

40Gbps DQPSK用クワッドPDモジュール

西川智志* 加治屋 哲**
堀口裕一郎*
竹村亮太**

Quad PD Module for 40 Gbps DQPSK Optical Transmission

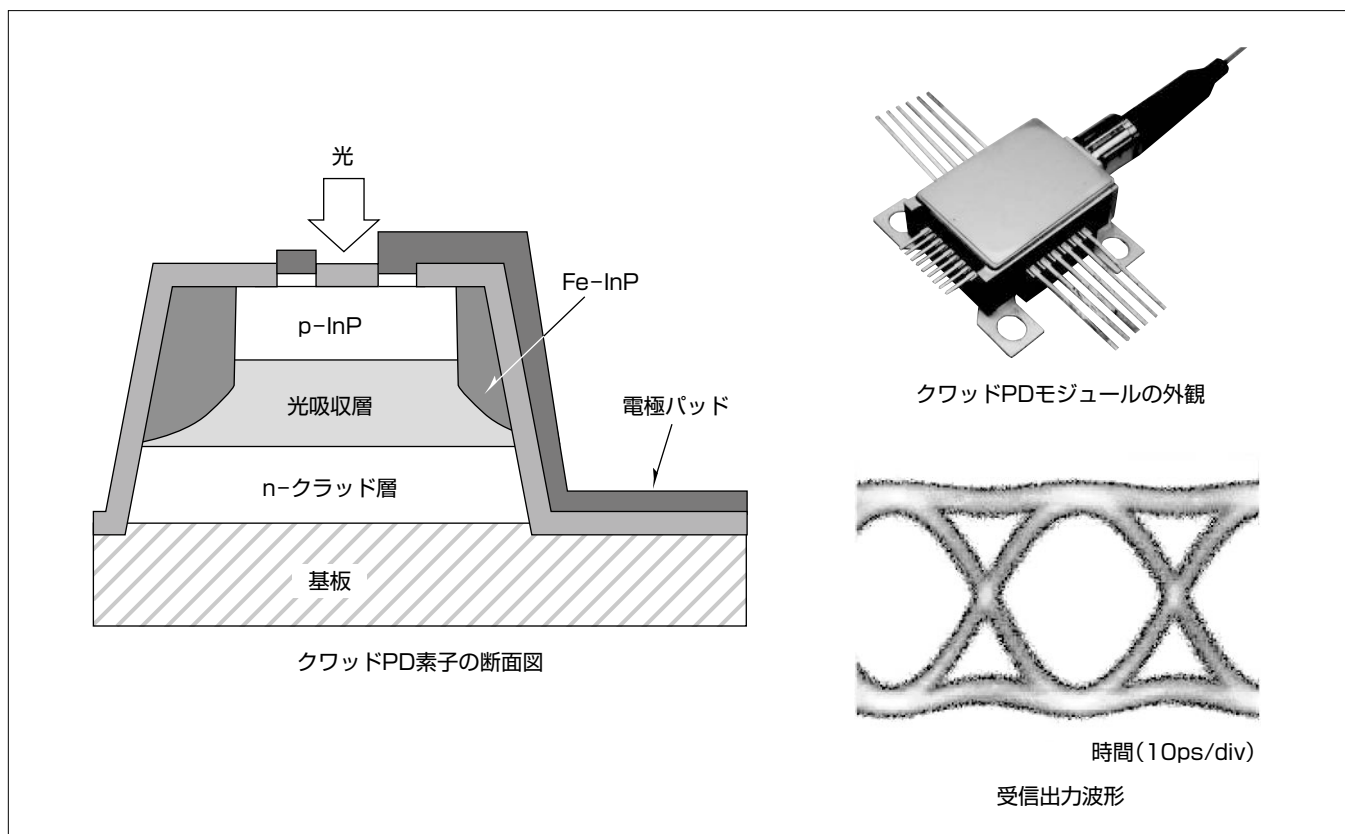
Satoshi Nishikawa, Yuichirou Horiguchi, Ryota Takemura, Satoshi Kajiya

