

# デジタルコヒーレント通信方式用 波長モニター内蔵DFB-CAN

岡崎拓行\*  
Hiroyuki Okazaki  
長谷川清智\*  
Kiyotomo Hasegawa  
金子進一†  
Shinichi Kaneko

鈴木純一‡  
Junichi Suzuki

DFB-CAN with Wavelength Monitor for Digital Coherent Optical Transmission System

\*高周波光デバイス製作所  
†同製作所(工博)  
‡情報技術総合研究所(工博)

## 要 旨

近年、通信の高速大容量化に伴い、データセンターを各地に分散立地させデータ処理を効率化する動きが進んでいる。これらのデータセンター間通信では、通信品質を保ち、かつ高速・大容量通信が可能なデジタルコヒーレント通信方式が注目されているが、従来の強度変調通信方式と比べて、光トランシーバーが大型になること、かつ消費電力が大きいことが課題になっている。三菱電機ではデジタルコヒーレント通信方式用光トランシーバーの小型化と低消費電力化に貢献するため、小型のTO(Transistor Outline)-CANパッケージを用いた単一光源デバイスとして波長モニター内蔵DFB(Distributed Feed Back)-CANを開発した。TO-CANパッケージの採用及び波長モニターの小型化によってOSA(Optical Sub-Assembly)サイズは約8分の1に小型化し、SOA(Semiconductor Optical Amplifier)を搭載したDFB-LD(Laser Diode)によって高出力・高効率化し、光出力19dBm以上、消費電力1.0W以下の良好な特性を得た。

## 1. ま え が き

SNS(Social Networking Service)や動画配信サービスの普及に加えて、クラウドサービスの拡大、AI技術やDX(Digital Transformation)の進展によって、使用されるデータの量が爆発的に増加している。これらに対応するため、データセンター内だけでなくデータセンター間での高速かつ大容量の通信が必要になってきている。現在データセンター内で用いられている光トランシーバーは、低遅延で低消費電力を特長とする強度変調通信方式が主流であり、2 km以下の短距離通信に適している。これに対して、最大120kmになるデータセンター間通信では、波長分散の影響によって通信品質が低下するため、適用が困難であった<sup>(1)</sup>。

このような背景から、多値変調や光の偏波を用いることで高いスペクトル効率が得られ、デジタル信号処理を利用することで光信号の劣化を補償可能であり、長距離通信で優れたデジタルコヒーレント通信方式<sup>(1)</sup>が注目されている。しかしながら、デジタルコヒーレント通信方式は、強度変調通信方式に比べて、光トランシーバーのサイズや消費電力が大きいことが課題になっている。この課題を解決するために、光トランシーバー内に搭載される小型・低消費電力光源デバイスとして波長モニター内蔵DFB-CANを開発した。

デジタルコヒーレント通信方式では、光の位相と強度を変調する16QAM(Quadrature Amplitude Modulation)などが用いられるため、光源には位相雑音が少なく高い光出力が要求される。また、波長分割多重システムで、効率的な周波数利用や干渉の防止を実現するため、波長スペクトルの安定度も重要な性能として挙げられる。

本稿では、波長モニター内蔵DFB-CAN用として開発したDFB-LDで、高光出力設計を実施したその構造と特性を述べる。また、Si(シリコン)フォトリソグラフィを用いて小型化した波長モニターチップの適用、及び熱電素子とDFB-LDの放熱構造の最適化によって得られた良好な波長安定度と消費電力について述べる。

## 2. 波長モニター内蔵DFB-CANの構造と目標性能

波長モニター内蔵DFB-CANの構造を図1に示す。光源にはこのデバイス用に新規設計したDFB-LDを用いて、Siフォトリソグラフィによって機能を集約した波長モニターチップとともに熱電素子の上に実装され駆動温度を調整可能な構造になっている。DFB-LDから出力される前面光はコリメートレンズとTO-CANパッケージのキャップに実装されたレンズによって光ファイバーに集光して利用される。DFB-LDの背面光は、Si波長モニターチップに結合されており、Si波長モニターチップ内で波長変化が強度変化に変換されることによってモニターPD(Photodiode)電流として取り出される。この波長情報を持つモニターPD電流を熱電素子やDFB-LD駆動電流にフィードバックすることで波長の安定動作が

