

# QSFP28トランシーバ向け 小型集積APD ROSA

大島伸夫\* 白尾瑞基\*\*\*  
竹村亮太\* 佐藤義也\*\*\*  
三田大介\*\*

*Compact Integrated APD ROSA for QSFP28 Transceiver*

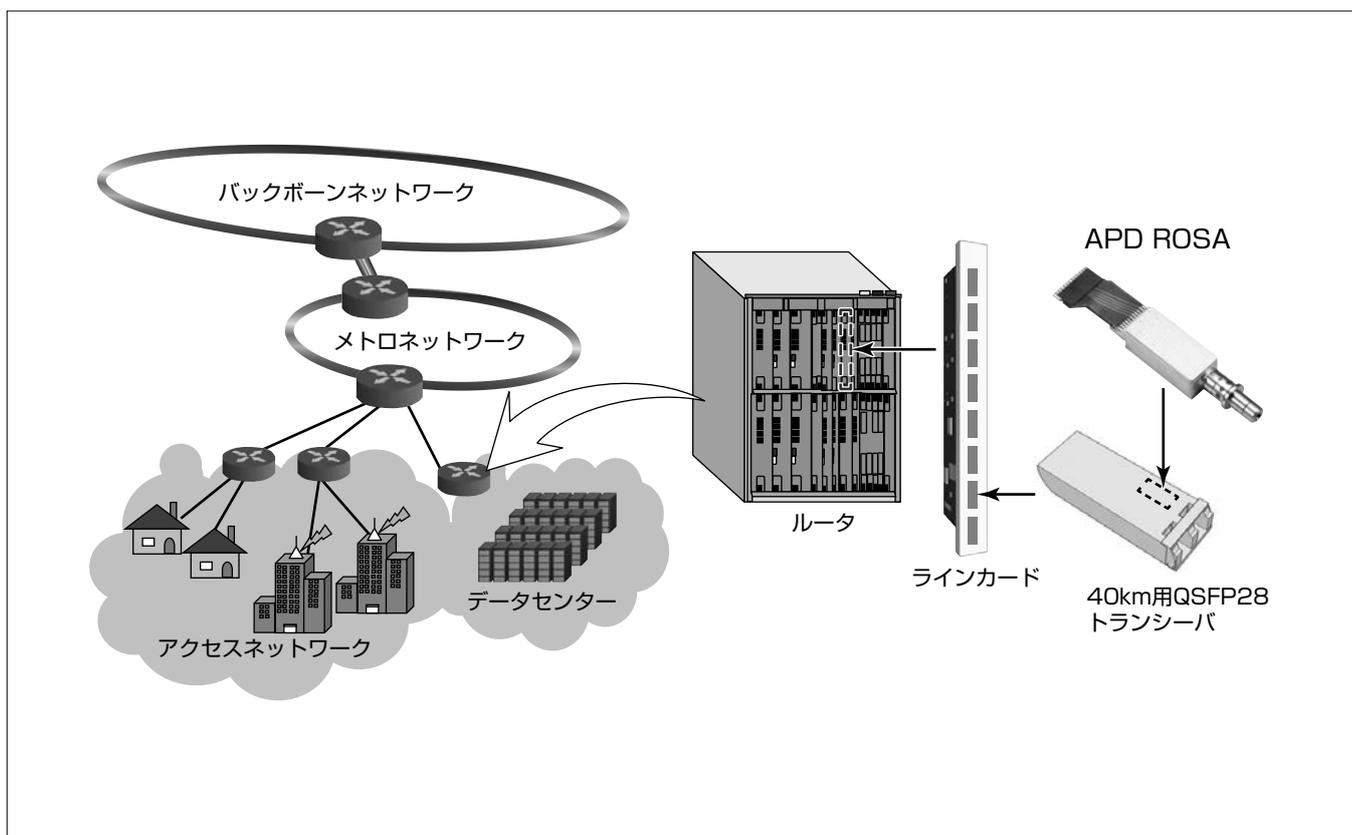
*Nobuo Ohata, Ryota Takemura, Daisuke Mita, Mizuki Shirao, Yoshiya Sato*