要 旨

インターネットの普及によって、光通信システムの経済性・大容量化が必要となっている。通信容量増大と伝送距離延伸のため、長距離光通信システムでは、強度変調方式よりもノイズ耐性に優れた位相変調方式が主流になりつつある。特に、40Gbps DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying) 方式は、信号のシンボルレートが20GHz帯になるため、従来の40Gbps光通信システムと比べて波長帯域が低減できて大容量化に有利である。位相変調方式のキーデバイスは、伝送された信号光の位相情報を差動検出によって電気信号に復調するバランスドレシーバである。40Gbps DQPSK方式では、直交位相関係にある2系統の信号の各々で2個ずつの4個のPD(Photo Diode)が使用されるため、これらを小型1パッケージ化したクワッドPDモジュールが求められている。

ッドPDモジュールが求められている。

三菱電機は、クワッドPD素子及びそれを用いた40Gbps DQPSK用クワッドPDモジュールを開発した。クワッドPD素子は、光吸収層埋め込み構造によって高信頼性化した表面入射型pin-PDを1チップ上に4素子集積した。広帯域化の障害となる電極パッド部の寄生容量を低減するとともに、光吸収層厚を最適化することによって、帯域・感度ともに良好な特性を確認した。また、チップ内の素子間均一性も改善した。クワッドPDモジュールは、開発したPD素子に適した光学設計と高周波伝送線路設計を行って製作し、40Gbpsでの良好なアイ開口波形と伝送特性を確認した。



クワッドPD素子構造とそれを搭載したクワッドPDモジュール

クワッドPD素子構造とそれを搭載したクワッドPDモジュールの外観及び受信出力波形例を示す。素子は、表面入射型pin-PDであり、電極パッド部寄生容量低減による広帯域・高感度化を特長とする。クワッドPD素子を小型パッケージに搭載したクワッドPDモジュールは、DQPSK光通信での受信キーデバイスであり、良好な特性を確認している。

1. ま え が き

インターネットの爆発的な普及によって、光通信システムの経済性・大容量化が必要となっている。通信容量増大と伝送距離延伸のため、長距離光通信システムでは、強度変調方式よりもノイズ耐性に優れた位相変調方式が主流になりつつある⁽¹⁾。特に、40Gbps DQPSK方式は、変調位相の4値化によって通信容量が増大されると同時に、信号のシンボルレートが20GHz帯になるため、ほかの40Gbps光通信システムと比べて波長帯域が低減できて大容量化に有利であり、今後普及が進むと考えられている。

位相変調方式のキーデバイスは、特性のそろった2個のPDの差動検出によって、伝送された信号光の位相情報を電気信号に復調するバランスドレシーバである。40Gbps DQPSK方式では、Iチャネル、Qチャネルと呼ばれる2系統の信号の各々で2個ずつの4個のPDを使用しており、これらを小型1パッケージ化したクワッドPDモジュールが求められている⁽²⁾。

本稿では、まず、モジュールで使用する表面入射型クワッドPD素子について述べる。開発したクワッドPD素子は、電極パッド部寄生容量低減によって、高感度と広帯域特性の両立を実現した⁽³⁾。次に、それを用いて作製したクワッドPDモジュールについて述べる。開発したモジュールで、40Gbpsでの良好なアイ開口波形と伝送特性を確認した。

2. クワッドPD素子

2.1 構造設計

40G DQPSK方式では、4波の光信号を受信する必要があるため、1つのモジュール内にPDが4個必要となる。モジュールサイズ小型化のため、今回PD受光部が1チップ上に4個集積されたクワッドPD素子を開発した。

PDの構造には、大きく分けて端面入射型構造と面入射型構造(表面入射型・裏面入射型)がある。端面入射型構造は、高速応答性(広周波帯域)と高感度を両立させやすいが、受光部が小さくなるため、実装時の組立て公差が小さくなってしまいます。一方面入射型構造の場合、高速応答性と感度がトレードオフの関係にあるため、用途に応じた設計の最適化が必要となるが、受光部を比較的大きくできるというメリットがある。今回開発したクワッドPD素子の場合、4チャネルを同時に実装する必要があるため、実装時の組立て公差が大きいことが望ましい。したがって、このクワッドPD素子には面入射型構造が適している。今回は、実装の容易な表面入射型構造を採用している。

図1に今回開発したPD(クワッドPD素子のうち1素子分)の断面構造を示す。このPDの特長は主に次の3点である。

(1) 光吸収層埋め込み構造

光吸収層の側面をFe-InPの半導体エピタキシャル層で埋め込むことによって、PD使用時に最も劣化しやすいとされる光吸収層を外面に出さない構造を採用している。これによって、高信頼性化を図っている。

