

-40~95°Cで動作する FTTH用2.5Gbit/s-1.49 μ m-DFBレーザの開発

杉山 直
于 翔

佐々木 暁
武政 敬三

近年、インターネットにおけるブロードバンドネットワークが急速に普及し、動画像などのコンテンツの充実化も大きく進んできた。高速で大容量通信が可能な光通信ネットワークへの期待は益々高まりつつある^{1) 2)}。なかでも光アクセスシステムを安価に構築可能なPON (Passive Optical Network) システムが注目を集めている。国内ではEther系の伝送速度1.25Gbit/sのGE-PON (Gigabit Ether PON) の敷設が進んでおり、ADSLの新規加入者数を超過してFTTH (Fiber To The Home) の主流となってきている。一方、北米では、FTTHとしてSonet系の2.5Gbit/sのG-PON (Gigabit PON) の導入が開始されている。

OKIではこれまで、PONシステム参入のため、国内を中心としたGE-PONのOLT (Optical Line Terminal) 用の光源として、-5~70°Cの温度範囲で伝送速度1.25Gbit/s、光出力15mWで動作する波長1.49 μ m帯の分布帰還型 (Distributed Feedback : DFB) レーザを開発し、商品化してきた。このDFBレーザは高周波特性の点から、G-PONに要求される伝送速度2.5Gbit/s動作は可能であるが、北米のG-PONのOLTの光源市場への参入には、動作温度範囲を-40~95°Cに広げる必要があった。これは、従来の-5~70°Cの温度範囲が75°Cなのに比べて、135°Cと約1.8倍に広がっているものであり、OLTの設置されている使用環境温度の違いから要求されているものである。

今回我々は、多重量子井戸 (Multiple Quantum Well: MQW) 構造の最適化とDFBレーザの主要パラメータを最適化することで、20kmの伝送特性、光出力特性を犠牲にすることなく、-40~95°Cの範囲で動作する、G-PONのOLT用の1.49 μ m-DFBレーザの開発に成功した。

デバイス構造

今回開発した1.49 μ m-DFBレーザの素子構造を図1に示す。基本構造は、高出力動作、広温度範囲動作に適した、埋め込み構造 (Buried hetero-structure : BH) を

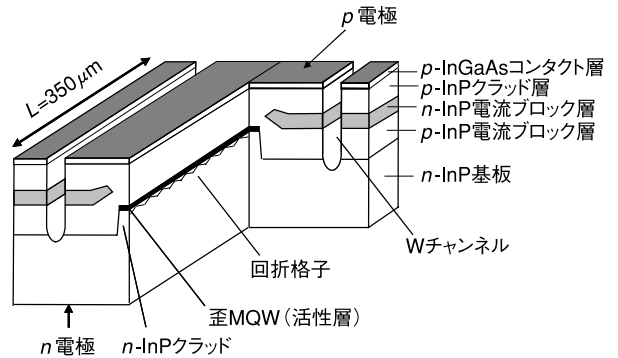


図1 素子構造図

採用した。作製は、まずn-InP (100) 基板上に回折格子を形成し、有機金属気相成長法 (Metalorganic Vapor Phase Epitaxy : MOVPE) を用いてクラッド層、活性層を形成し、メサ形成後、埋め込み成長を行った³⁾。さらに、p型とn型電極の形成、Wチャンネルを形成し、共振器長L=350 μ mで劈開し、前方端面にAR (Anti-Reflection)、後方端面にHR (High Reflection) の反射膜を施した。

最終製品としては、上記の方法で作製したDFBレーザ素子と、光出力モニタ用のフォトダイオードを、標準的な ϕ =5.6mmのヘッダーと、非球面レンズの付いたパッケージTO-CANに実装したものである (写真1)。

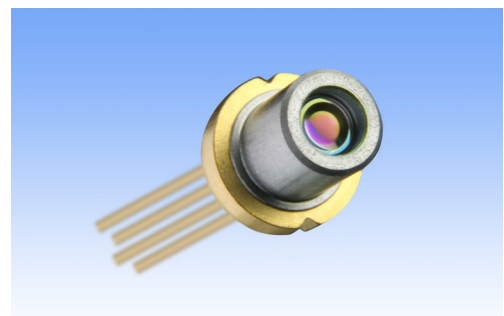


写真1 非球面レンズTO-CAN (OL4636L-ET)

