

広温度範囲動作 10Gbit/s 直接変調レーザの開発

甲斐田 憲 明*・竹 内 辰 也・長谷川 太 郎
 岡 田 亘 正・秋 山 幹・千 船 外 史
 大 西 裕・山 崎 靖 夫・上 坂 勝 己
 生 駒 暢 之・藤 井 卓 也

Development of Semiconductor Lasers Capable of 10-Gbit/s Direct Modulation at Wide Temperature Ranges — by Noriaki Kaida, Tatsuya Takeuchi, Taro Hasegawa, Nobumasa Okada, Kan Akiyama, Gaishi Chifune, Yutaka Onishi, Yasuo Yamasaki, Katsumi Uesaka, Nobuyuki Ikoma and Takuya Fujii — With the current increase in information traffic, even higher speed and density transmission is required for access network equipment. To meet this demand, optical transceivers capable of operating in high-temperature environments and saving energy are indispensable. Thus far, development has been focused on 10-Gbit/s semiconductor lasers that cover a wide temperature range. Since the standardization of 100 Gigabit Ethernet in June 2010, directly modulated 25-Gbit/s lasers have been developed to reduce the production cost of this system. This paper reports on the development of a 1.3- μm wavelength distributed feedback (DFB) laser, which is designed to have a wide temperature operating range and a high processing speed. The authors also describe test results of 10-Gbit/s modulation conducted in a temperature range of -40°C to 85°C and of 25-Gbit/s modulation below 75°C .

Keywords: 10Gbit/s, 100Gbit/s, AlGaInAs, buried hetero-structure, DFB laser

1. 緒 言

近年の情報通信トラフィックの増大に伴い、データセンターなどアクセスネットワークの高速化と高密度化が急速に進んでいる。この様な要求に応えるには、高い温度環境下でも低消費電力で動作する光送受信機が不可欠であり、キーデバイスである広い温度範囲で動作する直接変調型 10Gbit/s レーザチップの開発に各社凌ぎを削ってきた。また、次世代ネットワークの規格として 25Gbit/s のレーザを 4 波長多重して実現する 100 ギガビットイーサネット*1 (100GbE) が標準化され⁽¹⁾、このシステムの実現に向け高い温度まで 25Gbit/s で動作する直接変調レーザ*2 の開発も盛んに行われている^{(2)~(6)}。

今回我々は、 $-40\sim 85^{\circ}\text{C}$ という広い温度範囲で動作する 1.3 μm 帯分布帰還型単一モード発振レーザを開発し、全温度範囲において 10Gbit/s での動作を実現した。さらに、より高速な 25Gbit/s の動作速度においても良好な波形を得られることを確認した。

2. 素子構造

高温高速で動作する直接変調レーザでは、温度特性の良い光出力特性、広い CR 帯域、高い緩和振動周波数が必要である。良好な光出力特性と広い帯域を実現するために、電流狭窄構造には埋め込み型を採用した。また光出力特性

と緩和振動周波数はトレードオフの関係にあるため、活性層構造の最適化により特性のバランスを取ることとした。以上の指針に基づいて開発した n-InP 基板上的直接変調レーザの詳細について、図 1 の構造模式図を用いて説明する。

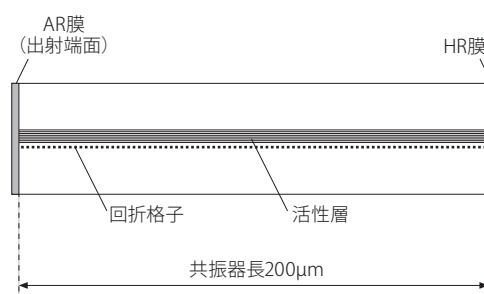


図 1 直接変調レーザ断面の模式図

高い緩和振動周波数を得るために共振器長は 200 μm とした。前方出射端面には低反射率 (AR) 膜、後方出射端面には高反射率 (HR) 膜を形成した。分布帰還型レーザ (以降 DFB レーザ) を実現するための回折格子は活性層の下部に設け、分布帰還の強さを表す κL 積の値は 1.2 とした。

活性層にはAlGaInAs系の材料からなる量子井戸を用いた。この材料は量子井戸への電子の閉じ込めが強く、2.5Gbit/s以下の従来のレーザで一般によく用いられるInGaAsP系の材料に比べて高温高速動作させやすいという特長を持つ。量子井戸の厚さは5nm、周期数は10とし、高い光閉じ込めを実現した。また高い緩和振動周波数の値を実現するために量子井戸層の歪み量は1.3%（圧縮）と大きく設計した。このような構造でも高い信頼性を実現するために、伸張歪みバリア層を用いた歪み補償量子井戸構造を採用した。