(2) 電極パッド部寄生容量低減

電極パッド下部のエピタキシャル層を基板までエッチング除去し、基板上に直接電極パッドを形成した構造を採用した。これによって、従来電極パッド部で発生していた寄生容量(～40fF程度)をほぼ0fFにまで低減できるため、広帯域化が容易となる。

(3) 光吸収層厚最適化

PDの設計では、光吸収層周辺の設計が特に重要である。光吸収層が厚い場合、入射した光のうち吸収されずに光吸

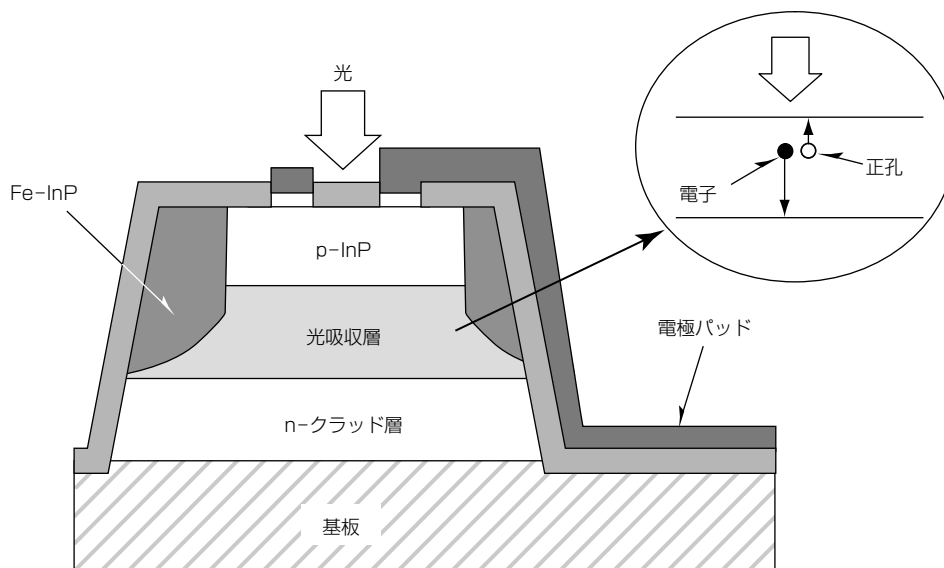


図1. クワッドPD素子の断面図

収層を透過してしまう光が減少するため高感度化できるが、光吸収層で発生した電子・正孔が光吸収層内を走行する時間が長くなるため、広帯域化は困難になる。一方光吸収層が薄い場合、光吸収層を透過する光が増加し感度が低下するが、電子・正孔の走行時間が短くなり、走行時間で決まる帯域は広帯域となる。一方で光吸収層が薄くなると、素子容量が増大し帯域が低下する、即ち広帯域化の観点からは最適な光吸収層厚が存在する。また、受光部のサイズが大きい場合にも、素子容量が増大し帯域が低下するため、これも考慮した設計が必要である。

先に述べた電極パッド部に大きな(～40fF程度)寄生容量が存在する場合、15GHz以上の広帯域化のためには10GbpsクラスのPDと比べて光吸収層の薄膜化が必要となる。しかし、それに伴い感度が低下するため、広帯域・高感度の両立はできない。また、受光部のサイズを小さくすることでも広帯域化を図れるが、実装時の組立て公差が小さくなるためこの用途では好ましくない。このクワッドPD素子では、電極パッド部の寄生容量を先に述べた(2)の手法でほぼ0fFにまで低減し、高感度に必要な光吸収層厚を維持したまま広帯域化を行うことで、この素子に必要な帯域(16GHz以上)と感度(0.9A/W)を実現できる設計とした。

2.2 特 性

今回開発したクワッドPD素子の特性について述べる。

図2に暗状態での電流電圧特性を示す。動作電圧(－5V)付近では数10pAという十分に小さい電流値となっており、受信感度に影響を与えないレベルであることが確認できた。また、175℃での恒温通電試験を行っているが、1,000時間程度経過しても劣化がなく、初期故障等のない安定した特性が得られている。