広温度範囲動作設計

高出力特性を犠牲にすることなく、-40~95℃に動作温度範囲を広げるために、DFBレーザの主要パラメータである、ディチューニング（レーザの発振波長 λ_p とMQW層の利得ピーク λ_g の差）、MQW層の井戸数、 κL の最適化を行った。

特に重要であるのがディチューニングである。図2に発振波長 λ_p と利得ピーク λ_g の関係の模式図を示す。

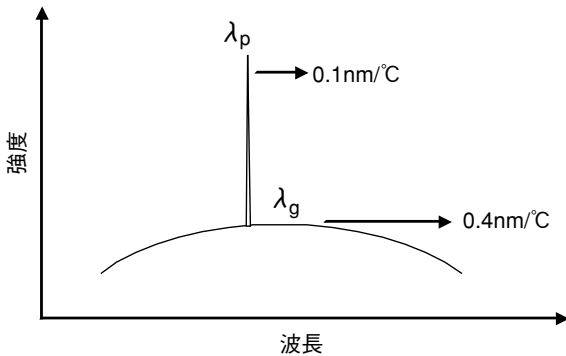


図2 発振波長と利得ピークの関係（模式図）

温度が変化すると、屈折率変動により発振波長 λ_p は約+0.1nm/℃の割合で変化するが、バンドギャップの温度変化により利得ピーク λ_g は約+0.4nm/℃の割合で変化する。従来設計のディチューニングでは、-40℃の低温域や95℃の高温域では、 λ_p と λ_g の差が大きくなり、ゲインモード発振や閾値電流の増加、スロープ効率の低減による光出力低下などの問題が発生する。そのため、先ず、-40~95℃で安定なDFB発振できるようにディチューニングの最適化を行った上で、ゲインモード発振、光出力低下を起こすことなく温度特性を改善できるよう、量子井戸数、 κL の最適化を行った。

CW特性評価

図3はTO-CANに搭載した1.49 μ m-DFBレーザのCW（Continuous Wave）での光出力-電流（ $L-I$ ）特性の-40~95℃の範囲の温度依存性を示す。また、表1は、 $L-I$ 特性から得られる各特性パラメータである発振閾値（ I_{th} ）、スロープ効率（ η ）、10mWの動作電流、15mWの動作電流の温度依存性を記載したものである。25℃でのスロープ効率が0.45W/Aの高効率を得られているが、 $L-I$ 特性条件の厳しい高温の95℃においても、動作電流が98mAで光出力15mWの十分な光出力が得られていることがわかる。

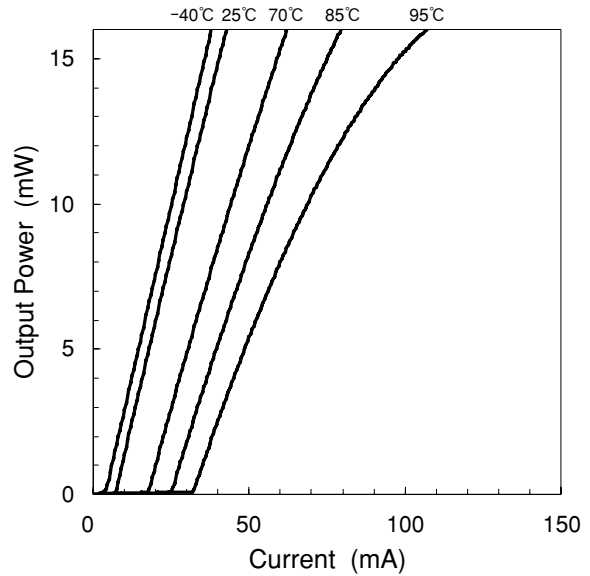


図3 -40~95℃の光出力-電流特性

表1 諸パラメータの温度依存性

T (°C)	I_{th} (mA)	η (W/A)	$I_{op}@10mW$ (mA)	$I_{op}@15mW$ (mA)
-40	4	0.47	25	36
25	7	0.45	29	40
70	17	0.36	45	59
85	25	0.30	58	75
95	32	0.23	73	98