3. DC 特性

図2に、開発したDFBレーザの-40/25/85/95℃での電流—光出力特性を示した。高い温度においても光出力特性が良好であることが確認できる。閾値電流 (I_{th}) の典型値は-40/25/85/95℃の各温度でそれぞれ2.4/4.7/15.7/20.0mAであり、微分発光効率の典型値は0.76/0.65/0.44/0.38W/Aである。高温での線形性の低下は僅かであり、95℃まで20mWを超える光出力が得られている。

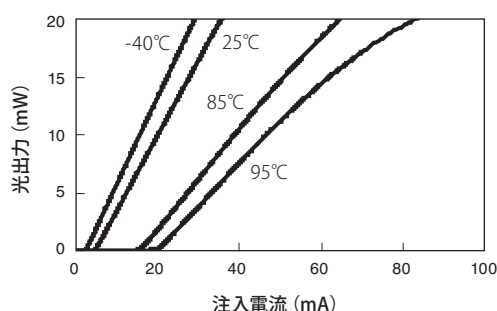


図2 電流—光出力特性

4. AC 特性

図3に25℃での光信号出力の周波数応答とその注入電流依存性を示した。注入電流の増加により3dB帯域が広がっていき、30mA以上の注入電流で20GHzを超える広い帯域が得られている。前節で述べた良好な光出力特性と非常に広いCR帯域を両立できているのは、埋め込み構造の採用によるものである。

図4に-40/25/85℃の各温度における注入電流と緩和振動周波数の関係を示した。緩和振動周波数の値は図3に示した周波数応答のデータをフィッティングすることで求めた。図4に見るように緩和振動周波数は注入電流から閾値電流を引いた値の0.5乗に比例し、その直線の傾きから得られるDファクタ（緩和振動周波数の電流依存性）の値は-40/25/85℃において2.8/3.6/2.6GHz/mA^{0.5}であり、共

振器長と活性層の設計を最適化したことで広い温度範囲において高い値を実現できていることが分かる。

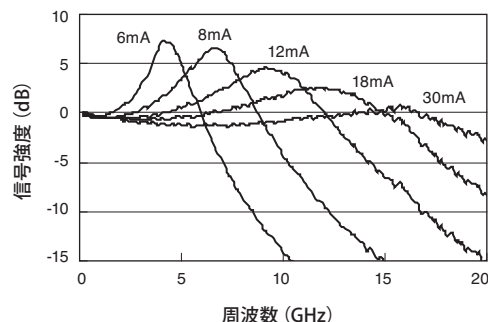


図3 周波数応答とその電流依存性

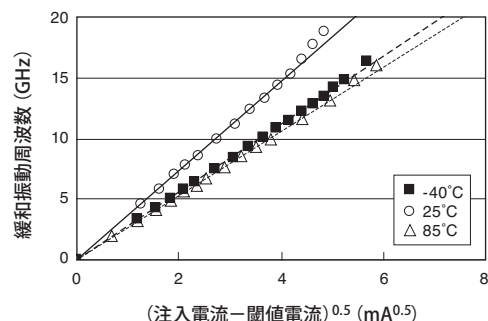


図4 電流—緩和振動周波数特性

5. 10Gbit/sにおける光波形

図5に、開発したDFBレーザを10Gbit/sで動作させた時の光波形を示した。-40～85℃の温度範囲において良好なアイ開口を実現できていることが確認できる。

評価のビットレートは10Gbit/sの通信システムの基本レートとして使用されている9.95Gbit/s、NRZ (non return to zero)、31段の擬似ランダム信号を用い、消光比は7dBとした。いずれもベッセルトムソソフィルタ透過後の波形である。図中に動作温度とその温度での動作電流を記載した。動作電流は実際の動作環境を模擬し、すべての温度で光出力が一定となるよう設定した。

6. 25Gbit/sにおける光波形

次期アプリケーションである100Gbit/s通信システムで用いる25Gbit/sの光源としての動作についても検証を行った。100Gbit/sのシステムは4種類の波長のレーザを多重することで実現されることから、波長のみ異なる4種類のDFBレーザ(1271/1291/1311/1331nm)を作製し、

