

第5世代移動通信システム基地局用 100Gbps EML CAN

100Gbps EML CAN for 5G Base Stations

中野誠二*
Seiji Nakano
那須雅樹*
Masaki Nasu
奥田真也*
Shinya Okuda

藤原諒太†
Ryota Fujihara

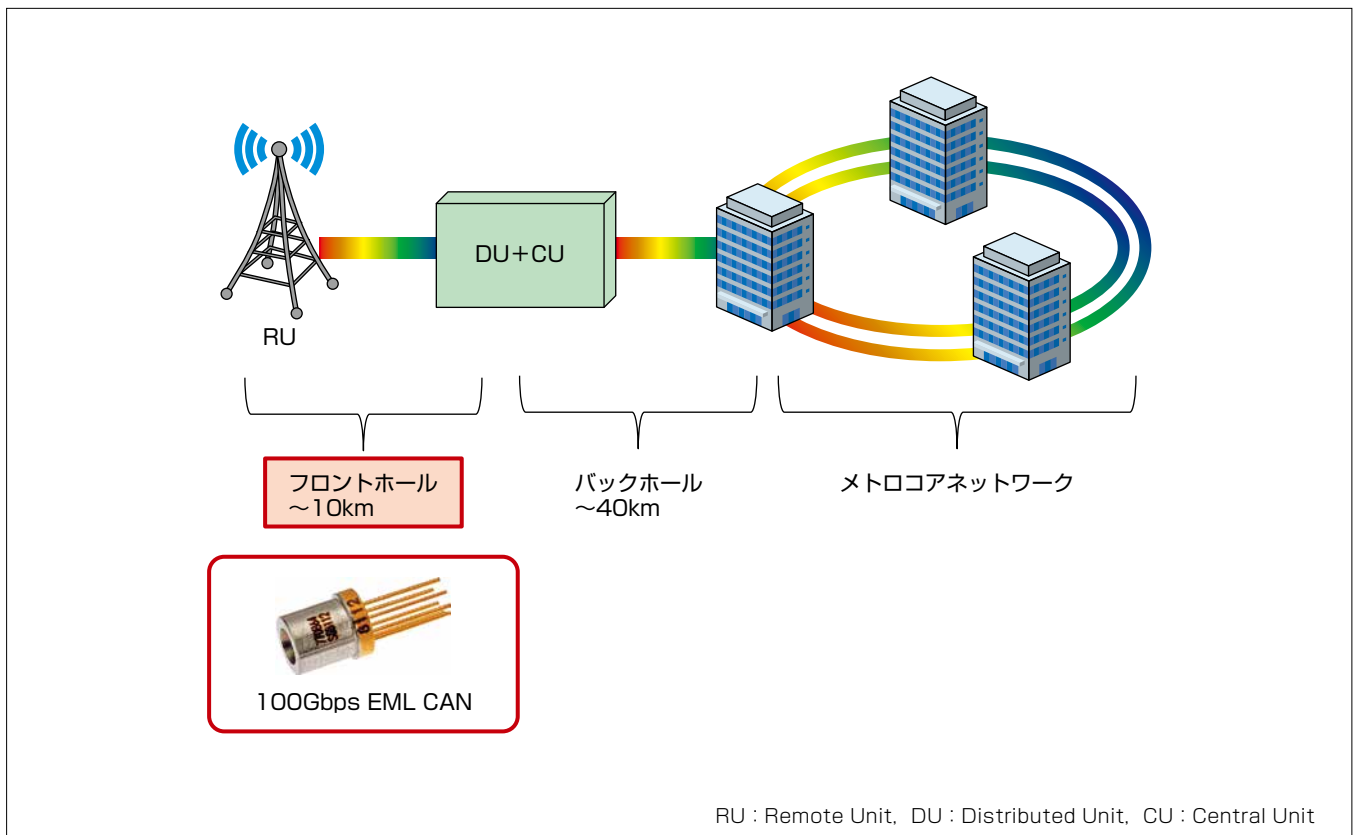
要旨

携帯通信端末の普及や情報のクラウド化によるデータ通信量の急増を背景に、移動通信システムは世界各国で第4世代(4G)から第5世代(5G)への移行が進んでいる。これに伴い、基幹ネットワークと基地局間にも大容量の光通信システムが必要とされている。