## 要旨

近年、携帯端末の普及や情報のクラウド化に伴って通信トラフィックが急激に増加しており、光通信機器には高速・大容量化が求められている。ルータやスイッチに搭載されるラインカードの容量を増やすために、高速な100Gbps光トランシーバの小型・低消費電力化が期待されている。現在100Gbpsトランシーバは業界標準仕様であるCFP-MSA(Centum Gbps Form-factor Pluggable Multi Source Agreement)で規定されるCFPやCFP2が主流であるが、CFPと比べて体積比が1/14になるQSFP(Quad Small Form-factor Pluggable) 28への更なる小型化開発が進められている。伝送距離40km用途でCFPからQSFP28への小型化は既存技術の延長では難しい。40km用途ではファイバ中の光の伝搬損失が大きく、CFPトラ

ンシーバでは光信号を増幅して受信する構成をとっており、受信部には光信号を増幅するSOA(Semiconductor Optical Amplifier)モジュールと光信号を受信するPD(PhotoDiode) ROSA(Receiver Optical Sub Assembly)の2つの搭載が必要なためである。そこで、SOAモジュールなしで40kmを伝送させるため、APD(Avalanche PhotoDiode) ROSAを用いた規格の検討が進められ、ITU-T(International Telecommunication Union-Telecommunication standardization sector) G.959.1 4L1-9D1Fで標準化された。

三菱電機ではこの標準規格を満足し、QSFP28トランシーバに搭載可能な小型、低消費電力、高感度のAPD ROSAを開発した。



## 40km用QSFP28トランシーバ向けAPD ROSAの適用例

通信機器の高速・大容量化のため、データセンター間の接続等に40km用の100Gbps光トランシーバの需要が増加している。特にルータやスイッチに搭載するラインカードの容量を増やすため、小型のQSFP28トランシーバが求められている。当社ではQSFP28トランシーバに搭載可能な小型、低消費電力のAPD ROSAを開発した。

### 1. ま え が き

スマートフォンやタブレット等の携帯端末の普及や情報のクラウド化に伴って通信トラフィックが急激に増加しており、光通信機器には高速・大容量化が求められている。ルータやスイッチに搭載される光トランシーバとして通信速度が100Gbpsの高速な光トランシーバの需要が増加しており、各社が光トランシーバの小型化開発を進めている。光トランシーバとしては業界標準仕様であるCFPトランシーバ<sup>(1)</sup>が主流であったが、CFPと比較して体積比が約1/14になるQSFP28トランシーバの開発が進められている。QSFP28のサイズに小型化を実現する上で特に難易度が高いのが、伝送距離40kmの用途である。40kmの用途ではファイバ中の光の伝搬損失が大きく、従来のCFPトランシーバでは光信号を増幅させて受信する構成をとっていた。そのため、受信部には光信号を増幅するSOAモジュールと光信号を受信するPD ROSAの2つが搭載され、トランシーバの小型化の妨げとなっている。そこで、APD ROSAだけで40kmを伝送させる検討が進められ、ITU-T G.959.1 4L1-9D1Fで規格化された<sup>(2)</sup>。表1に4L1-9D1Fで規定される仕様を示す。当社ではこの標準規格を満足するQSFP28トランシーバに搭載可能な100Gbps APD ROSAを開発した。

### 2. APD ROSAの構成

図1にAPD ROSAの構成を示す。受信信号はビットレート27.95249Gbpsの異なる4つの波長が多重化された光信号である。光信号はコリメートレンズによってコリ

表1. APD ROSAの目標仕様

項目	値	
ビットレート (Gbps)	27.95249	
波長 (nm)	レーン0	1,294.53~1,296.59
	レーン1	1,299.02~1,301.09
	レーン2	1,303.54~1,305.63
	レーン3	1,308.09~1,310.19
最小受信感度 (dBm)	-18.9	

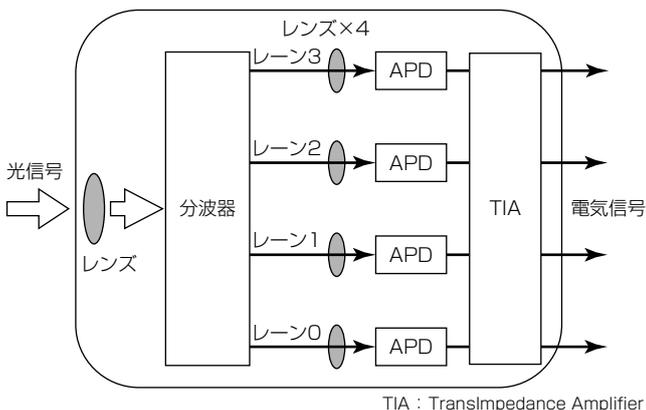


図1. APD ROSAの構成

メート光に変換される。APD ROSAには多重化された光信号を受信するために、波長を分離するための波長分波器が配置される。分波器によってレーン0~3の4つの波長へ分離する。分波された4つの光信号をAPDに集光するために、4つのレンズが配置される。光信号はAPDで信号の増幅と電流への変換が行われ、電流はTIAによって電圧信号へと変換された後にROSAから出力される。

