

# 44.6Gbps DQPSK送信器用波長可変DFBレーザアレー・MZ変調器集積デバイス

瀧口 透\* 後藤田光伸\*\*\*  
 松本啓資\*\* 蒔田良子\*\*\*  
 笹畑圭史\*\*

Tunable DFB Laser Array Integrated with Mach-Zehnder Modulators for 44.6Gbps DQPSK Transmitter

Toru Takiguchi, Keisuke Matsumoto, Yoshifumi Sasahata, Mitsunobu Gotoda, Ryoko Makita

## 要 旨

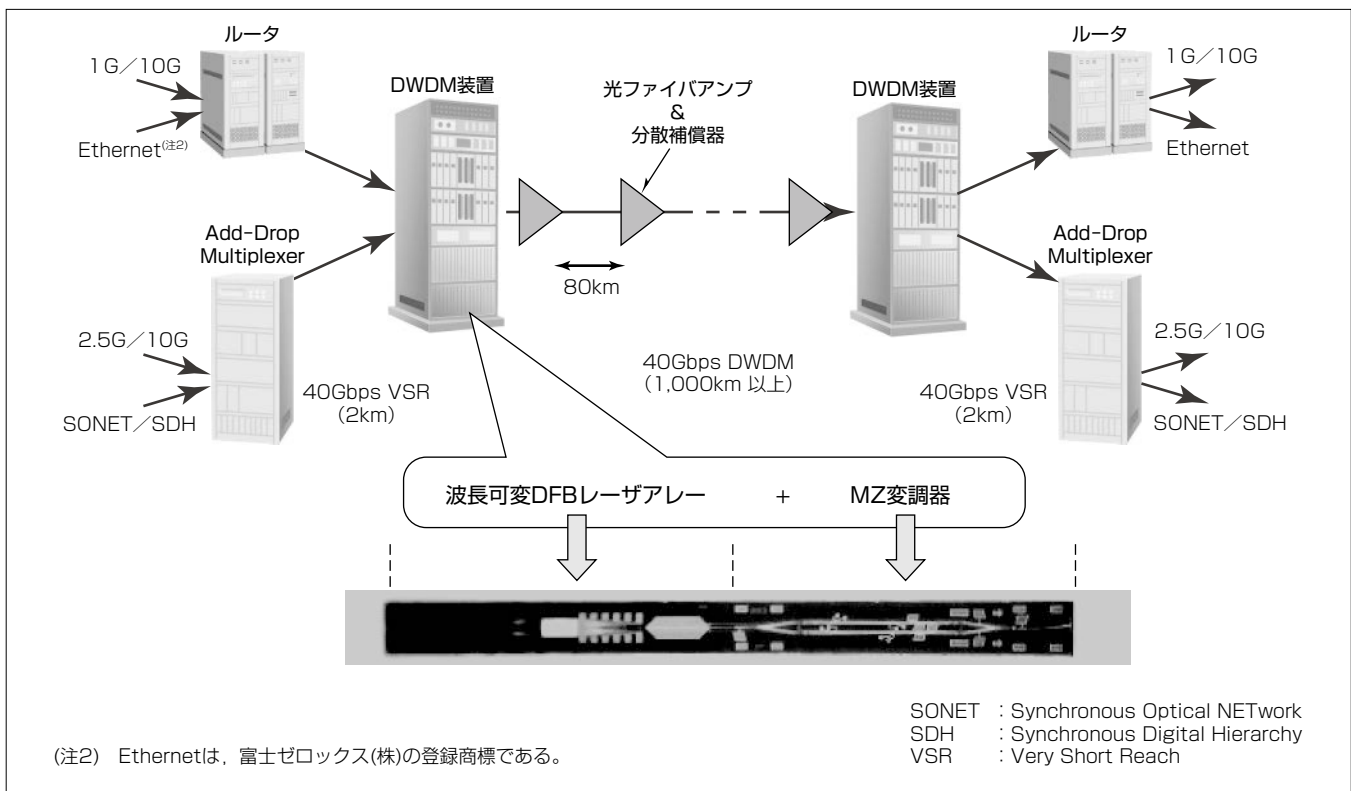
長距離大容量の通信コアメトロ系で、光ファイバを効率的に使用するため、波長の異なる複数の信号を同時に伝送する光波長多重伝送DWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing)システムが用いられている。近年、伝送速度も10Gbpsから40Gbpsに増速されてきている。これに伴い、変調方式も強度変調から位相変調が用いられるようになってきている。40GbpsのDWDMシステムでは、位相変調の一つであるRZ-DQPSK(Return-to-Zero-Differential Quadrature Phase Shift Keying)方式がよく用いられている。この変調方式は、光雑音耐性、波長分散耐性、非線形耐性が高いなどの長距離伝送に有利な優れた特性を持っている。