今回、三菱電機は2018年に製品化した25Gbpsで動作するEML(Electro-absorption Modulated Laser)CAN⁽¹⁾と同じ外径Φ5.6mmのTO(Transistor Outline)-CANパッケージを用いて、4倍の通信速度に対応可能な100Gbps EML CANを開発した。

通信速度の向上には信号通過帯域の拡大が課題であったが、EMLの微細構造の改良と併せて、パッケージ構造の信

号線路のインピーダンスを最適化することで、-3dB通過帯域を従来製品の19GHzから36GHzまで拡大した。さらに、一つのパルス信号に2ビットの情報を載せるPAM4変調方式(Pulse Amplitude Modulation-4)に対応することで通信速度の4倍化を実現した。また、EML素子を一定温度に制御するための熱電変換素子の小型化によって、屋外設置の基地局用途で必要とされる-40~+95℃の広い温度範囲での動作を保証しつつ、従来製品25Gbps EML CANと同じ熱電変換素子を適用することによって、1Gbps当たりの消費電力は4分の1に低減でき、光通信システムの省電力化にも大きく貢献する。



5G基地局ネットワークのフロントホールに適用する100Gbps EML CAN

EMLは分布帰還形レーザ(レーザ部)と電界吸収(Electro-Absorption : EA)型光変調器の二つのデバイスを一つの半導体基板上に集積したもので、分布帰還形レーザ単体と比較して高消光比、高速動作及び長距離伝送に優れる。広帯域化をするためにはEA変調器長を短尺化して素子容量低減をする必要があるが、EA変調器を短尺化すると消光比が小さくなるというトレードオフ関係があるため、最適化が必要である。5G基地局ネットワークのフロントホールに適用する通信速度100Gbpsの光デバイスとして、100Gbps EML CANを開発した。

1. ま え が き

携帯通信端末の普及や情報のクラウド化によるデータ通信量の急増を背景に、移動通信システムは世界各国で第4世代(4G)から第5世代(5G)への移行が進んでいる。これに伴い、基幹ネットワークと基地局間にも大容量の光通信システムが必要とされている。5G基地局のネットワークアーキテクチャは図1に示すような構成であり、これまでフロントホールには25Gbpsで動作するEML CANが適用されていたが、通信量の増大によって100Gbpsで動作する製品が求められている。

25Gbps EML CANの構造は、インピーダンス不整合による高周波信号の反射点が多いため、100Gbpsの高速動作に必要な信号通過帯域の確保が困難であった⁽²⁾。

そこで今回、EML素子の広帯域化とともに、パッケージ構造のインピーダンス不整合箇所を見直し、かつパッケージとFPC(Flexible Printed Circuits)の間に金属製プレートを導入することによって信号反射の抑制が可能になり、信号通過帯域を拡大する新しい構造を考案した。また、外形は図2に示すように従来製品の25Gbps EML CANと同一にし、かつ25Gbps EML CANの部材を流用してコストを抑えつつ、一つのパルス信号に2ビットの情報を載せるPAM4変調方式に対応することで、4倍の通信速度である100Gbpsの光信号送信デバイスを実現した。