可能である。パッケージには直径5.6mm、長さ8.3mmのTO-CANを採用することによって、Micro-ITLA(Integrable Tunable Laser Assembly)用のバタフライパッケージ<sup>(2)</sup>と比較して約8分の1の体積に小型化した。

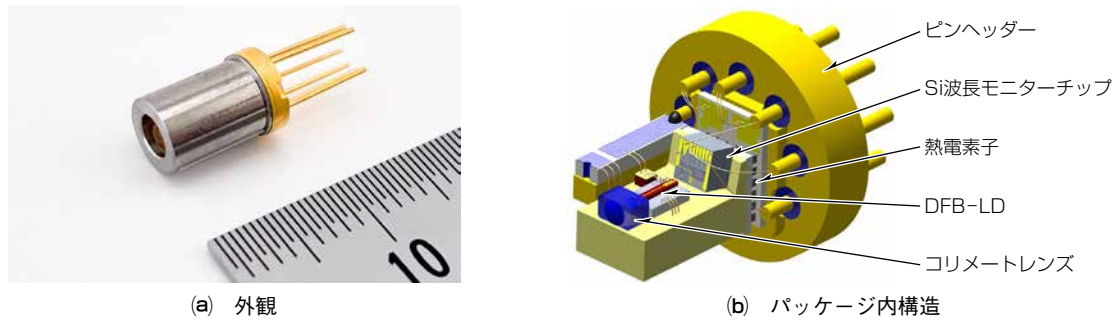


図1- 波長モニター内蔵DFB-CAN

性能はOIF(Optical Internetworking Forum)で規定されているOIF-400ZR<sup>(3)</sup>を参考に、目標を表1のとおり設定した。ピンヘッダーの放熱面温度 $-5 \sim +75^{\circ}\text{C}$ で、DFB-LD駆動電流と熱電素子の合計消費電力1.5W以下で動作し、TO-CANレンズから18dBm以上の光出力を得ることを目標とした。波長は無中継伝送アプリケーション用に規定されている193.7THzに対応する1,547.72nmとし、波長安定度は光トランシーバーの送信光レーザー周波数精度 $\pm 1.8\text{GHz}$ 以下に対してモニター精度を $\pm 1.0\text{GHz}$ 以下、光スペクトル線幅は伝送距離120km以下で要求される500kHz以下とした。

表1- 波長モニター内蔵DFB-CAN目標性能

項目	目標性能
動作温度	$-5 \sim +75^{\circ}\text{C}$
光出力	$\geq 18\text{dBm}$ (63mW)
波長(光周波数)	1,547.72nm(193.7THz)
光スペクトル線幅	$\leq 500\text{kHz}$
波長安定度	$\leq \pm 1.0\text{GHz}$
消費電力	$\leq 1.5\text{W}$

### 3. DFB-LDの特性

DFB-LDの前端面光出力は、実装誤差やレンズ表面での反射、レンズの挿入損を考慮し、19dBm(約80mW)以上を目標とした。図2に、今回の開発でのDFB-LDの断面構造を示す。n型InP(インジウムリン)基板を用いて、電流ブロック層にはリーク電流やキャリア再結合の抑制、長期安定性による長寿命化を目的としてFe(鉄)ドーピングInPを適用した。また、光出力の高効率化と動作温度変化に対する高い安定性を得るためレーザー活性層にはアルミニウム系材料を適用した。前端面側には、高光出力を得るためSOAを搭載し、ファイバーへの光結合効率向上を目的にしてSSC(Spot Size Converter)