RZ-DQPSK方式では、一般に波長可変光源のモジュールとLN(Lithium Niobate:LiNbO3)変調器のモジュールが用いられている。LN変調器は、サイズが大きく、駆動

電圧が高いというデメリットがあり、一方InP系材料を用いたMZ(Mach-Zehnder)変調器は、サイズが小さく、駆動電圧が低いという利点とともに、光源の半導体レーザとモノリシック集積できるという利点を併せ持つ。今回三菱電機は、44.6Gbps DQPSK送信器用として、InP系材料を基本に、波長可変DFB(Distributed Feed-Back)レーザアレー・MZ変調器を全て1チップにモノリシック集積した素子を世界で初めて(注1)開発し、L帯・ITU-T(International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector)グリッド50GHz間隔での発振波長制御、及び良好な44.6Gbps DQPSK変調波形を確認した。

このデバイスは44.6Gbps DQPSK送信器用として有用である。

(注1) 2012年12月1日現在、当社調べ



## 40Gbps長距離大容量通信コアメトロ系DWDMシステム

40Gbpsへの伝送速度向上に伴い、変調方式も強度変調から位相変調の一つであるRZ-DQPSK方式が用いられている。今回、送信器として従来の波長可変光源モジュールとLN変調器モジュールの置き換えとして、小型化・高効率化が可能なInP系材料を用いた波長可変DFBレーザアレーとMZ変調器を1チップにモノリシック集積化した素子を開発した。

### 1. ま え が き

長距離大容量の通信コアメトロ系で、光ファイバを効率的に使用するため、波長の異なる複数の信号を同時に伝送する光波長多重伝送DWDMシステムが用いられている。近年、伝送速度も10Gbpsから40Gbpsに増速されてきている。これに伴い、変調方式も強度変調から位相変調が用いられるようになってきている。40GbpsのDWDMシステムでは、位相変調の一つであるRZ-DQPSK方式がよく用いられている<sup>(1)(2)(3)</sup>。この変調方式は、光雑音耐性、波長分散耐性、非線形耐性が高いなどの長距離伝送に有利な優れた特性を持っている。

RZ-DQPSK方式では、一般に波長可変光源のモジュールとLN変調器のモジュールが用いられている。LN変調器は、サイズが大きく、駆動電圧が高いというデメリットがあり、一方InP系材料を用いたMZ変調器は、サイズが小さく、駆動電圧が低いという利点とともに、光源のレーザとモノリシック集積できるというメリットを持つ。

今回、44.6Gbps DQPSK送信器用として、InP系材料を基本に、波長可変DFBレーザアレーとMZ変調器を全て1チップにモノリシック集積した素子を世界で初めて開発し、L帯・ITU-Tグリッド50GHz間隔での発振波長制御、及び良好な43Gbps DQPSK変調波形を確認した<sup>(4)(5)</sup>。

### 2. 素子構造と設計

図1に素子の構成を、図2に素子の外観を示す。素子は波長可変DFBレーザアレーの部分とMZ変調器の部分からなる。波長可変DFBレーザアレーは、12個のレーザからなるレーザアレー、12個のレーザに連なる導波路を一つの導波路にまとめるMMI(Multi Mode Interference)、光を増幅するSOA(Semiconductor Optical Amplifier)からなる。素子サイズは9.6×0.75×0.1(mm)である。

