

境野 剛\*  
島田 征明\*  
白尾 瑞基\*\*

# 25Gbps光通信用直接変調DFBレーザ

Direct Modulation DFB Laser Diode for 25Gbps Optical Transmission

Go Sakaino, Masaaki Shimada, Mizuki Shirao

## 要 旨

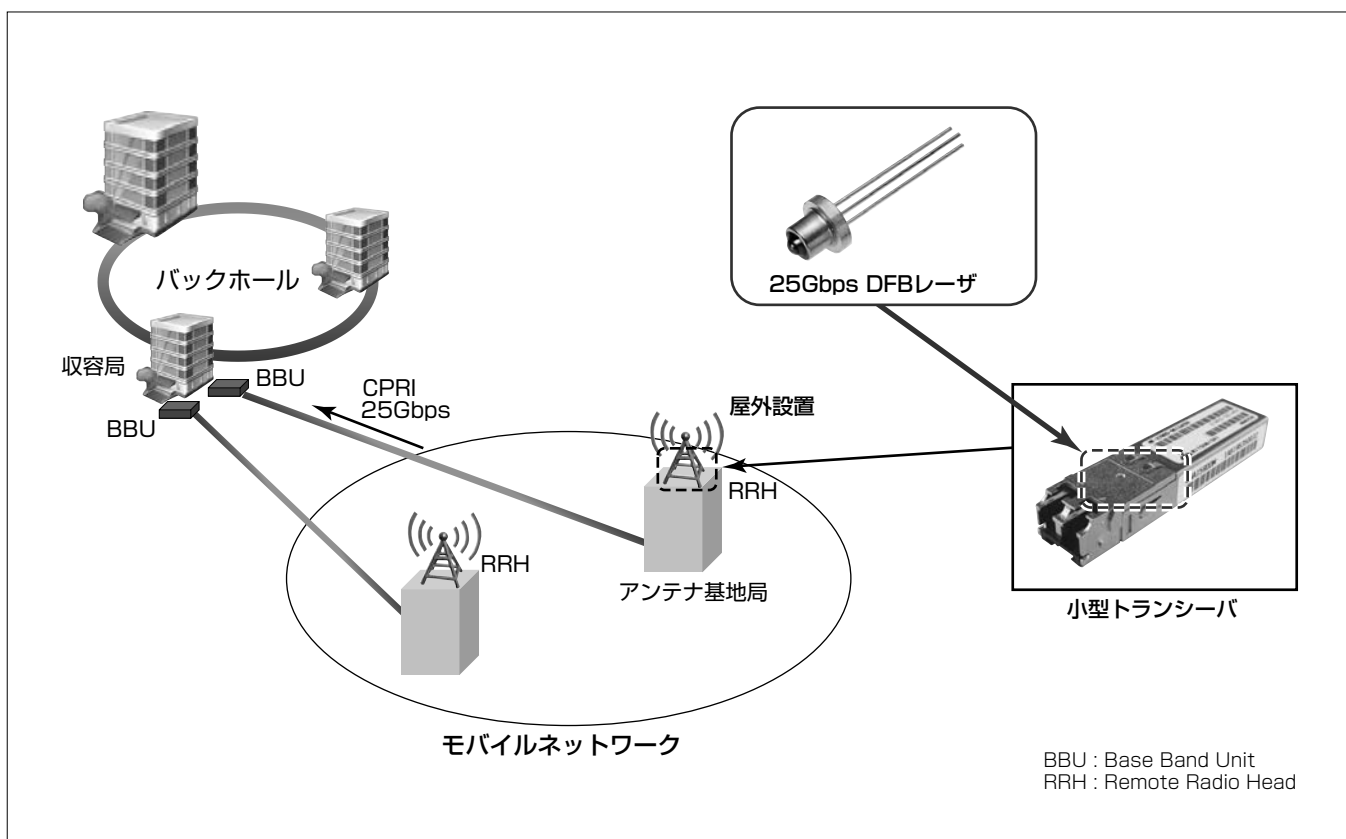
近年の移動通信端末の増加と通信量の増大に伴い、モバイルデータ通信量は急速に増大している。膨大なデータ通信量を高速に処理するため、移動通信システムの規格であるCPRI(Common Public Radio Interface)<sup>(1)</sup>の次世代システムでは通信機器に用いられる小型トランシーバの高速化(25Gbps)が必要とされている。