図3は受光感度の波長依存性を示している。C帯及びL帯で、40Gbps DQPSK用クワッドPD素子としてトップクラスの0.92A/W以上の高感度が実現できている。

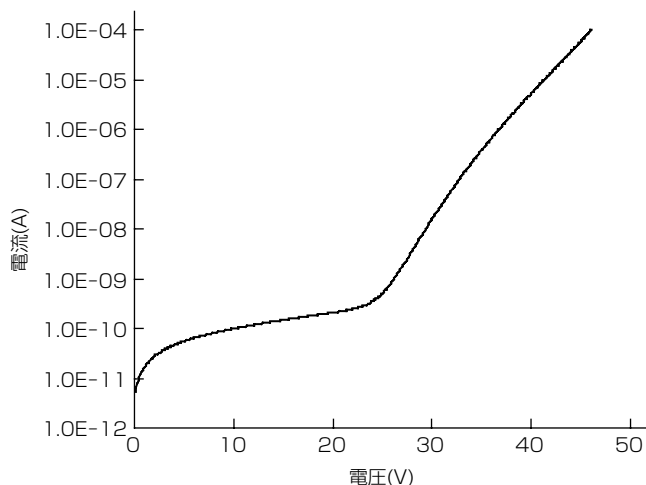


図2. 電流電圧特性

図4に、1チップ上の4素子の周波数特性を合わせて示す。18GHz程度の3dB帯域が得られている。20Gbpsの信号を受信するために必要な15GHz程度のレシーバ帯域に対し、PD素子として十分な帯域となっている。また、各PDの周波数特性はほぼ重なり合っており、集積した素子間で均一な特性を持つことを確認できた。

3. クワッドPDモジュール

3.1 モジュールの特徴

図5にクワッドPDモジュールの外観を示す。信号出力部は高周波用フィードスルー端子であり、側面両側に、モジュール給電や復調用1ビット遅延干渉計の制御用信号であるピーク検波端子などの直流/低速信号端子を持つ構造である。パッケージ部の外形寸法は、11.0(W)×14.9(D)×6.7(H)(mm)であり、小型である。