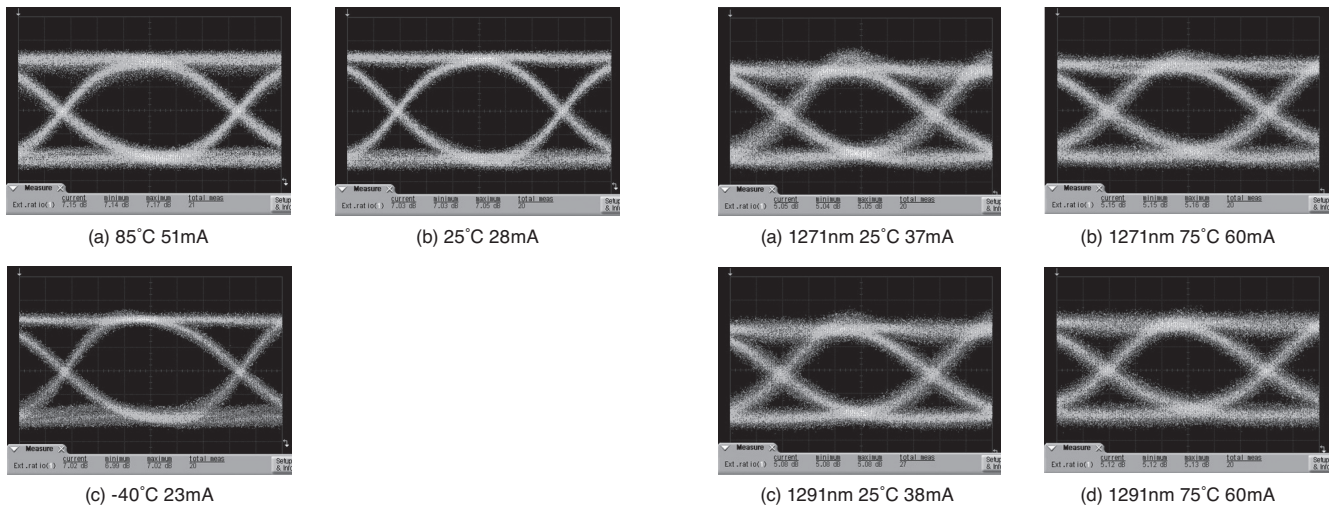


図5 10Gbit/s動作時の光波形

25Gbit/sでの光波形評価を行った(図6)。

評価のビットレートは100GbEの基本レートとして規定された25.78Gbit/sとし、NRZ、31段の擬似ランダム信号を用い、消光比は5dBとした。ベッセルトムソンフィルタは使用していない。75°Cでの動作電流を60mAとし、25°Cでは75°Cと同等の光出力が得られるよう動作電流を設定した。各波長いずれの温度においても良好な波形が得られている。

この結果から我々の開発したDFBレーザは、1294.53～1310.19nmの波長範囲のレーザの温度を一定に制御して使用するLAN-WDM(Local Area Network - Wavelength Division Multiplexing)による100GbEシステムの光源として十分な性能を有しており、また1271/1291/1311/1331nmの4波長のレーザを温度制御なしで用いるCWDM(Coarse-WDM)による100Gbit/s通信システムの光源としても有望であると言える。

7. 5000hの通電データ

図7に開発したDFBレーザの光出力一定(APC)条件による長期通電試験の結果を示した。

5000時間まで無故障であることを確認した。メジアン寿命は 0.75×10^5 時間である。この結果から推定した実動作条件(55°C、13mW)下でのメジアン寿命は 7.61×10^5 時間と極めて長く、高い信頼性が実現できていることを確認した。

8. 結 言

広温度範囲動作 10Gbit/s直接変調レーザを開発した。埋め込み型を採用したことで、95°Cまで20mWを超える高い光出力を維持できる良好な温度特性と20GHzを超え