この実現に向けては、アンテナ基地局に使用される通信機器が屋外に設置されるため、トランシーバに搭載されるDFB(Distributed FeedBack)レーザには、低電流で広い温度範囲、特に高温で高速動作することと、25Gbps低消費電力小型トランシーバ規格(SFP28)に適合する外形サイズを確保することが求められている。これらのニーズ

に応えるため、広い温度範囲(-20~85℃)で高速動作する25Gbps光通信用直接変調DFBレーザを開発した。

今回、DFBレーザチップの設計最適化による高温・高速動作の両立と、入力電気信号の損失を最小限に抑えた高性能パッケージをドライバIC非内蔵の形態でφ5.6mm TO-CANとして実現したことが鍵であり、これによって、通信機器の屋外設置を可能とする非冷却状態でのDFBレーザの駆動で良好な高速変調波形を得ることができ、25Gbps光伝送の品質が確保された。

増大するデータ通信量に対応する次世代移動通信システムの高速化と低消費電力化に貢献できる。



## 25Gbps光通信用直接変調DFBレーザとその適用例

移動通信システムのアンテナ基地局における通信は、世代交代で25Gbpsへの高速化が推進され、また屋外設置が必要なため、高温動作が求められている。-20~85℃までの広い温度範囲で25Gbps動作が可能なDFBレーザチップと低損失信号線路を用いた実装形態のTO-CANを実現した。これによって、25Gbps動作小型トランシーバ規格(SFP28)への適合に寄与し、移動通信システムの高速化と低消費電力化に貢献できる。

## 1. ま え が き

スマートフォンやタブレットなどの携帯端末の普及によって、モバイルデータ通信量は急速に増大している。膨大なデータ通信量を高速に処理するため、次世代移動通信システムでは、通信機器に用いられる小型トランシーバで、10Gbpsから25Gbpsへの高速動作化が求められている。この移動通信システムの最新規格のCPRIでは、携帯端末などからの無線通信信号を送受信するアンテナ基地局で使用される通信機器は屋外に設置されており、高速動作化の実現に向けては、トランシーバに搭載されるDFBレーザには広い温度範囲で高速に動作することと、25Gbps小型トランシーバ規格に適合する外形サイズを確保する必要がある。これらのニーズに応えるには、非冷却で高温85℃以上で低電流動作する、直接変調型のDFBレーザを用いることが有効である。

これまでに三菱電機は-5℃から75℃までの温度範囲で25Gbps動作する直接変調DFBレーザを開発したが<sup>(2)(3)</sup>、75℃以上の高温では動作電流が大きく増加し、高速動作として十分ではなかった。また、パッケージとしては、外形サイズや駆動形態を考慮すると、従来の移動体通信システム用途で生産している10Gbps動作DFBレーザでも用いているφ5.6mm TO-CANと同様の汎用性のある小型TO-CANが有用である。一方で、このパッケージでは、高速25Gbpsの変調電気信号に対する高周波特性は十分ではなく、適用が困難であった。

今回、これらのニーズに応えるため、業界トップクラスの広い動作保証温度範囲(-20~85℃)での高速動作(25Gbps)と、25Gbps小型トランシーバ規格(SFP28)に適合する外形サイズとなる25Gbps光通信用直接変調DFBレーザを開発した。

## 2. 設 計

### 2.1 DFBレーザチップの設計

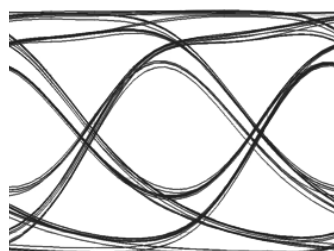
これまで当社では、非冷却仕様の直接変調DFBレーザとして、-5℃から75℃までの温度範囲で25Gbps動作するレーザチップを開発している。動作温度範囲を拡大するためには、特に高温での光出力の低下や動作電流の上昇を最低限に抑制する必要がある。そのためには、レーザ特有の電気と光の相互作用の結果発生する光の振動による光変調波形の劣化抑制が重要である。この光振動の周波数は緩和振動周波数(fr)と呼ばれ、良好な光変調波形を得るには、高温におけるfrを変調信号周波数程度の高い値に保つことが求められる。そのため、高温で顕著となる光の損失や発光層への電流注入効率低下、発光層における光密度低下とこれに起因するfrの低下を抑制する必要がある。今回、温