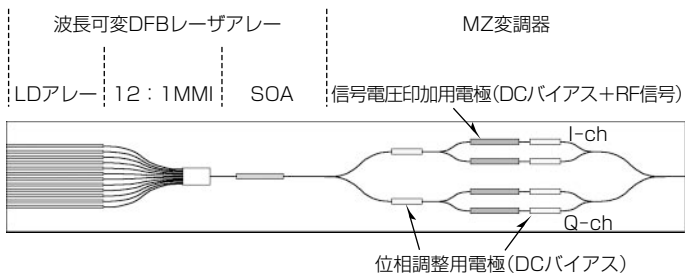


図1. 素子の構成

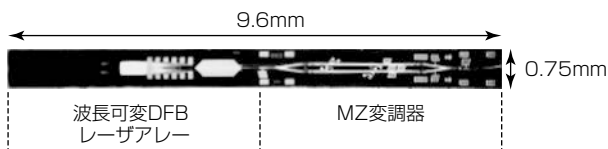


図2. 素子の外観

MZ変調器は、I-ch、Q-chと呼ばれる2つの子MZを更に束ねた形で構成する親MZである。子MZは、信号電圧印加用電極と位相調整用電極を持つ。また親MZは、 $\pi/2$ 位相シフト電極を持つ。

ここで、DQPSK変調について述べる。44.6Gbpsの信号は、22.3Gbpsの2つの信号に分けられ、ドライバに送付される。ドライバはpush-pullの駆動信号をMZの信号電圧印加用電極に印加する。図3に示すように、I-chの信号光