### 3. APD ROSAの設計

#### 3.1 APDの設計

高い受信感度を得るためにはAPD素子単体で約28Gbpsの動作に必要な広い帯域と高い受光感度、低い暗電流が求められる。これらの要求を満たすAPDの設計を行った。図2にAPD素子の構造を示す。APD構造はプレーナ型の裏面入射型構造を採用した。プレーナ型構造はエピ層中に部分的にpn接合を形成したものであり、劣化しやすいpn接合界面が素子の外部にさらされず、暗電流の低減と高信頼性を見込むことができる。裏面入射型構造は基板表面にエピ成長で形成した光吸収層に対し、基板裏面から光を入射する構造である。この構造では光吸収層を透過した光がAPDの最表面に形成される反射率90%を持つメタルミラーで反射され、光吸収層に再吸収されるため、高感度化が可能である。

受光感度と帯域の設計には増倍層と光吸収層厚の設計が重要である。電子よりもドリフト速度の遅い正孔の増倍は帯域劣化要因となるが、増倍層を薄膜化していくと正孔の増倍が抑制されるため帯域が改善される。そのため広帯域化の観点では増倍層は薄いほど望ましいが、薄膜化には暗電流の増加というデメリットがある。この設計では帯域と暗電流の両方の特性を両立させる増倍層の厚み100nmを採用した。図3に増倍率10における光吸収層厚と3dBの周波数帯域の計算結果を示す。増倍層厚100nmで光吸収層厚が600nmとなるときの帯域は最も広くなり、18.5GHzとなる。そのため、光吸収層厚は600nmとした。なお、この設計での受光感度は約0.8A/Wであり、良好な感度が得られる。

#### 3.2 APD ROSAの設計

ROSAを設計する上で良好な最小受信感度を得るため

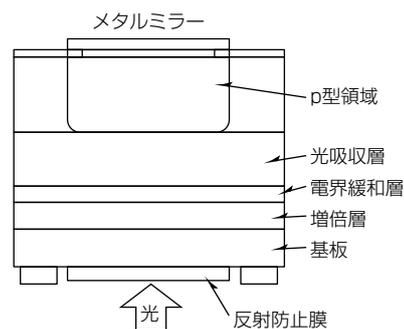


図2. APD素子の構造

には、ROSA内部の光学損失の低減と隣接する信号レーンの光学アイソレーションを確保することが重要である。ROSAの光学損失とアイソレーションは分波器が支配的である。光学損失はできるだけ小さい方が好ましく、目標は1.0dB以下に定めた。一方、光学アイソレーションについては隣接レーンの影響によって、受信感度が劣化しないレベルまで抑制する必要がある。図4は光学アイソレーション量に対するペナルティ量の計算結果である。受信信号以外のレーンは、受信信号のパワーよりも5.5dB高い光信号が入力されるとして計算を行った。光学アイソレーション量が27dBであればペナルティ量は0.05dB以下となり、無視できるレベルになる。光学損失1.0dB、アイソレーション量は27dBを満足する分波器として光学フィルタを用いた分