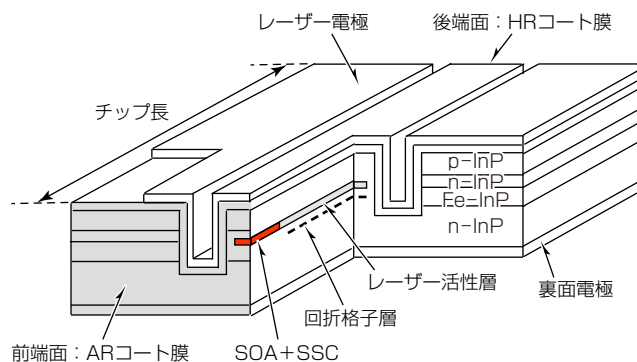


図2- 高光出力狭線幅DFB-LDの断面構造図

も同時に搭載している。チップ長は、光出力とスペクトル線幅特性にトレードオフの関係性があるκL(全回折格子の光結合)の最適化によって1,000μmとした。また、効率的に外部へ光を放出するため前端面にはAR(Anti Reflection)コート膜を適用し、後端面には共振器内の光の強度を高めるためにHR(High Reflection)コート膜を用いた。図3に、開発したDFB-LDの光出力特性及び光スペクトル線幅特性を示す。DFB-LDの光出力と熱電素子の消費電力を鑑みてLD温度55℃として、LD電流400mA、電圧1.5Vで19.4dBm(87mW)の前端面光出力が得られ、目標の19dBm以上を達成した。光スペクトル線幅でも同一条件で270kHzが得られ、目標である500kHzを十分に満たす良好な値が得られた。

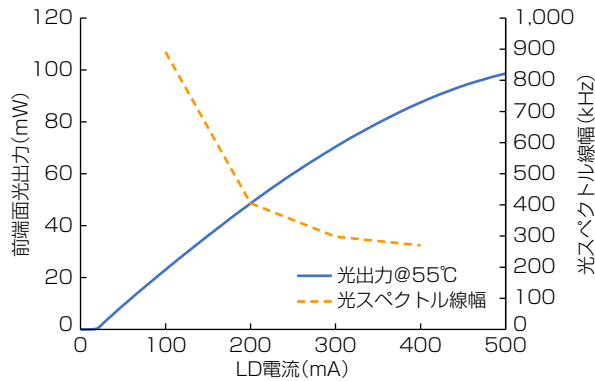


図3 - DFB-LD前端面光出力及び光スペクトル線幅の特性

#### 4. Si波長モニターチップ

従来の光源モジュール<sup>(4)</sup>で波長モニターはエタロンを用いた空間光学系によって構成され、大きな体積を必要としていたが、今回の開発ではSiフォトニクス技術を適用して波長モニター機能をワンチップ化した。これによってSi波長モニターチップはDFB-LDと同一熱電素子上に実装することが可能になり、光源デバイスの小型化に大きく寄与した。一方で、長期駆動条件下では、LDの効率劣化を補償するため駆動電流と温度を調整する必要があるが、Siを用いた波長モニターチップは温度依存性が大きいことから、波長モニター誤差が大きくなる。そこでこのSi波長モニターチップでは、Si導波路と異なる温度係数を持つSiN(窒化シリコン)導波路を組み合わせマッハツェンダー型フィルターを構成し、フィルター特性の温度依存性を低減するアサーマル構造を導入した。ここで長期駆動後は光出力の維持のために初期値の1.2倍のLD駆動電流が必要になると仮定したところ、LD温度は約6℃上昇すると算出された。図4に、作製したアサーマルSi波長モニターチップの温度変化に対する光周波数モニター値の変動量を示す。測定結果の近似曲線から波長モニターの温度依存性は0.17GHz/Kになり、目標である波長安定度±1.0GHzを満たすには、11℃以内の温度変化に収まる必要があるが、同一熱電素子上に配置されているSi波長モニターチップの想定される温度変動も6℃であり、長期駆動に対しても問題ないことが確認された。