図4に $I_{th}(T) / I_{th}(25^\circ\text{C})$ の温度依存性を示す。 $I_{th}(T) / I_{th}(25^\circ\text{C})$ は次式で表現される。

$$\ln \frac{I_{th}(T)}{I_{th}(25^\circ\text{C})} = \frac{1}{T_0} (T - 25^\circ\text{C})$$

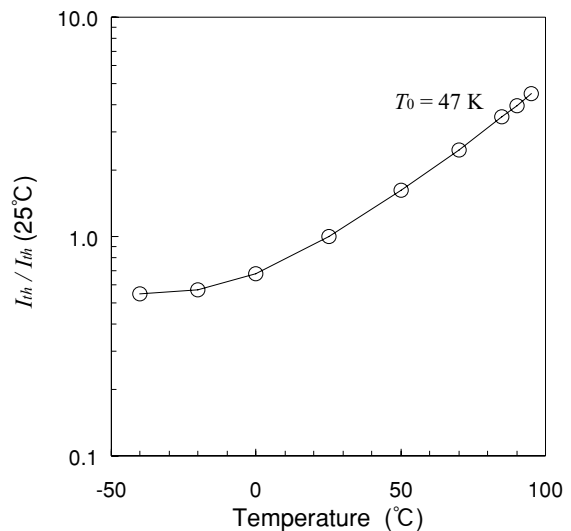


図4 $I_{th}(T) / I_{th}(25^\circ\text{C})$ の温度依存性

T_0 は発振閾値の温度依存性を表す特性温度であり、一般的には T_0 は高温で劣化していく傾向を示す。今回のデバイスは、図4に示すように50°C~95°Cの温度範囲で T_0 は47Kであり、 $\ln\{I_{th}(T)/I_{th}(25^\circ\text{C})\}$ は線形性を示していることから、高温でも良好な温度特性を持っていることが確認できた。

図5は光出力15mWでの、-40, 25, 95°Cの発振スペクトルを示す。多モード発振しやすい、-40°C, 95°Cでも25°Cの場合と同等のサイドモード抑圧比が40dB以上の値であり、この温度範囲で良好な単一モードのDFBレーザ特性が得られていることが確認できた。

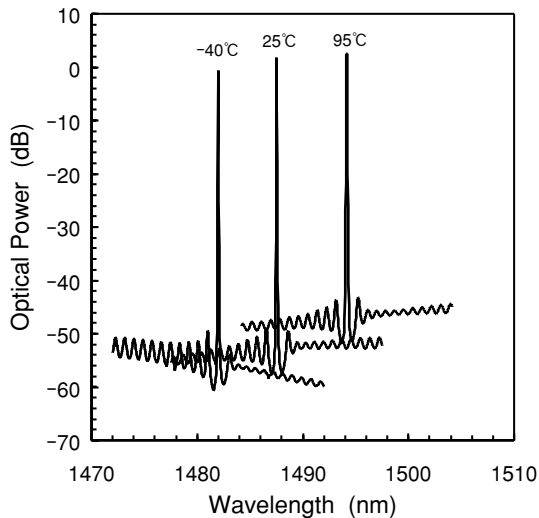


図5 -40, 25, 95°Cのスペクトル特性

変調特性評価

次に変調特性を説明する。図6に10mW出力時の動作電流 I_{op} @10mWと緩和振動周波数 f_r @10mWの温度依存性を示す。

25°Cで、 I_{op} @10mW=30mA時の緩和振動周波数は7GHzと良好な特性を示す。高温になるにしたがって、緩和振動周波数が劣化してくるが、今回開発したDFBレーザは95°Cにおいても、緩和振動周波数が3.8GHzであり、2.5Gbit/s動作に必要な周波数特性が得られていることがわかる。このときの周波数応答特性を図7に示す。