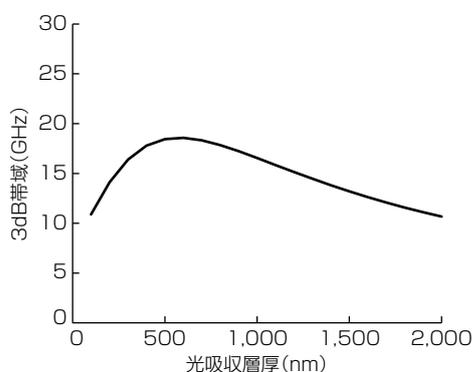


図3. 光吸収層厚に対する3dB帯域

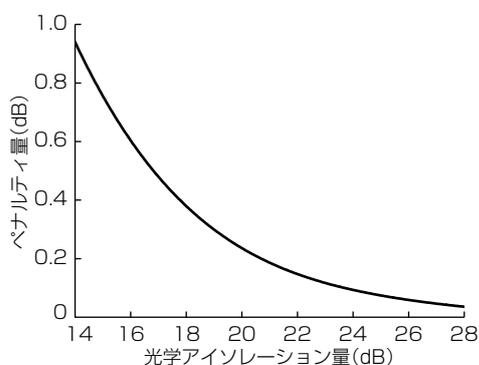


図4. 光学アイソレーション量に対するペナルティ量

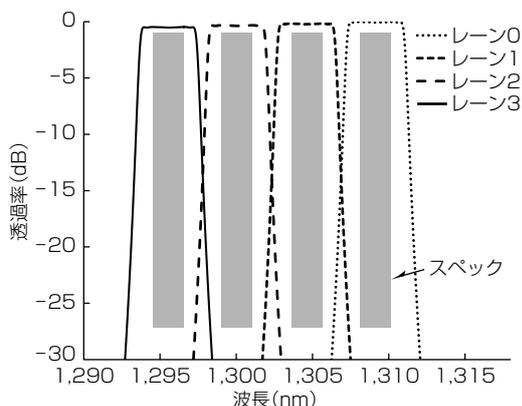


図5. 分波器の透過スペクトルの計算結果

波器を採用した。分波器はガラスプリズムにレーン0～3の4つ波長帯を抜き出す光学フィルタを取り付けた構造である。

図5に分波器の透過スペクトルの計算結果を示す。グラフのハッチング部は各レーンの波長帯域で光学損失1.0dB、アイソレーション27dBを示す領域である。つまり、設計上スペクトル特性がハッチング部に接触してはならない領域である。全レーンともフィルタの損失は0.6dB以下であり、スペックを満たす特性が得られた。隣接するレーンの光学アイソレーションも30dB以上得られている。

#### 4. APD及びAPD ROSAの特性

図6にAPD素子の周波数応答特性を示す。APDの増倍率は10であり、そのときの3dB帯域は計算値に近い18GHzが得られた<sup>(3)</sup>。

図7は分波器の透過スペクトルの評価結果を示す。分波器の損失は全レーンで0.5dB以下の良好な特性を得た。また、光学アイソレーションも全レーンで30dB以上であり、設計どおり良好な特性を確認した。APD、分波器ともに良好な特性が得られたため、APD ROSAを作製し、評価を行った。