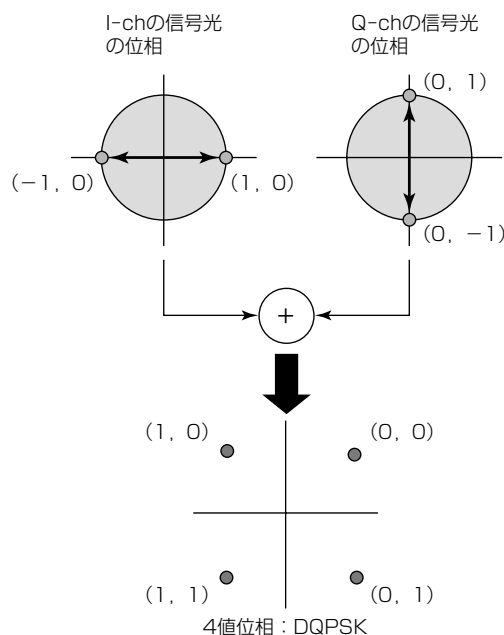


図3. DQPSK送信器の構成と変調光の位相

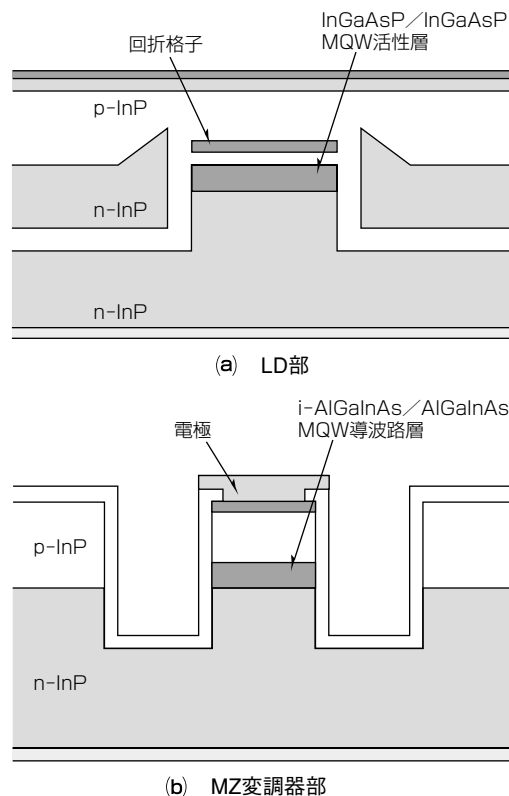


図4. 素子断面構造

の位相は、(1, 0)と(-1, 0)の2点間を移動する。Q-chの信号光も同様であるが、I-chに対して、 $\pi/4$ の位相差を付与するので、(0, 1)と(0, -1)の2点間を移動する。最終的に2つの光の和が出力されるため、変調光の位相は、 $1/4\pi$ ,  $3/4\pi$ ,  $5/4\pi$ ,  $7/4\pi$ のいずれかの値をとる。

図4(a)にLD(Laser Diode)部の断面構造を示す。LD・SOAの活性層はInGaAsP/InGaAsP-MQW(Multiple Quantum Well)からなり、p/n/p-InP埋め込み構造にしている。一方、図4(b)にMZ変調器部の断面構造を示す。変調器部はi-AlGaInAs/AlGaInAs-MQWからなり、ハイメサ構造としている。i-AlGaInAs/AlGaInAs-MQWは、InGaAsP/InGaAsP-MQWより電圧印加時の屈折率変化が大きいこと、ハイメサ構造は、埋め込み構造より容量が小さいことによる。導波路部分は、InGaAsP層によって形成している。

### 3. 素子特性

図5にDFBに100mAの電流を流した時の、ファイバ光出力とSOA電流の関係を示す。10℃, SOA電流200mAで、Pf=1.3mWが得られ、SOA電流値でPfのコントロールが可能である。図6にL帯, 50GHz間隔の全波長の発振波長スペクトルを示す。図7に各チャンネルのサイドモード抑圧

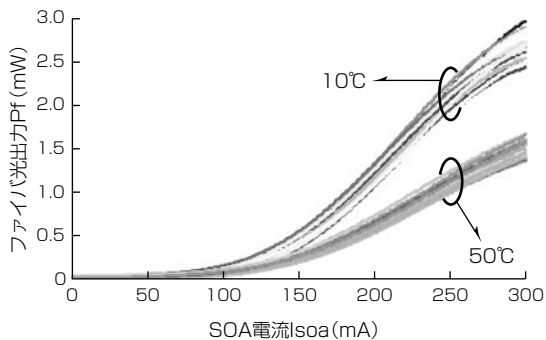


図5. ファイバ光出力のSOA電流依存性

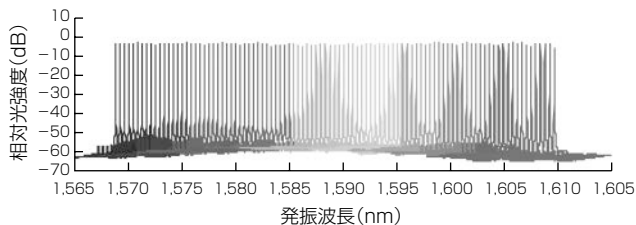


図6. 発振波長スペクトル

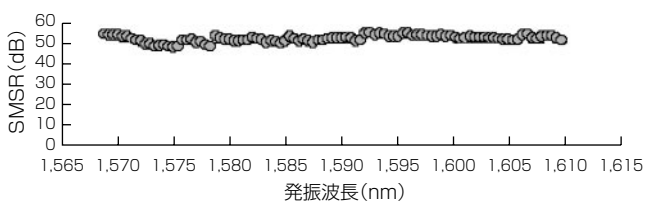


図7. 各チャンネルのサイドモード抑圧比(SMSR)

比SMSR(Side Mode Suppression Ratio)を示す。全波長で、SMSR>47dBと、優れた単一縦モード性を実現した。図8に発振中心波長と素子温度の関係を示す。素子温度10~50℃で、L帯の39.7nmの範囲(1,572.06~1,611.79nm)で、50GHz間隔で発振波長制御できることを確認した。

