

端面入射型PIN-PDを用いた 10Gbit/s表面実装型モジュールの開発

富本 忠利

近年、ブロードバンドネットワークの普及に伴い、ネットワークのボトルネックとなっているメトロアクセスの高速、大容量化の動きが加速している。また、パソコンなどをつなぐLANで標準的に使われているイーサネットにおいても高速化が進み、光ファイバを用いた10Gbit/s対応製品の開発が進んでいる。これら高速光ネットワークで用いられる光通信装置の基幹部品である光レーザモジュールには、高性能、高信頼性でありながら小型、低コストであることが強く求められる。

10Gbit/s伝送用トランスポンダ用の光レーザモジュールとしては、従来から金属製で気密構造のバタフライ型パッケージが多く用いられてきたが、プリント基板の切り抜き加工を必要とする為、基板実装面積を有効活用できずトランスポンダの小型化に不向きであった。また、十分な受信感度を得るために光ファイバからの信号光を効率良くフォトダイオードに結合する必要があり、レンズ系の部品コストやアセンブリコストの上昇の問題があった。

我々は従来型の光レーザモジュールと比較して、小型、低コスト、高性能なモジュールを実現するために、キーデバイスとなる鏡面反射構造を採用した端面入射型PIN-PD¹⁾ (Side-illuminated Mirror PIN Photodiode: SMPD) の開発を進めてきた。

本稿では、このデバイスを使用した10Gbit/s表面実装型レーザモジュールについて、デバイスおよびモジュール構造上の特徴を交えて紹介する。

デバイス構造と特性

図1に鏡面反射構造を採用した10Gbit/s伝送端面入射型PIN-PDの構造概略図を示し、図2にその断面図を示す。このSMPDはチップサイズ奥行350 μm ×幅350 μm ×高さ100 μm で、チップ表面に45 μm □の受光部が形成され、チップ裏面には全反射面となるV溝が形成されている。ARコートの施されたチップ端面から入射した信号光は、V溝順メサ面で全反射を起こしチップ上面の受光部で吸収される。素子結晶には、光通信用フォトダイオードとし

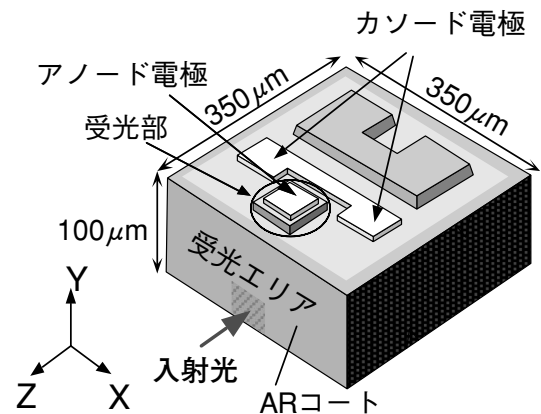


図1 SMPD構造概略図

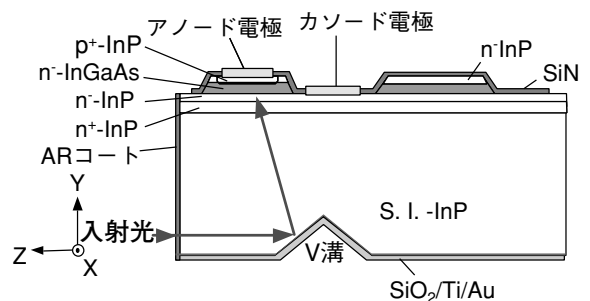


図2 SMPD断面図(図1中Y-Z断面)

て一般的なInGaAs/InPを用いており、S.I.-InP基板上にn⁺-InPバッファ層、n⁺InP層、n⁻InGaAs吸収層およびZnを選択拡散したp⁺-InP層が順次形成されている。光吸収層厚は、1.4~1.8 μm で十分実用的な量子効率を得られるよう設計されている。チップ裏面には、ウェットエッチングによりV溝を形成し、チップ端面から入射する信号光が反射されて受光部に入射するようにしている。V溝を全反射面とするためSiO₂膜をV溝表面に形成した後、ボンディング用メタルを施してある。