度の構造を基本として、発光層周辺の構造再設計を行い、高温85℃でも低損失で発光層への効果的な電流注入と高い発光効率を安定して実現できる構造を開発した。

### 2.2 TO-CANパッケージの設計

DFBレーザを搭載するパッケージを10Gbpsから25Gbpsの2.5倍の高速化を実現するに当たり、2つの課題が挙げられる。1つ目はTO-CANパッケージ自身の帯域である。TO-CAN内部に電気信号を伝えるリードや内部の金ワイヤは、パッケージ全体の高周波特性を劣化させる要因となる。10Gbpsでは十分な品質が得られているTO-CANパッケージを見直し、内部のインダクタンス成分を排除するとともに、内部インピーダンスの最適化を行うことで、**図1**に示すように10Gbps用TO-CANでは達成困難であった25Gbps動作で、光波形品質の大幅な改善を実現した。

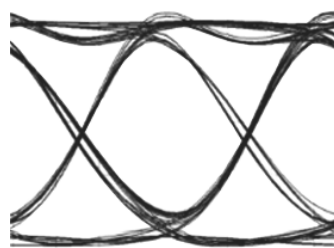
2つ目の課題は、DFBレーザを発端とする電気多重反射による波形品質劣化である。通常DFBレーザの抵抗は12Ω程度となるが、伝送線路は特性インピーダンス50Ωの差動線路で設計される。そのため、DFBレーザ終端部でのインピーダンス不整合によって高周波信号の反射が大きく、各接続点との多重反射による波形品質劣化が生じやすい構成となっている。TO-CANの電気インタフェースであるフレキシブル基板(FPC)との接続部は、特に多重



(a) 10Gbps用 TO-CAN



(b) 最適化前の25Gbps TO-CAN



(c) 最適化後の25Gbps TO-CAN

図1. 25Gbps DFBレーザを搭載したTO-CANの光波形シミュレーション結果

反射点となりやすい。図2にTO-CANの本体であるステムとFPCの接続部の構造を示す。10Gbps用TO-CANで

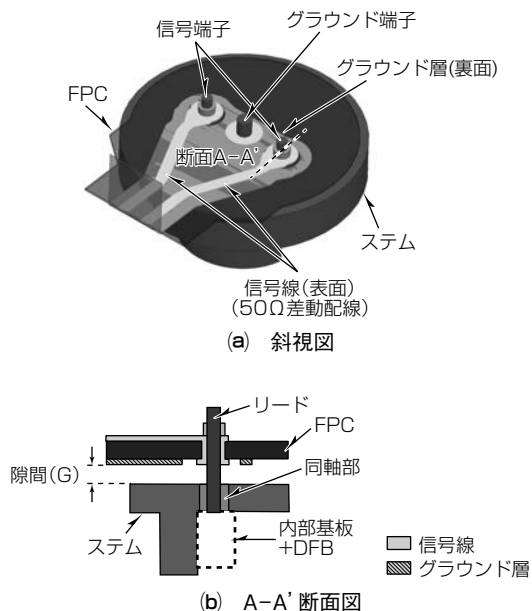


図2. TO-CANの電気インタフェース(計算モデル)