図9に、波長1,586nm, 素子温度25℃でのQ-chのDC消光特性を示す。信号電圧印加用電極に与えるDCバイアス(Vb)を深くすると、 $V\pi$ は小さくなる。これは、MQWのバンド端が光の波長に近づくため、小さな電圧で大きな屈折率変化が得られるからである。図9に示すようにDCバイアスによって $V\pi$ が調整可能であり、DCバイアス電圧-7Vで、 $2V\pi=3V$ と低い値が得られた。また、消光比も25dB以上と良好であった。

図10に、Q-chの周波数特性を示す。MZ変調器は50Ω抵抗で終端した。3dB帯域幅は、20GHzであり、44.6Gbpsで4値位相変調が可能であることが確かめられた。

図11に44.6Gbps-DQPSK変調波形を示す。22.3Gbaud,  $2^{31}$ -1PRBSパターンで、push-pull電圧3Vで評価した。I-ch, Q-ch内の各アーム間で、位相調整用電極に電圧を印加して、位相を $\pi$ ずらすように設定し、またI-chとQ-chの間では、位相を $\pi/2$ ずらすように設定した。図から分かるように4値位相変調特有の波形パターンが見られ、DQPSK変調が実現できているのが確認できる。図12に変調時の光スペクトルを示す。良好なスペクトルが得られている。図13にバランスドレシーバで受光した復調後のI-ch及びQ-chの波形を示す。I-ch及びQ-chに印加された信号が、きれいに復調されているのが分かる。図11, 図13に示すように良好なアイパターンが見られ、44.6Gbps-