さらに、EML素子を一定温度に制御するための熱電変

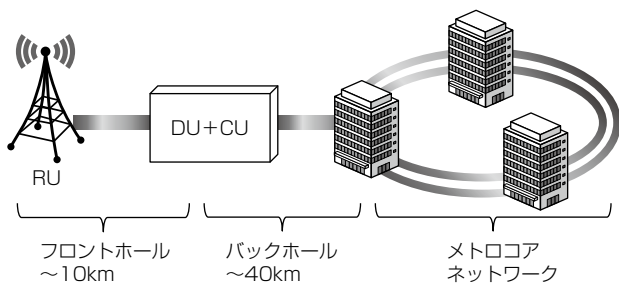


図1. 5G基地局のネットワークアーキテクチャ

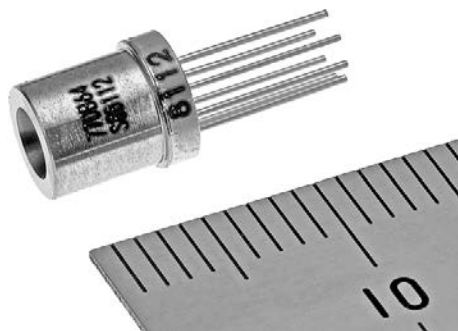
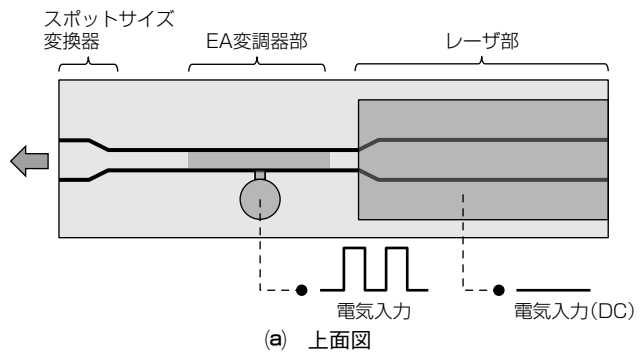


図2. 100Gbps EML CAN

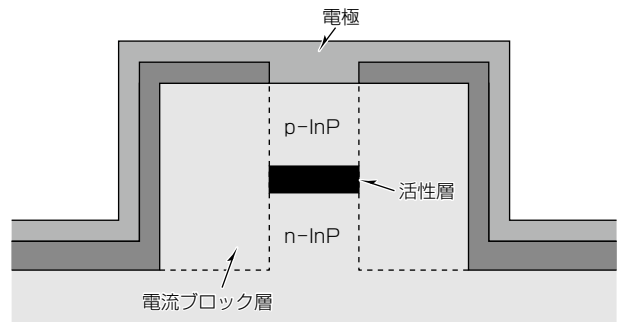
換素子の小型化によって、屋外設置の基地局用途で必要とされる $-40\sim+95^{\circ}\text{C}$ の広い温度範囲での動作を保証しつつ、また、従来製品25Gbps EML CANと同じ熱電変換素子を適用することによって、1Gbps当たりの消費電力を4分の1に低減することが可能になった。

2. EML素子設計

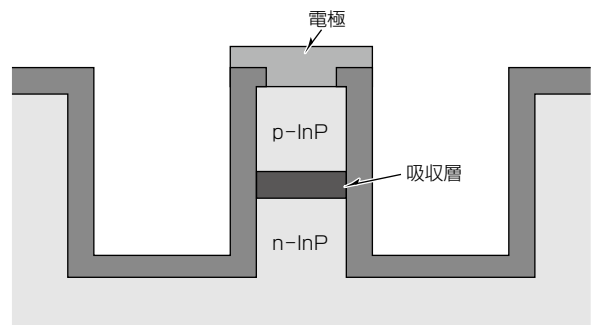
図3にEMLの素子構造を示す。高温特性に優れた埋め込み構造(図3(b))のDFB(Distributed Feed Back)と、狭い導波路幅でも高い光閉じ込め率が得られるハイメサ構造(図3(c))のEA変調器をモノリシック集積したハイブリッド構造を採用した⁽³⁾。100Gbpsという高速動作の実現には、EA変調器の容量の低減による広帯域化と消光比の確保の両立が課題になる。この課題を解決するため、まず帯域と消光比のトレードオフ関係を緩和できるハイメサ構造にし



(a) 上面図



(b) レーザ部の断面図



(c) EA変調器部の断面図

InP: インジウムリン

図3. EMLの素子構造図

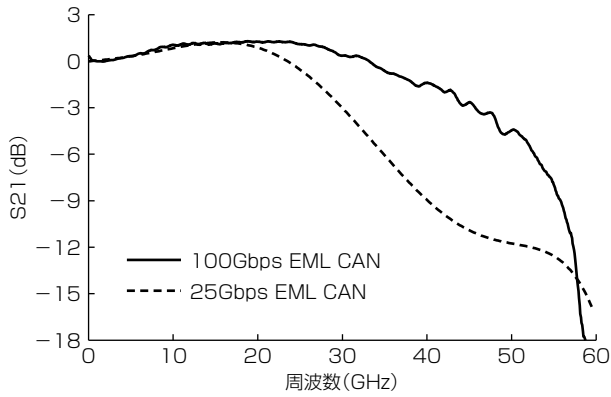


図4. EML素子の周波数応答特性(S21)