伝送特性評価

最後に20kmの伝送特性について説明する。伝送特性の評価にはレーザ光を光ファイバに入力し、光ファイバを用いて伝送する必要があるため、DFBレーザが搭載され

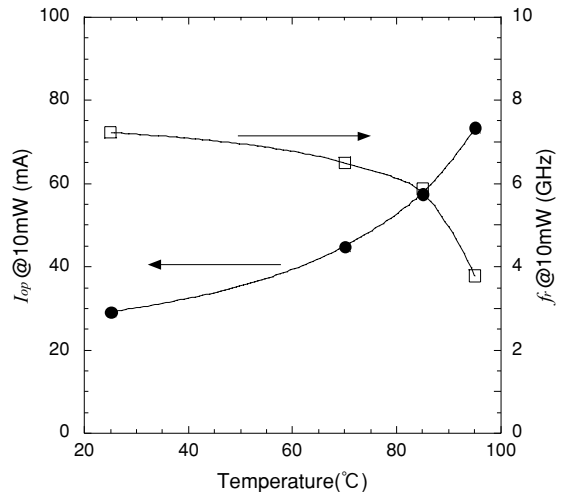


図6 I_{op} @10mWと緩和振動周波数 f_r @10mWの温度依存性

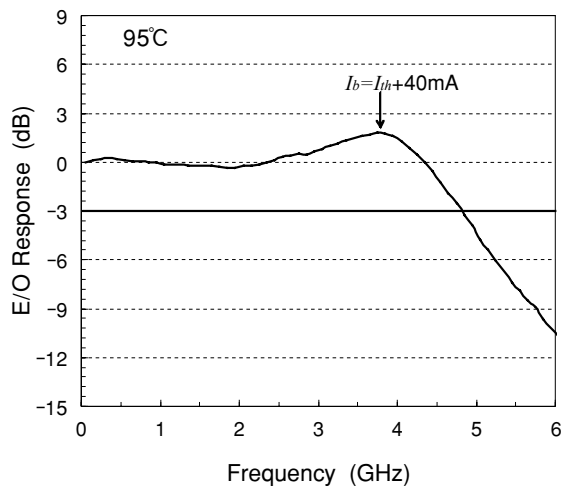


図7 95°Cの周波数応答特性S21

ているTO-CANをさらにアイソレータ内蔵ファイバの付いたパッケージに搭載して評価を行った。図8は2.5Gbit/sで変調動作した場合の伝送前（伝送距離0km）の伝送波形（アイパターン）を-40, 25, 95°Cで測定したものである。STM-16/OC48（SONETの2.5Gbit/s規格）のマスクパターン、4次ベッセルトムソンフィルタを用い、消光比10dBの条件で評価した。各温度ともマスクマージン20%以上の良好なアイパターンが得られた。図9は-40, 25, 95°Cで測定した20km伝送後の符号誤り率（Bit Error Rate）である。各温度とも伝送エラーを引き起こす挙動はなく、20km伝送時における符号誤り率 1×10^{-10} での分散ペナルティ（Dispersion Penalty : DP）は、-40, 25, 95°Cでそれぞれ、0.4, 0.1, 0.2dBであり、G-PONのOLTに使用できる良好な伝送特性が得られた。