フォトダイオードは、その基本的な特性として良好な受光感度と周波数特性が要求される。SMPDでは、Feドープの半絶縁性InP基板を採用することにより、端面からV溝で反射し受光部に至るまでの光の吸収率を1%程度に抑

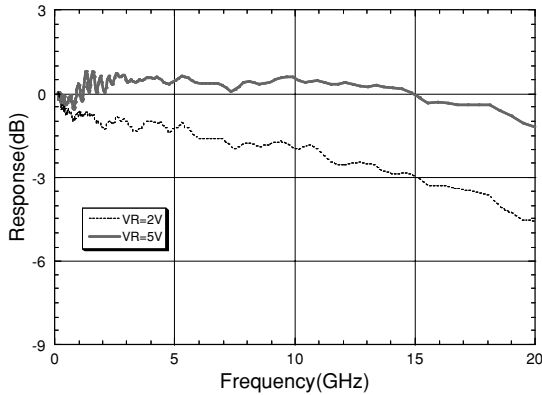
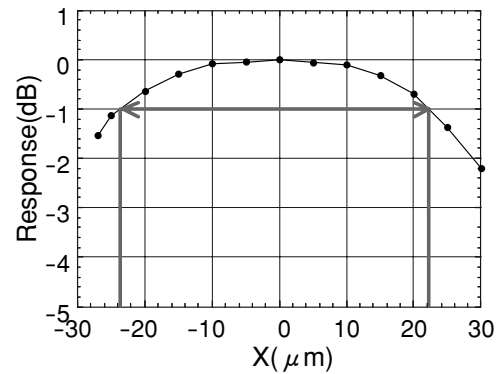


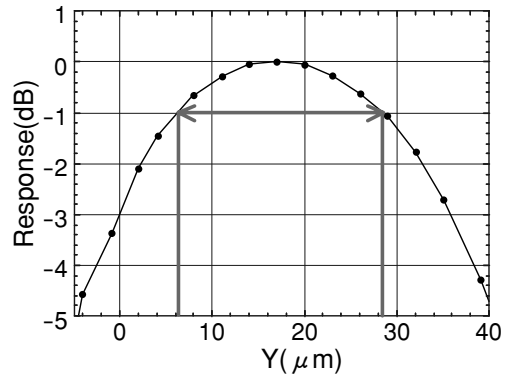
図3 SMPD周波数特性

えており、さらに、V溝で全反射された信号光は全て受光部で吸収される為、波長1.5 μm の光源で0.95~1.0A/Wと高い受光感度が得られる。周波数特性についても受光部直上にアノード電極を配置することにより、素子容量の低減が可能となり、CR時定数の低減が図られている。図3に示すように逆バイアス電圧2Vの条件で3dB帯域幅15GHzという良好な特性が得られている。

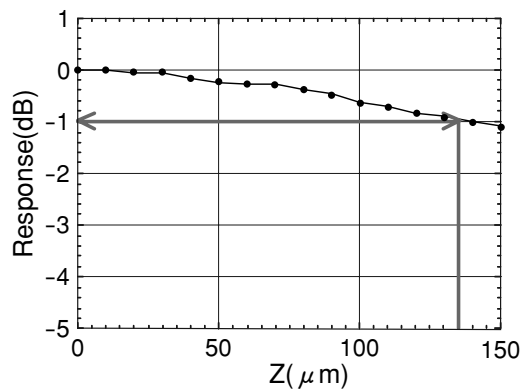
一方で、10Gbit/s以上の高速信号に対応するフォトダイオードでは前述した素子容量等の制約から必然的に受光部の面積が小さくなる。一般的には、光ファイバからの光信号を効率良く受光部に結合させる為には、光学系や高精度な実装が必要となる。表面入射型フォトダイオードと光ファイバとの間にボールレンズ等の光学系を用いるのが前者の例であるが、光学部品やマウント基板等の部品点数増大によるコストアップやアクティブアライメント方式を用いるためアセンブリコストがかかるといった欠点がある。また、SMPDと同じ端面入射型である導波路型フォトダイオードなどが後者の例であるが、導波路型ではマルチモード導波路構造を用いた場合にも、チップ垂直方向の光結合トレランスは数 μm 程度しか得られていない^{2) 3)}。この為、先端レンズ加工ファイバ等をデバイスに近接させて光結合を得る方式で部品点数は少なくできるが、高精度実装が必要となり、モジュール組立時の歩留り等に影響するため低コスト化が困難であるという欠点があった。SMPDでは、先に述べたような全反射型のデバイス構造の採用により、近接して配置された光ファイバとの光結合トレランス特性の大幅な向上を実現し、モジュールにおける実装性を改善している。図4に10Gbit/s伝送用SMPDの光結合トレランス特性を示す。図4中のa), b), c)におけるx, y, z軸は、図1中で示した軸方向に対応している。-1dB光結合トレランスは、x軸、y軸、z軸方向でそれぞれ、46 μm 、22 μm 、135 μm と10Gbit/s伝送用の端面受光型フォトダイオードとしては