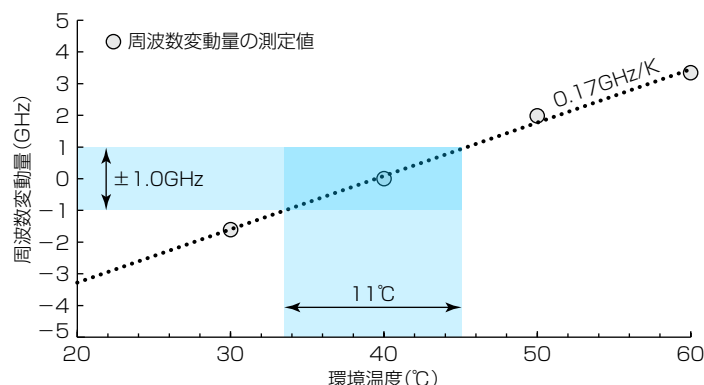


図4 - アサーマルSi波長モニターチップでの光周波数変動量の温度依存性

## 5. 波長モニター内蔵DFB-CANの特性

今回の開発でのDFB-LDとSi波長モニターチップをTO-CANパッケージに実装し特性確認を行った。目標消費電力を達成するためには、DFB-LDの高出力化によるLD駆動電流抑制に加えて、DFB-LD及び熱電素子で発生した熱を効率良くヒートシンクに放熱することも重要であり、TO-CANパッケージのピンヘッダー部分の熱抵抗が小さくなるように設計した。図5、にDFB-LD温度55℃時の波長モニター内蔵DFB-CANの光出力特性を示す。LD電流400mA、電圧1.5V印加時に19.3dBm(84.7mW)の光出力が得られ、目標である18dBm(63mW)以上を達成した。図6に、DFB-LD温度を55℃一定に保った状態でパッケージ温度を-5~+75℃で変化させたときのDFB-LDと熱電素子の消費電力の合計である波長モニター内蔵DFB-CANの総消費電力を示す。DFB-LD温度とパッケージ温度の差が大きいために熱電素子の消費電力が大きくなり、冷却と加熱の効率の差からパッケージ温度75℃で最大0.97Wになり、目標の1.5W以下を達成した。

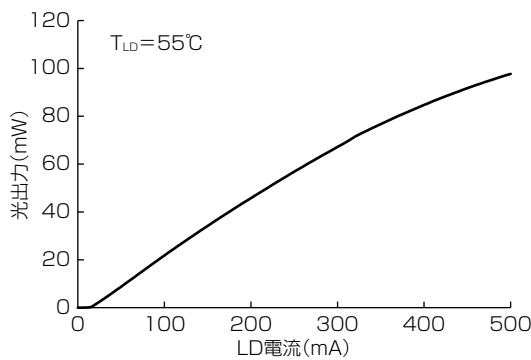


図5- 波長モニター内蔵DFB-CANの光出力強度

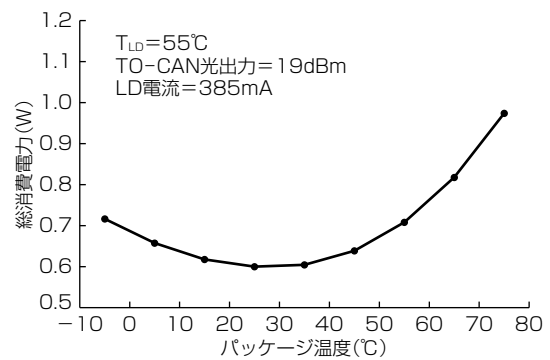


図6- 波長モニター内蔵DFB-CANの総消費電力

## 6. むすび

デジタルコヒーレント通信方式用光トランシーバーの光源として波長モニター内蔵DFB-CANを開発した。TO-CAN及びアサーマル化したSi波長モニターチップを採用することで、従来光源であるMicro-ITLA用のパタフライパッケージと比較して約8分の1の体積に小型化し、±1.0GHz以下の高い波長安定度を得た。また、高出力・高効率のDFB-LDを設計し、放熱性の高いパッケージ構造を採用することで、光源として光出力18dBm以上、消費電力1.0W以下など、目標性能を達成した。この製品は、データセンター間通信用光トランシーバーに対するデジタルコヒーレント通信方式の適用で、画期的な一歩を踏み出すものになり、通信業界に大きな影響を与えるものと期待する。

## 参考文献

- (1) Zhou, X., et al. : Beyond 1 Tb/s Intra-Data Center Interconnect Technology: IM-DD OR Coherent?, Journal of Lightwave Technology, **38**, No.2, 475~484 (2020)
- (2) Optical Networking Forum : Micro Integrable Tunable Laser Assembly Implementation Agreement (OIF-MicroITLA-01.1) <https://www.oiforum.com/wp-content/uploads/2019/01/OIF-Micro-ITLA-01.1.pdf>
- (3) Optical Networking Forum : OIF-400ZR-03.0 - Implementation Agreement (IA) 400ZR <https://www.oiforum.com/wp-content/uploads/OIF-400ZR-03.0.pdf>
- (4) 後藤田光伸, ほか: デジタルコヒーレント伝送用二出力波長可変半導体レーザ, 三菱電機技報, **91**, No.5, 281~284 (2017)