た。変調器長は従来よりも短尺化して容量の低減を行うが、トレードオフになる消光比は100G Lambda MSA(Multi Source Agreement)のLR1規格⁽⁴⁾を確保しつつ従来よりも緩和する設計を行った。

これによって、EML素子を誘電体基板に搭載した状態の周波数応答特性は図4に示すように、従来製品の25Gbps用EML素子の3 dBカットオフ周波数は~30GHzであったのに対して、100Gbps用EML素子は~45GHzに拡大していることが分かる。なお駆動条件は、LD (Laser Diode) 駆動電流 (I_{op}) = 100mA, EMLの設定温度 (T_{ld}) = 55℃, ケース温度 (T_c) = 25℃, EAオフセット電圧 (V_{off}) = -1.6Vである。またEA変調器の先にはスポットサイズ変換器を搭載することでシングルモードファイバへの結合効率を向上させている。

3. EML CANの広帯域化設計

100Gbpsで動作させるためには一般的に35GHz以上の通過帯域が必要である。デバイスを駆動するための回路の出力インピーダンスが50Ωであるため、EML CAN構造のインピーダンスを50Ωに最適化することで反射が低減し、広帯域化が可能になるが、従来のCAN構造でのインピーダンス不整合箇所を改善する必要がある。

この製品はトランシーバに組み込まれる際、図5のようにステム裏面にFPCを接合することが一般的である。これによって内部構造としては図6に示すように、FPCからステムガラス貫通部を介してEMLに接続して電気信号が送られるが、従来はステムガラス貫通部のインピーダンスが50Ωにできておらず、これによって帯域が制限され

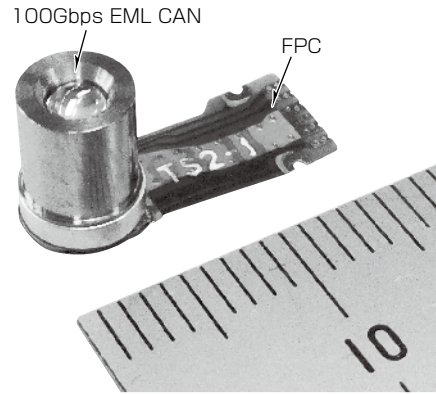


図5. FPC実装時の100Gbps EML CAN

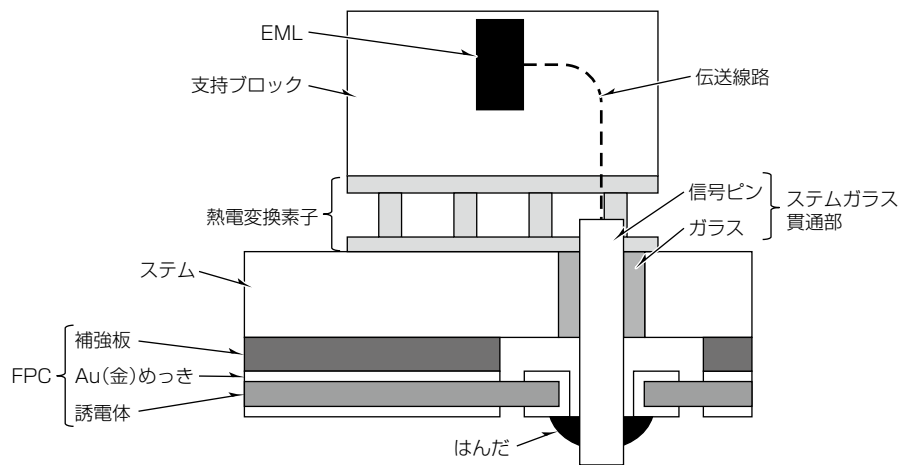


図6. 100Gbps EML CANの内部構造

ていた。そこで信号ピン径の細径化やガラス材質の低誘電率化を行うことで、図7のTDR(Time Domain Reflectometry)に示すように、ステムガラス貫通部のインピーダンスを50Ωに近づけることができた。また、FPCの補強板材質を導電性材料に変更し、GND(GrouND)層の上に当該補強板を実装することでステムとFPCのGNDを強化した。