a) X軸方向トレランス



b) Y軸方向トレランス



c) Z軸方向トレランス

図4 光結合トレランス特性

最大級のトレランス特性が得られている。

モジュール構成

図5に表面実装型レーザーモジュールの構成を示す。断面図から分かるように、光入射系、フォトダイオードおよびプリアンプICがモジュール内で平面的に配置されている。本モジュールで用いているパッケージは17ピンフラットリードタイプのセラミックパッケージで、光入射系の対向にコプレーナ構造の高周波信号出力用リードが配置され、その両側に電源等のDCライン用リードが配置されている。

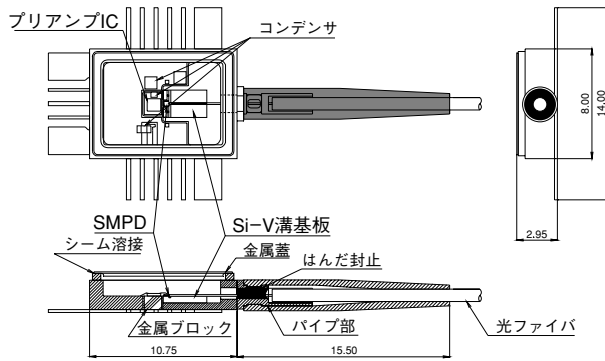


図5 モジュール構成

次にモジュールの実装構造について述べる。Si-V溝基板上にSMPDがダイボンディングされ、パッケージ内部前方に搭載された後、パイプ部から挿入した光ファイバをSi-V溝上に搭載し、SMPDに近接させて光結合を得るパッシブアライメント構造を採用している。先に述べたようにSMPDは広い光結合トレランスを有するので使用する光ファイバは低コストなフラットカット端面のもので十分である。また、Auメタライズがハーメチックコーティングされた光ファイバを用いたはんだ封止とパッケージ上面での金属蓋のシーム溶接により、モジュールとしての気密が得られる構造となっている。以上述べたようなモジュール構成により、部品点数、部品コストおよびアセンブリコストの削減や小型化（10.7×8.0×2.95mm、体積0.25cc）に加え高信頼性化も実現している。

モジュール特性

10Gbit/s表面実装型レーザモジュールの外観を写真1に示す。本モジュールは、プリアンプに-5.2V駆動GaAs ICを使用し、PDバイアス電圧が0Vでの単電源動作が可能である。また、プリアンプICの出力は差動モードのディファレンシャル出力となっている。図6、図7に本モジュールの代表的な周波数特性（S21, S22, 群遅延）を