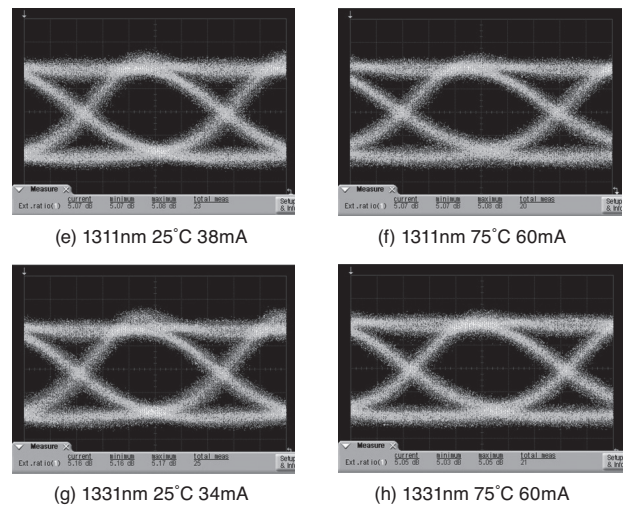


図6 25Gbit/s動作時の光波形

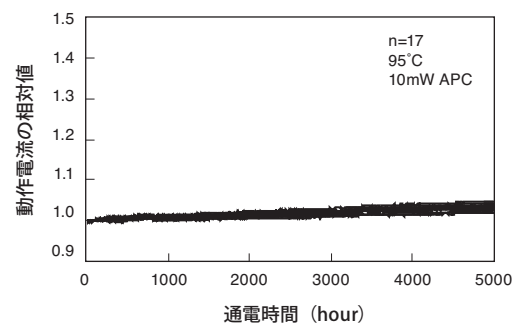


図7 光出力一定条件による通電試験結果

る広い帯域の両立に成功した。緩和振動周波数の電流依存性を示すDファクタは-40～85°Cにおいて2.6GHz/mA^{0.5}を超え、10Gbit/s動作において良好な光波形を実現した。

さらなる高速動作の可能性検証を目的に同じ設計で発振波長のみ異なる4種類の直接変調レーザを作製し、全ての波長において25Gbit/sの動作速度で、75°Cまで良好な光

波形を得ることが出来た。この結果から、今回開発した直接変調レーザは温調・無温調を問わず100Gbit/s通信システムの光源としても有望であると考ええる。

用語集

※1 100ギガビットイーサネット

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) により標準化された次世代高速通信の規格。現在の主流である10ギガビットイーサネットと比べて10倍の通信速度を実現する。

※2 直接変調レーザ

注入する電流量により光出力が変化する機能を利用し、電気信号を光信号に変換する半導体レーザ素子。

参考文献

- (1) IEEE P802.3 ba 40Gb/s and 100Gb/s Ethernet Task Force, <http://www.ieee802.org/3/ba>
- (2) T.Tadokoro, T.Yamanaka, F.Kano, H.Ohashi, Y.Kondo and K.Kishi, "Operation of a 25-Gbps Direct Modulation Ridge Waveguide MQW-DFB Laser up to 85 °C," Proc. OFC'09, OThT3, San Diego, USA (March 2009)
- (3) K. Otsubo, M. Matsuda, S.Okumura, A.Uetake, M.Ekawa and T.Yamamoto, "Low-Driving-Current High-Speed Direct Modulation up to 40Gb/s Using 1.3- μ m Semi-Insulating Buried-Heterostructure AlGaInAs-MQW Distributed Reflector (DR) Lasers," Proc. OFC'09, OThT6, San Diego, USA (March 2009)
- (4) T.Fukamachi, T.Shiota, K.Kitatani, T.Ban, Y.Matsuoka, R.Mita, T.Sugawara, S.Tanaka, K.Shinoda, K.Adachi and M.Aoki, "95 °C Uncooled and High Power 25-Gbps Direct Modulation of InGaAlAs Ridge Waveguide DFB Laser," Proc. ECOC'09, 8.1.5, Vienna, Austria (September 2009)
- (5) 外間洋平、境野剛、柳楽崇、山口晴央、鈴木正人、石村栄太郎、杉立厚志、紫村輝之、「Ruドーピング埋め込み構造AlGaInAs25.8Gbps直接変調DFBレーザ」、2011電子情報通信学会ソサイエティ大会、エレクトロニクス講演論文集1、C-4-18、pp.233 (Sept. 2011)
- (6) 足立光一郎、篠田和典、北谷健、川村大地、菅原俊樹、辻伸二、「1.3 μ m帯4波長面出射DFBレーザアレイの高温25Gbit/s動作」、2011電子情報通信学会ソサイエティ大会、エレクトロニクス講演論文集1、C-4-19、pp.234 (Sept. 2011)

執筆者

甲斐田憲明* : 住友電工デバイスイノベーション(株)
高速通信用半導体レーザの開発に従事



竹内 辰也 : 住友電工デバイスイノベーション(株)
長谷川太郎 : 住友電工デバイスイノベーション(株)
岡田 亘正 : 住友電工デバイスイノベーション(株)
秋山 幹 : 住友電工デバイスイノベーション(株) 課長
千船 外史 : 伝送デバイス研究所
大西 裕 : 伝送デバイス研究所 工学博士
山崎 靖夫 : 伝送デバイス研究所
上坂 勝己 : 伝送デバイス研究所 グループ長
生駒 暢之 : 伝送デバイス研究所 グループ長
藤井 卓也 : 住友電工デバイスイノベーション(株) 部長

* 主執筆者