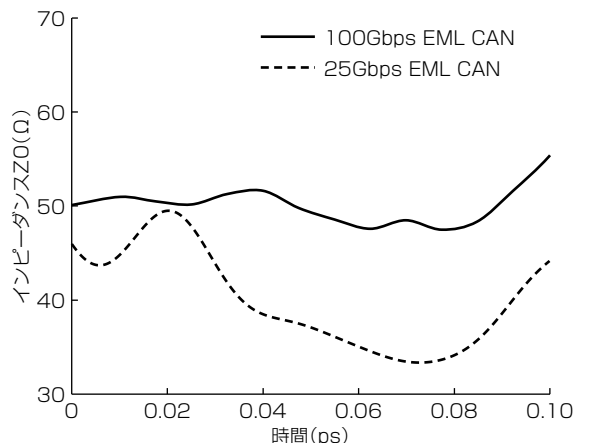


図7. ステムガラス貫通部でのTDR結果

4. EML CANの評価結果

表1に100Gbps EML CANの目標仕様及び評価結果を示す。

4.1 周波数応答特性(S21)の評価結果

図8に100Gbps EML CANと25Gbps EML CANの周波数応答特性(S21)を示す。25Gbps EML CANの3dBカットオフ周波数は~19GHzであったのに対して、100Gbps EML CANは~36GHzに拡大していることが分かる。なお、39GHzの急峻(きゆうしゅん)なディップは100Gbps EML CANの内部構造に起因する共振点の影響であるこ

表1. 100Gbps EML CANの目標仕様及び評価結果

項目	目標仕様	評価結果
発振波長	1,304.5~1,317.5nm	1,312.0nm
光出力(CW)@I _{op} = 100mA	≥10.5dBm	12.8dBm
変調時光強度振幅	0.8~4.6dBm	0.8~4.6dBm (I _{op} =60~80mA)
3dBカットオフ周波数	≥35GHz	36GHz
変調時消光比	≥5.0dB	5.6dB
TDECQ	≤3.4dB	2.5dB
熱電変換素子の消費電力	≤0.7W@-40℃ ≤0.5W@95℃	0.46W@-40℃ 0.38W@95℃

CW : Continuous Wave

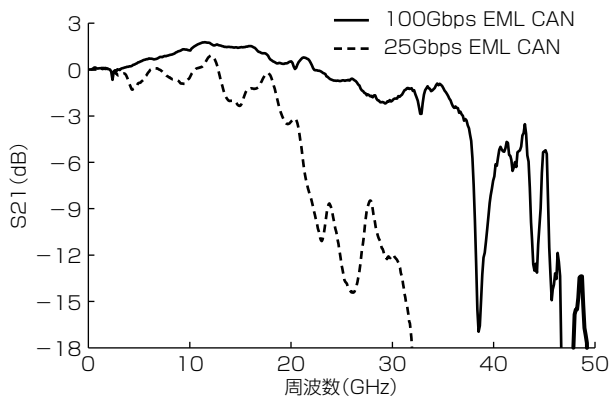


図8. 周波数応答特性(S21)

とが分かっているが、4.2節で述べる光波形は良好であるため影響は小さい。なお駆動条件はI_{op} = 100mA, T_{ld} = 55℃, T_c = 25℃, V_{off} = -1.6Vである。

4.2 光波形の評価結果

図9に光波形の評価系を示す。評価にはドライバ内蔵型DSP(Digital Signal Processor)を用い、53.125GBdのSSPRQ(Short Stress Pattern Random Quaternary)と呼ばれるPAM信号伝送方式でのデータパターンを生成して100Gbps EML CANに入力し、出力されたPAM4光波形を専用の光オシロスコープで評価する系を構築した。評価に当たってはPAM4光波形の評価規格であるTDECQ(Transmitter and Dispersion Eye Closure Quaternary)が最小になるように4値の強度レベルを調整した。