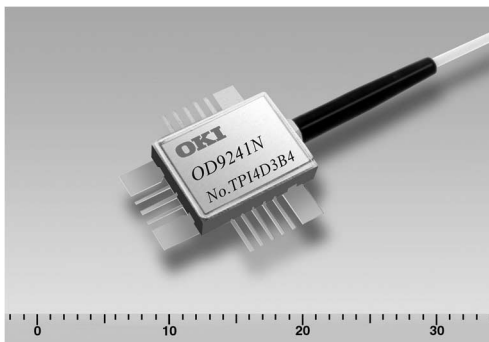
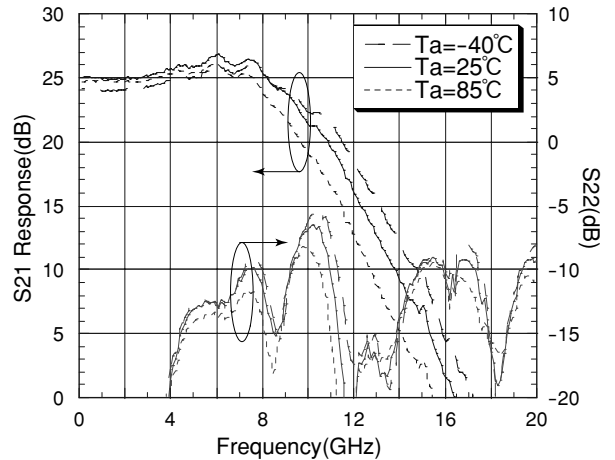


写真1 モジュール外観図



Wavelength:1550nm
 $V_{PD}=0.0V, V_{EE}=-5.2V, Pin=-17dBm$

図6 モジュール周波数特性

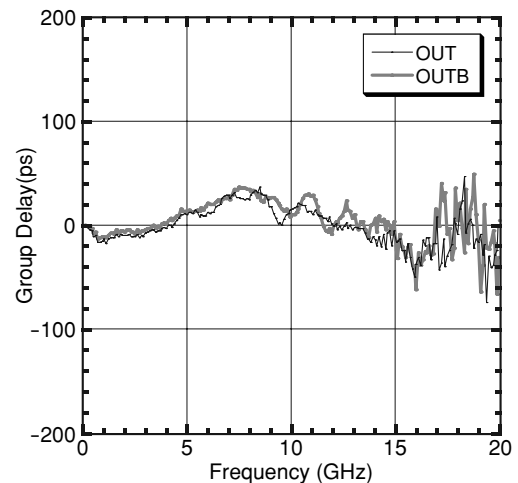
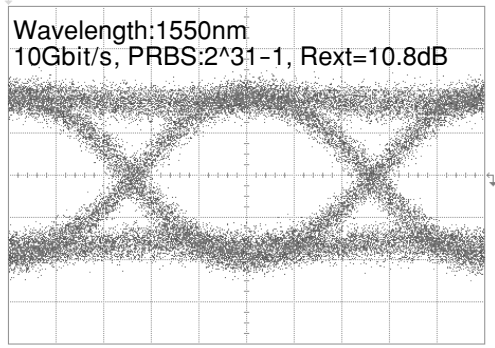


図7 群遅延特性

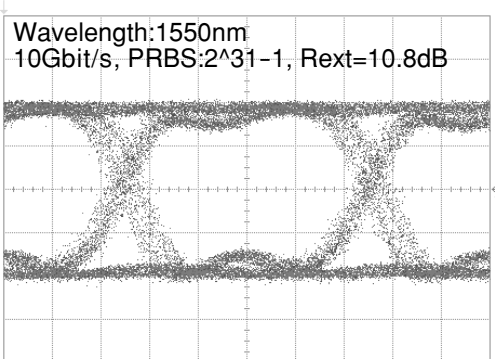
示す。周波数8GHz以下での帯域平坦度は2.0dB以下で、3dB帯域幅は室温で9.5GHz、-40~85°Cの温度範囲で9GHzと良好な特性が得られている。電気信号出力側から見た反射特性（S22）は、周波数9GHzまでで-8dB以下、群遅延は10GHz以内で±40ps（p-p）以下と良好であった。