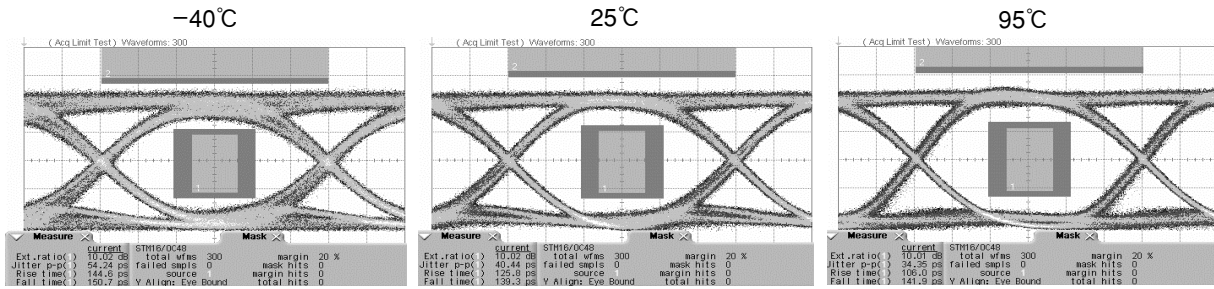


図8 2.5Gbit/sで直接変調したBack to Backのアイパターン ER=10dB, Mask Margin 20%

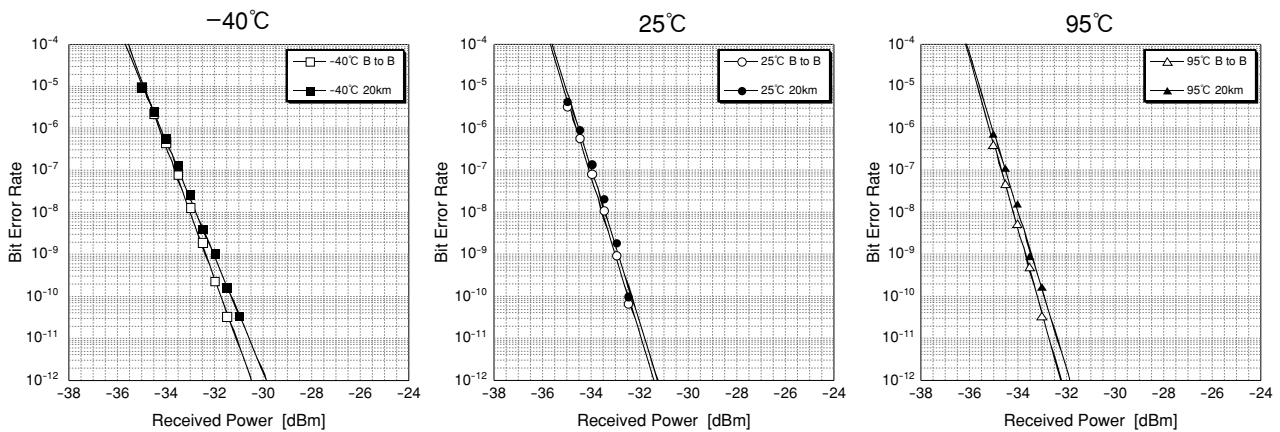


図9 -40~95°Cにおける符号誤り率特性 Bitrate=2.5Gbit/s

まとめ

G-PONのOLT用として、-40~95°Cの広い温度範囲で動作する発振波長1.49 μmのDFBレーザを開発した。MQW構造を含めたDFBレーザの構造パラメータの最適設計を行うことで、動作温度範囲は従来の-5°C~70°Cから、-40~95°Cに大幅に広げることができた。CWでの光出力15mW以上の特性を維持しながら、G-PONのOLT用に要求される2.5Gbit/sの変調動作による20km伝送を実現した。2.5Gbit/sの変調動作のアイパターンは、-40~95°Cの温度範囲でSTM-16/OC48規格に対してマスクマージン20%以上、20km伝送のDPは0.1dB~0.4dBの良好なものであり、要求規格に対して十分マージンがある特性が得られた。◆◆

● 筆者紹介

- 杉山直：Takashi Sugiyama. オプティカルコンポーネントカンパニー 開発部 光通信第一チーム
- 佐々木暁：Satoshi Sasaki. オプティカルコンポーネントカンパニー 開発部 光通信第一チーム
- 于翔：Yu Xiang. オプティカルコンポーネントカンパニー 開発部 光通信第一チーム
- 武政敬三：Keizo Takemasa. オプティカルコンポーネントカンパニー 開発部 光通信第一チーム

■ 参考文献

- 1) 総務省: 通信利用動向調査, 報道発表資料 H.17年度
- 2) 総務省: 通信利用動向調査, 報告書 (世帯編) H.17年度
- 3) Y. Kashima, et al.: J. Crystal Growth 204 (1999) 429