図10にオシロスコープで得られたBTB(Back To Back)のPAM4光波形を示す。評価の結果、変調時消光比(Outer ER) = 5.6dB, TDECQ = 2.5dBが得られ、標準化機関である100G Lambda MSAのLR1規格であるTDECQ ≤ 3.4dBを満足できた。なお、このときの駆動条件はI_{op} = 100mA, T_{ld} = 55℃, T_c = 25℃, V_{off} = -1.65Vである。また、Outer ERとTDECQの関係は図11に示すようにOuter ER ≤ 7.0dBでMSAのTDECQ規格を満足でき、V_{off}と変調時光強度振幅(Outer OMA)の関係は図12に示すようにI_{op} = 60~80mAで100G Lambda MSAのLR1規格MSAのOuter OMA規格を満足できる。

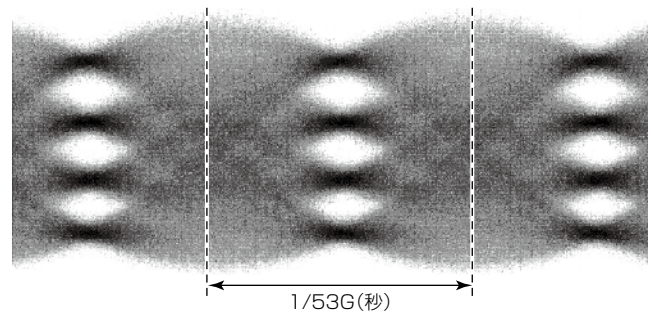
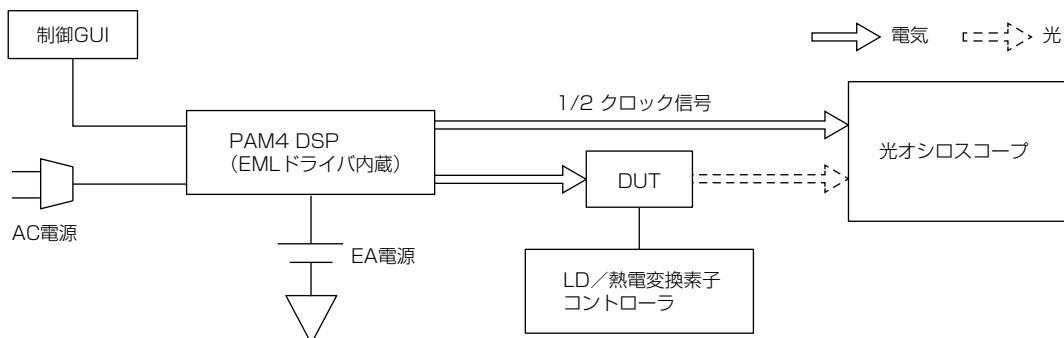