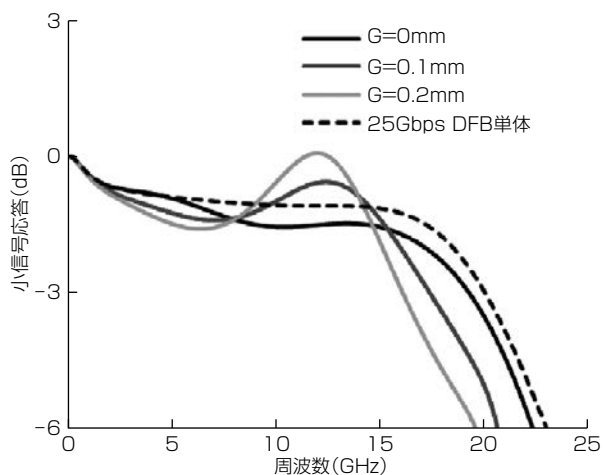


図3. 25Gbps DFBレーザの通過特性シミュレーション結果

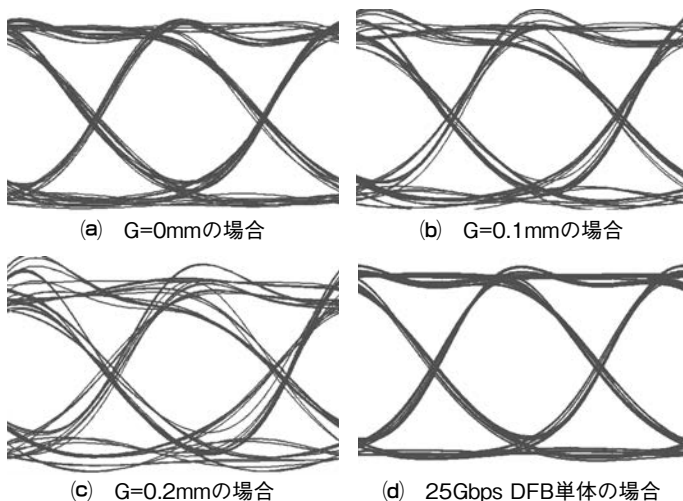


図4. 25Gbps光波形シミュレーション結果

は、FPCのグラウンド層とステムの間に厚さ0.1mm程度の絶縁シートが挿入されていた。これを隙間(G)で表記し、25Gbps DFBレーザの小信号応答特性をシミュレーションした結果を図3に、光波形のシミュレーション結果を図4に示す<sup>(4)(5)(6)</sup>。25Gbps動作ではわずかな隙間が生じただけでも通過特性の凹凸と光波形品質の劣化が確認された。隙間によって生じたわずかなリターンパスの不連続やリードによるインダクタンス成分の増加が特性劣化を引き起こしていることから、今回は隙間を設けない構成を採用し、試作を行った。

### 3. 素子構造と素子特性

2章で述べた設計に基づいて図5に示す25Gbps DFBレーザを作製した。構造再設計を行ったDFBレーザチップを新規設計したφ5.6mm TO-CANに実装し、TO-CANに内蔵される内部基板を介して、外部のリードと接続した。最後に、気密封止及び光ファイバに出射光を結合するためのレンズ付きキャップを実装した。

このDFBレーザの電流光出力特性を図6に示す。低温-20℃から高温85℃へのしきい値電流やスロープ効率の変化が小さく、良好な特性が得られている。特に高温85℃で、しきい値電流は16mA以下、スロープ効率は0.17mW/mA以上で、最大光出力として10mW以上が得られている。