図8にAPD ROSAの外観を示す。ROSAのサイズは24.6×6.55×5.1(mm)であり、QSFP28トランシーバへの搭載が可能である。

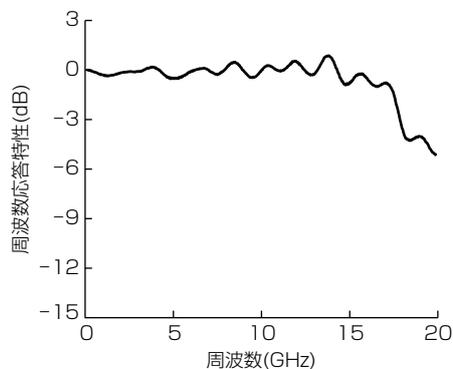


図6. 周波数応答特性

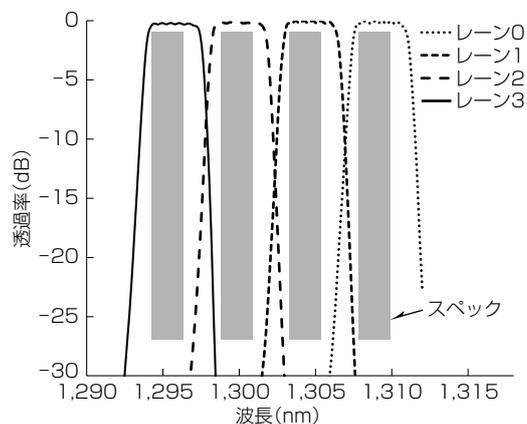


図7. 分波器の透過スペクトルの評価結果

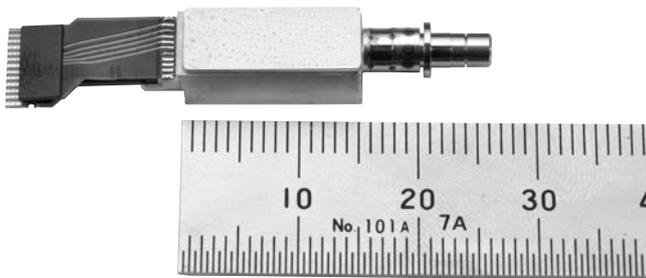


図8. APD ROSA

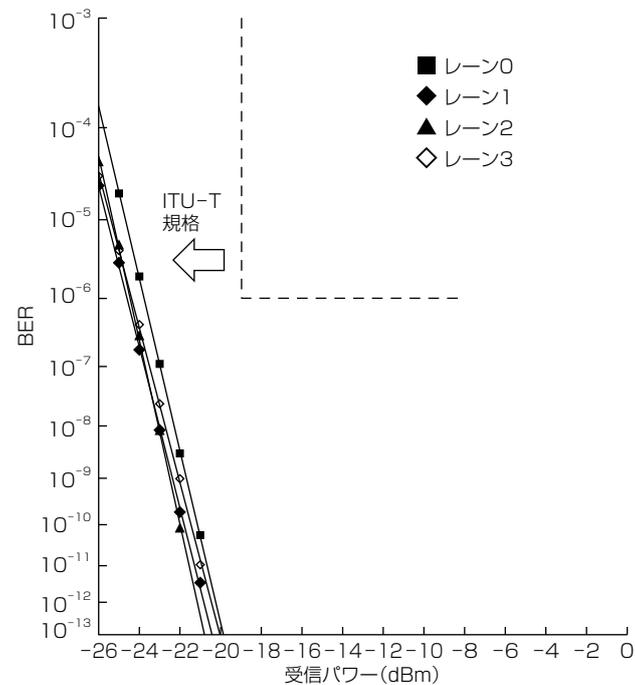


図9. BER特性

図9にROSAの温度25℃におけるBER(Bit Error Ratio)特性を示す。評価に使用した光源はビットレート27.95249Gbps, PRBS(Pseudo Random Bit Sequence)  $2^{31}-1$ で変調され、レーン0～3の光信号の消光比はそれぞれ8.9dB, 10.0dB, 9.2dB, 9.6dBである。APD電圧は全レーン19Vに設定した。誤り訂正を考慮したエラー率 $10^{-6}$ の最小受信感度はレーン0～3はそれぞれ-23.7dBm, -24.6dBm, -24.5dBm, -24.4dBmとなり、ITU-T G.959.1 4L1-9D1Fの受信感度-18.9dBmを満足した。

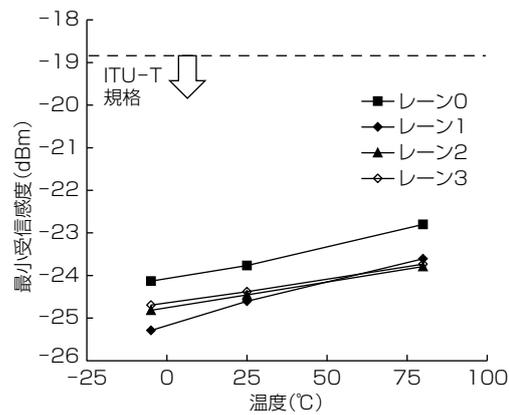


図10. 最小受信感度の温度特性

図10にROSAの温度を-5～80℃で変化させたときの最小受信感度を示す。受信感度は80℃のときに最も低下するがレーン0～3はそれぞれ、-22.8dBm, -23.6dBm, -23.8dBm, -23.7dBmとなり、規格を満足する良好な結果を得た。開発したAPD ROSAの消費電力はROSAのケース温度80℃のときに最大約0.42Wであり、QSFP28トランシーバへ適用可能な低消費電力を実現した。

### 5. む す び

伝送距離40km用の100Gbps集積APD ROSAを開発した。ROSAのサイズは24.6×6.55×5.1(mm)、消費電力は最大で0.42Wと非常に小さく、QSFP28トランシーバへの適用が可能である。最小受信感度はROSAの温度が-5℃～80℃の範囲で、全てのレーンで-22.8dBm以上が得られており、ITU-T G.959.1 4L1-9D1Fを満足する良好な結果を確認した。

### 参 考 文 献

- (1) CFP MSAのホームページ  
<http://www.cfp-msa.org>
- (2) ITU-T G.959.1  
<http://www.itu.int/en/ITU-T/Pages/default.aspx>
- (3) 竹村亮太, ほか: 高感度・低暗電流動作共振型25Gbps-APD, 電子情報通信学会2016年総合大会講演論文集, 206 (2016)