クワッドPDモジュールでは、4個のPDを4本の光ファイバからの信号光と低損失で光学結合させる必要がある。また、各信号光のPD受光面への到達時間差も小さくする

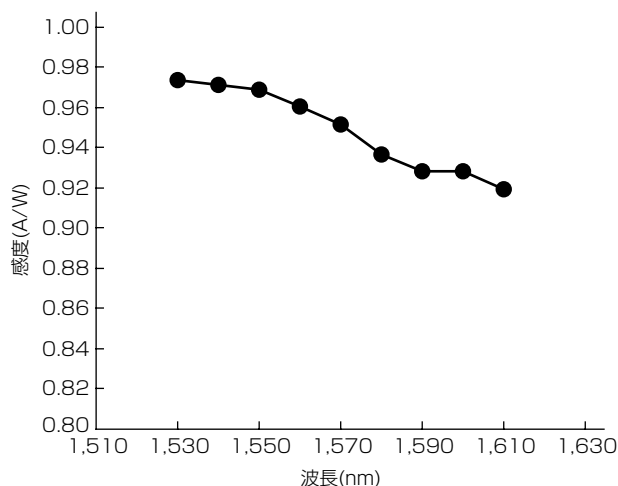


図3. 感度波長依存性

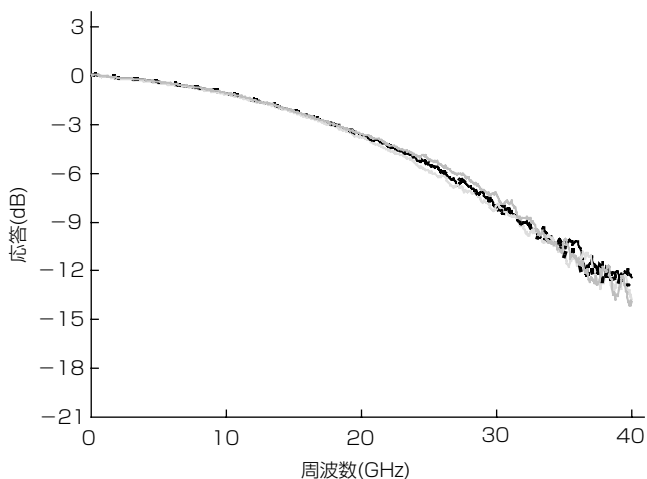


図4. 周波数特性

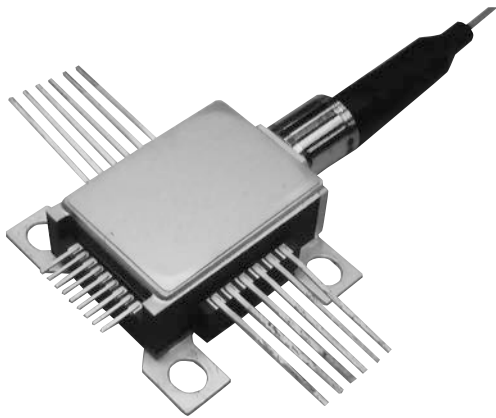


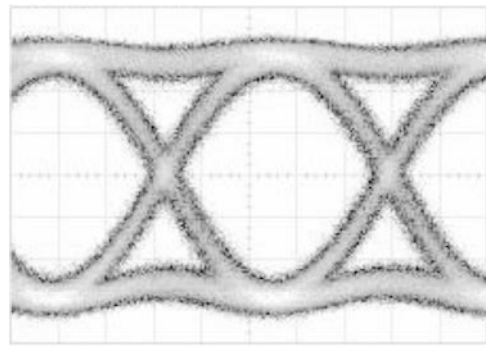
図 5. クワッドPDモジュールの外観

必要がある。そのため、高精度に等長化した4本の光ファイバを一個のフェルルールに格納して入力用4芯ファイバとした。PDは、2章で述べたクワッドPD素子を用いる。高効率かつ各PDに均等に光学結合させるために、入射光の最外周部まで損失なく集光できる、十分な大きさの有効径を持つ非球面レンズを用いて入力用ファイバと結合させた。偏波特性に優れた表面入射型PD素子を用いており、偏波依存損失(PDL)として0.1dB以下が得られる。また、クワッドPD素子の実装に際しては、表面入射型素子用の高周波キャリアを設計開発した。これらのパッケージ内部に実装できるよう小型としながら、25GHz以上の周波数帯域まで良好な高周波特性をシミュレーションによって確認しており、モジュールでも良好な特性を得ている。

3.2 クワッドPDモジュールの特性

図6にこのクワッドPDモジュールによる受信出力波形測定結果を示す。測定では43Gbps DQPSK信号相当の21.5GHz-DPSK信号を1ビット干渉計で復調した光信号を用いた。図に示すように良好なアイ開口が得られている。伝送特性においても、43Gbps、光信号雑音比20dBの条件下で雑音付加Q値=14.9dBの良好な特性を確認した。

表1に、今回開発したクワッドPDモジュールの主な特性を示す。40Gbps DQPSK光通信システムに十分適用できる良好な特性が得られた。



時間(10ps/div)

図 6. クワッドPDモジュールの受信出力波形

表 1. クワッドPDモジュールの主な特性

項目	特性値
動作波長範囲	C帯およびL帯
受光感度(A/W)	0.85(典型値, 1,550nm)
偏波依存損失(dB)	<0.1
TIA駆動電圧(V)	3.3
消費電力(W)	0.6(典型値)

TIA : TransImpedance Amplifier

4. む す び

40Gbps DQPSK光通信システム用にクワッドPDモジュールの開発を行った。光吸収層埋め込み構造、寄生容量低減及び光吸収層厚最適化によって高信頼性、広帯域で高感度の表面入射型クワッドPD素子を開発した。このクワッドPD素子を用いて小型受信モジュールを製作し、良好な特性を得た。

参 考 文 献

- (1) Fürst C., et al.: 43Gb/s RZ-DQPSK DWDM field trial over 1047km with mixed 43Gb/s and 10.7Gb/s channels at 50 and 100GHz channel spacing, ECOC2006, Th4.1.4 (2006)
- (2) Furuta, T., et al.: Single-Package 2-channel Balanced Receiver Module for 43-Gbit/s DQPSK, ECOC 2008 P.2.13 (2008)
- (3) Nakaji, M., et al.: The balanced photodetector buried with semi-insulating InP, LEOS2005, TuFF3 (2005)