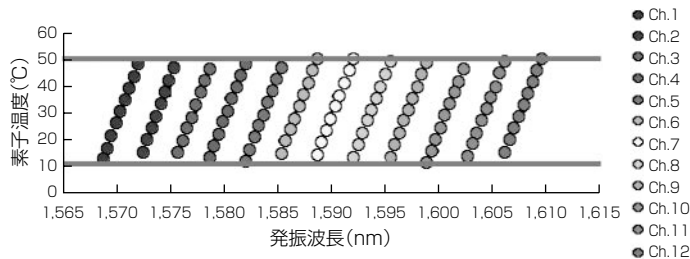


図8. 発振中心波長と素子温度の関係

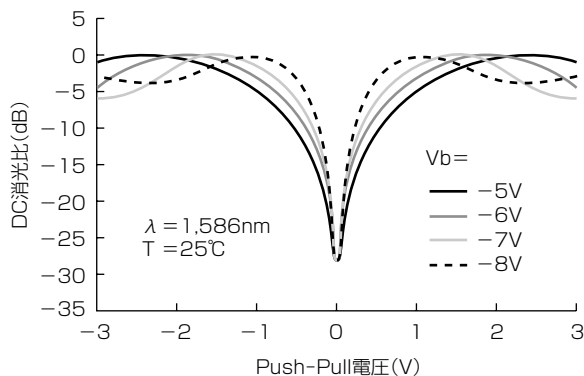


図9. DC消光特性

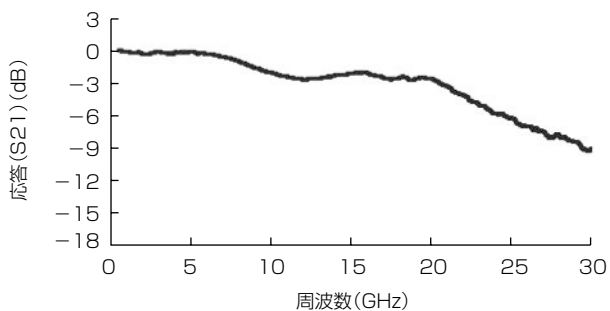


図10. Q-chの周波数特性

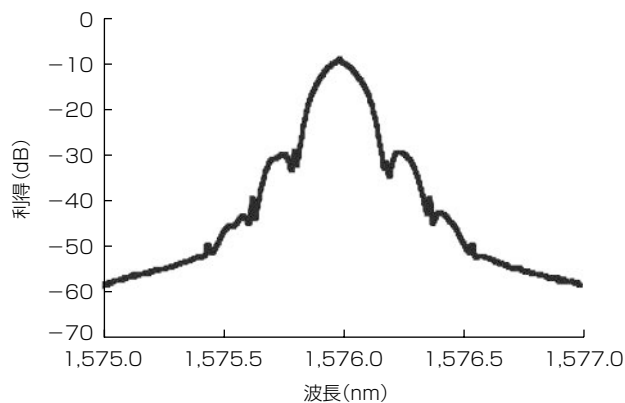


図12. 変調時の光スペクトル

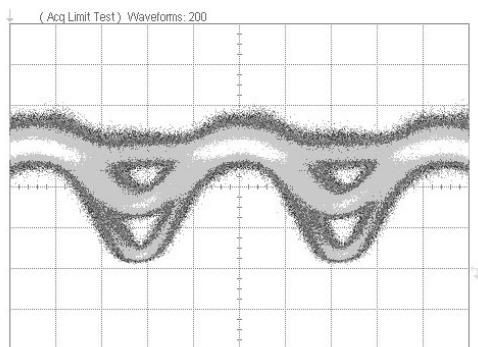


図11. 44.6Gbps-DQPSK変調波形

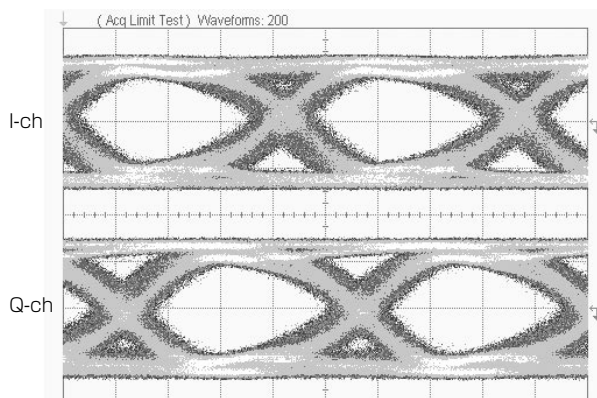


図13. 受信波形(back to back)

DQPSK変調を実現できたことを確認した。

#### 4. む す び

InP系材料で波長可変DFBレーザアレーとMZ変調器を1チップにモノリシック集積したデバイスで、L帯・ITU-Tグリッド50GHz間隔での発振波長制御、及び良好な44.6Gbps DQPSK変調波形を確認した。このデバイスは44.6Gbps DQPSK送信器用として有用である。

#### 参 考 文 献

- (1) Sano, A., et al.: 55 x 86Gb/s CSRZ-DQPSK transmission over 375 km Using Extended L-band Erbium-Doped Fiber Amplifiers, Optical Communications European Conference, ECOC 2006, 1~2 (2006)
- (2) Sugiyama, M., et al.: Low-drive-voltage and compact RZ-DQPSK LiNbO3 Modulator, Optical Communication 2007 33rd European Conference and Exhibition, ECOC 2007, 1~2 (2007)

- (3) Kikuchi, N., et al.: 80-Gbit/s InP DQPSK modulator with an n-p-i-n structure, 33rd European Conference and Exhibition on Optical Communication, ECOC 2007 (2007)
- (4) Takiguchi, T., et al.: 40G RZ-DQPSK Transmitter Monolithically Integrated with Tunable DFB Laser Array and Mach-Zehnder Modulators, Optical Fiber Communication Conference and Exposition (OFC/NFOEC), 2011 and the National Fiber Optic Engineers Conference (2011)
- (5) Saito, T., et al.: Tunable DFB Laser Array Integrated with Mach-Zehnder Modulators for 44.6Gbps DQPSK Transmitter, Semiconductor Laser Conference (ISLC), 2012 23rd IEEE International, 36~37 (2012)