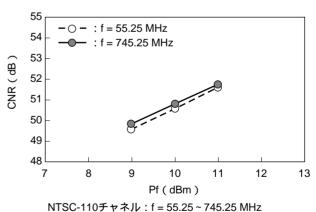


図-6 CSO , CTB特性 Fig.6-CSO and CTB characteristics.



MTSC-T10デャネル:T = 55.25 ~ 745.25 MIT2 OMI = 3.2%/チャネル,光ファイバ伝送損失 = 10 dB

図-7 CNR**特性** Fig.7-CNR 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バ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

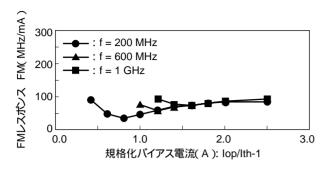


図-8 チャープ特性 Fig.8-Chirp characteristics.

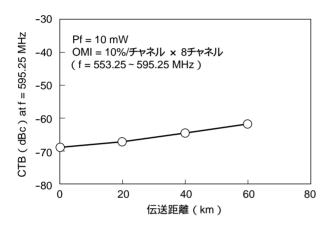


図-9 CTB**特性** Fig.9-CTB characteristics.

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 , 1 GHz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ゼロ分散ファイバ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,上り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

- (1) 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)

160 FUJITSU.51, 3, (05,2000)