図10. PAM4動作時の光波形



GUI : Graphical User Interface, DUT : Device Under Test

図9. 光波形評価系

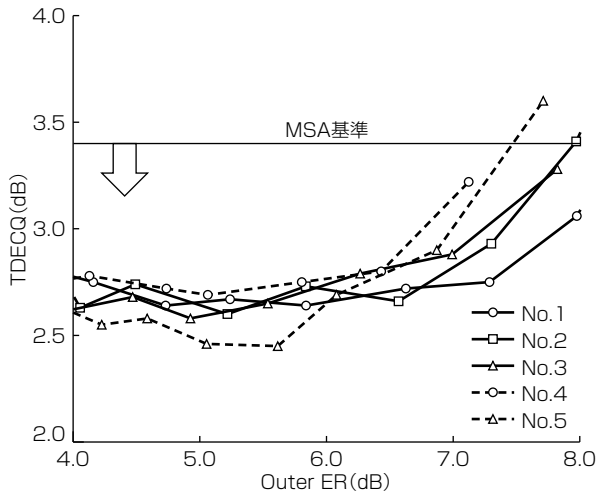


図11. Outer ERとTDECQの相関

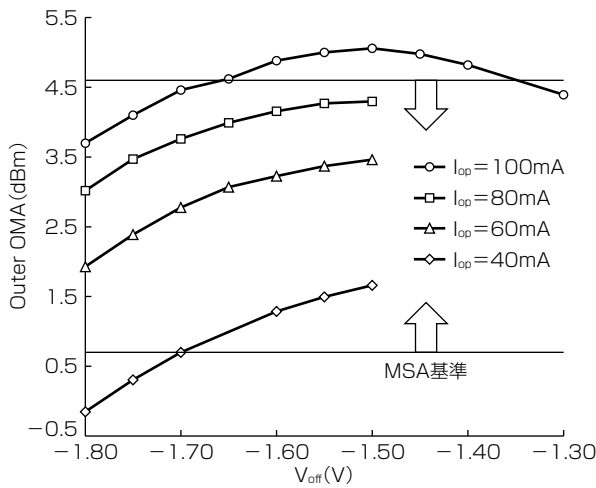


図12. VoffとOuter OMAの相関

4.3 消費電力の評価結果

図13に T_c を -40°C から $+95^\circ\text{C}$ に変化させたときの熱電変換素子の消費電力を示す。なお駆動条件は $I_{op} = 100\text{mA}$ 、 $T_{td} = 55^\circ\text{C}$ である。

25Gbps EML CANと比較して $+95^\circ\text{C}$ での消費電力が約0.05W上昇しているが、これはステムガラス貫通部のインピーダンス整合に伴ってステム材質を変更したことによって、熱伝導性が変わったことが影響している。目標仕様としては $0.7\text{W}@T_c = -40^\circ\text{C}$ 、 $0.5\text{W}@T_c = 95^\circ\text{C}$ とし、1 Gbps当たりの消費電力は25Gbps EML CANの4分の1に低減できた。

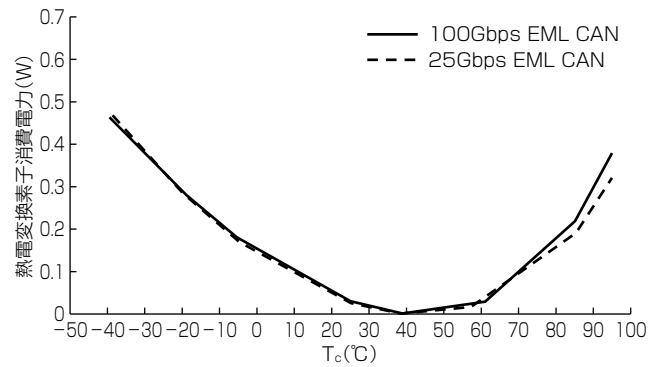


図13. 熱電変換素子消費電力の評価結果

5. むすび

5G基地局向け100Gbpsで動作する EML CANを開発した。広帯域化の方法としては、EML素子のEA変調器長を短尺化し、パッケージ構造ではステムガラス貫通部等のインピーダンス整合を行うことやFPCの補強板に導電性材料を導入することによって、信号反射の抑制が可能になり、35GHz以上の通過帯域を得ることが可能になった。

光波形の評価ではドライバ内蔵型DSPを用いて、BTBでOuter ER=5.6dB、TDECQ=2.5dB、Outer OMA=0.8~4.6dBm($I_{op} = 60\sim 80\text{mA}$)が得られ、100G Lambda MSAのLR1規格を満足する結果が得られた。熱電変換素子の消費電力では $0.46\text{W}@T_c = -40^\circ\text{C}$ 、 $0.38\text{W}@T_c = +95^\circ\text{C}$ になり、1 Gbps当たりの消費電力としては25Gbps EML CANの4分の1に低減し、光通信システムの省電力化にも大きく貢献する。

参考文献

- (1) 渡辺洋次郎, ほか: 第5世代移動通信システム向け25Gbps CAN型EML, 三菱電機技報, **93**, No.3, 168~171 (2019)
- (2) Okada, N., et al.: Cost-Effective 10.7Gbit/s Cooled TOSA Employing Rectangular TO-CAN Package Operating up to 90°C , Optical Fiber Communication Conference, 2010, JWA38 (2010)
- (3) Morita, Y., et al.: $1.3\mu\text{m}$ 28Gb/s EMLs with Hybrid Waveguide Structure for Low-Power-Consumption CFP2 Transceivers, Optical Fiber Communication(OFC), 2013, America, paper OTh4H.5 (2013)
- (4) 100G Lambda MSA: 100G-FR and 100G-LR Technical Specifications Rev2.0 (2018)