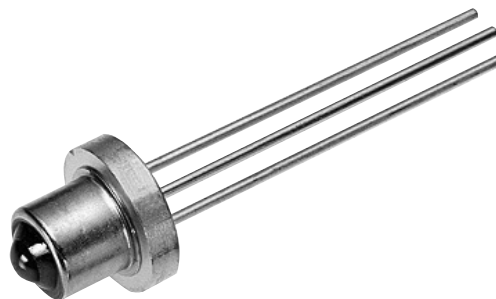


図5. 25Gbps DFBレーザ

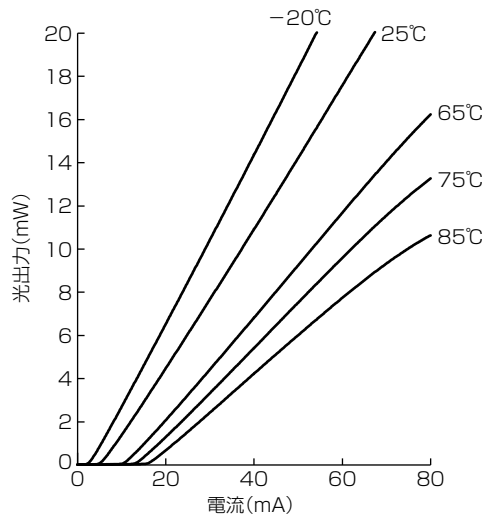


図6. 電流光出力特性

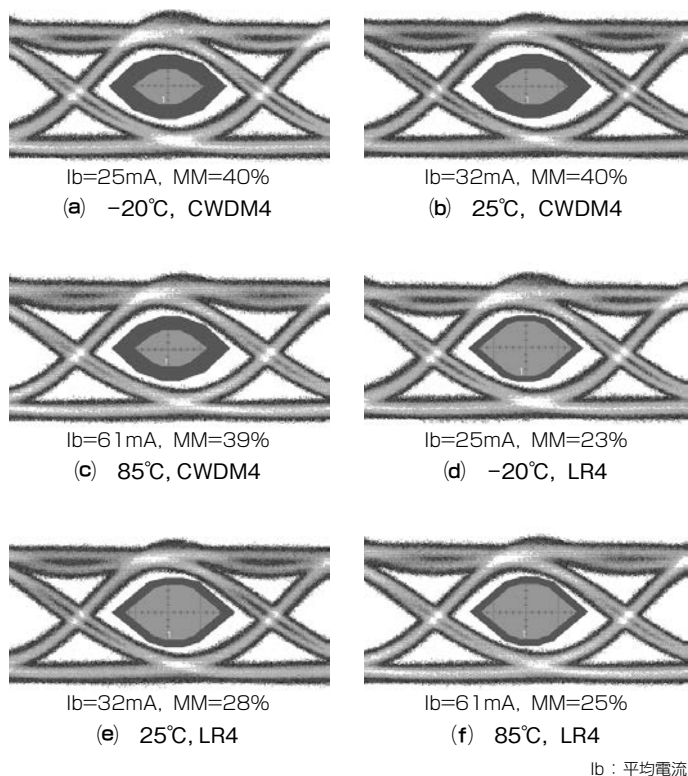


図7. 25.8Gbps変調波形(光出力：8mW，消光比：5dB)

このように、低温-20°Cから高温85°Cの広い温度範囲で十分な電流光出力特性が得られていることから、良好な高周波特性が期待され、光伝送の品質確保に重要な25.8Gbps変調光波形を評価した。なお、評価用のFPCは先に述べたようにTO-CAN本体に密着させ、TO-CANのリード部と電氣的に接続した。このFPCを介して、PPG(Pulse Pattern Generator)から25.8Gbpsの擬似ランダムNRZ(Non Return to Zero)信号を入力した。得られた変調波形は図7に示すとおりで、-20°Cから85°Cまでの温度範囲で明瞭な形状が得られた。変調波形の品質を示すマスクマージン(MM)は、CWDM4(Coarse Wavelength Division Multiplexing technology with 4 lanes)マスク<sup>(7)</sup>を用いた場合、-20°C、25°C、85°Cでそれぞれ40%、40%、39%と良好な値が得られた。また、より高い波形品質要求となるLR4(Long Reach over 4 wavelength division multiplexing lanes)マスク<sup>(8)</sup>でもマスクマージンはそれぞれ23%、28%、25%と高い値が得られた。これらから、高温85°Cでも平均電流61mA以下という低電流動作で良好なマスクマージンが得られ、25Gbps光伝送に十分な特性が確認できた。これによって、25Gbps動作小型トランシーバ規格(SFP28)への適合に寄与し、移動通信システムの高速化と低消費電力化に貢献できる。

#### 4. むすび

移動通信システムのアンテナ基地局と基地局からの通信信号の集中制御を行う収容局間の光ファイバ通信に用いる25Gbps光通信用直接変調DFBレーザを開発した。

DFBレーザチップを再設計することで、-20°Cから85°Cまでの広い温度範囲で温度調整を不要とする非冷却動作で伝送速度25Gbpsを実現した。また、DFBレーザを駆動するドライバIC非内蔵のTO-CANとして、従来の10Gbps DFBレーザと同じ外形サイズを実現しながら、電気信号の損失を最小限に抑えた高性能パッケージを開発した。このパッケージとDFBレーザチップを用いたTO-CAN型DFBレーザは、25Gbps動作小型トランシーバ規格(SFP28)への適合に寄与し、移動通信システムの高速化と非冷却動作実現による低消費電力化に貢献できる。

#### 参考文献

- (1) CPRIホームページ  
<http://www.cpri.info/jp/>
- (2) Nakamura, N., et al.: 25.8Gbps Direct Modulation AlGaInAs DFB Lasers of Low Power Consumption and Wide Temperature Range Operation for Data Center, Optical Fiber Communications Conference and Exhibition(OFC), W2A.53 (2015)
- (3) 境野 剛, ほか: 100Gbps送信用4波長25.8Gbps直接変調DFB-LD, 三菱電機技報, **89**, No.5, 291~294(2015)
- (4) Nakamura, S., et al.: Uncooled 25.78Gb/s Transmission over 10km using a 1.3μm Directly Modulated DFB Laser in a TO-CAN Package, OECC 2016, WD3-3 (2016)
- (5) Shirao, M., et al.: The Analysis of Cost Effective TO-CAN Packaged 25.78Gb/s Directly Modulated Laser, The 25th International Semiconductor Laser Conference(ISLC 2016), WE22 (2016)
- (6) 白尾瑞基, ほか: TO-CANパッケージ型25.78Gb/s直接変調光送信モジュールの開発, 2016年電子情報通信学会エレクトロニクスソサエティ大会, C-4-9 (2016)
- (7) CWDM4 MSAホームページ  
<http://www.cwmd4-msa.org/>
- (8) IEEE P802.3ba 40Gb/s and 100Gb/s Ethernet Task Force  
<http://www.ieee802.org/3/ba/>