また、PDバイアス電圧を3.3V等に引き上げることで、S21, S22共に周波数特性が改善され、誤り訂正符号（FEC : Forward Error Corrention）を付加するシステムで必要とされるビットレート12.5Gbit/sへの対応も可能である。図8には10Gbit/s NRZ変調された（PRBS=2³¹-1）信号光を入力した場合の出力信号波形を示す。入力光電力-17dBmから+3dBmまで、クロスポイントの変化が小さく良好なアイ開口が得られている。

次にビットエラーレート測定による本モジュールの受



a) 入力光電力-17dBm V:10mV/div H:20ps/div



b) 入力光電力+3dBm V:100mV/div H:20ps/div

図8 モジュール出力信号波形

受信性能評価結果を図9に示す。使用した光源の波長は1.5 μm 、消光比は10.8dBである。ビットエラーレート 10^{-12} における最小受信感度は室温の場合に-19dBm、最大受信レベルは+3dBm以上であり、ダイナミックレンジは22dB以上と非常に広い。また、同図に示したように温度変動による受信性能劣化も最小受信感度で0.2dB程度と十分に小さく、-40~85°Cの広い温度範囲で使用可能であることが確認できた。

まとめ

当社で開発した鏡面反射構造の端面入射型PINフォトダイオード (SMPD) を用いた10Gbit/s表面実装型レーザモジュールについて記述した。本モジュールでは、SMPDの使用とパッシブアライメント構造、気密構造の採用により、光レーザモジュールに要求される高信頼性と小型化、低コスト化を実現した上、最小受信感度-19dBm、ダイナミックレンジ22dB以上という良好な受信性能を得ている。このような小型、低コストモジュールは、小型トランスポンダ用の基幹部品として大変有用であると考えられる。また、本モジュールで使用したSMPDのデバイス

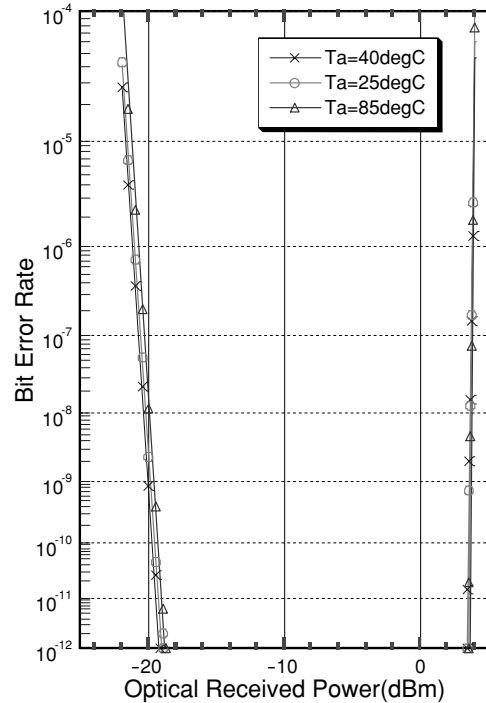


図9 受信性能評価結果

構造は、次世代の高速光通信用として期待される40Gbit/s対応の光レーザモジュール用のデバイスとしても十分に応用が可能であろうと考える。

今後、長距離伝送システムおよびDWDMに代表される大容量光伝送システム用レーザモジュールとして、アバランシェフォトダイオードモジュールや受光波長を長波長側にシフトしたL-band対応モジュールなどについても一層の小型化、低コスト化要求が高まっていくものと考えられる。◆◆

参考文献

- 1) 加藤昌伸, 古川量三, 寺島宗弘, 高野 紘: “平面実装光モジュール用鏡面反射型フォトダイオード”, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J83-C No.3, 2000年
- 2) K. Kato, S. Hata, K. Kawano, J. Yoshida, and A. Kozen, “A high-efficiency 50GHz InGaAs multimode waveguide photodetector” IEEE J. Quantum Electron. Vol28, No.12, pp.2728-2735, 1992
- 3) 松岡康信, 穴倉正人, 田中滋久: “10Gb/s光受信器用表面実装対応導波路型PIN-PD”, 電子情報通信学会総合大会, C-3-47, 2002年

● 筆者紹介

富本忠利: Tadatashi Tomimoto. オプティカルコンポーネントカンパニー 開発部