技術資料

Technical Paper

POF 通信用赤色点光源 LED の開発

曾根豪紀^{*}，加藤俊宏^{*}

High Speed Red Point Source LED for POF Communication

Hidetoshi Sone, and Toshihiro Kato

Synopsis

A high speed red point source LED (Red-PSL) for POF communication has been successfully developed. It has AlGaInP MQW and DBR structures grown by MOCVD. A current confinement structure is made by H^+ implantation and the diameter of emitting window is 150 μm . Excellent performances were achieved with output power of 0.7 mW at 20 mA and cut-off frequency of 30 MHz at 20 mA + 10 mA_{p-p}. 125 Mbps data communication was realized by using the Red-PSL

1. 緒 言

近年，インターネット，携帯電話に代表されるような情報通信の爆発的な拡大に伴いそのインフラの整備が急速に進んでいる．代表的なインフラである光ファイバーは，国内，米国では既に長距離幹線系については，ほぼ整備が整ったといえる．しかし，幹線から各家庭への引き込み，いわゆる last 1 mile や，家庭内の光ファイバーの敷設については，ほとんど手付かづの状態，敷設が始まったばかりといえる．幹線系については，波長 1.3 ~ 1.5 μm 帯の赤外半導体レーザーを用い，石英ファイバーを伝送路として使用している．石英ファイバーの敷設には，接続や分岐に高度な技術を要するため敷設コストが高く，また，ファイバーそのものも高価なことから各家庭への引き込み線，特に家庭内のファイバー敷設には不適と考えられる．石英ファイバーに対し，プラスチック光ファイバー（POF）は，柔軟で切断しやすく，コア径が大きいことから接続，分岐が容易であり，敷設コストは石英ファイバーに比べ安価である．最近では，光通信用の POF の開発が進み，伝送帯域，伝送損失および信頼性が大幅に改善されたものが市販されるようになった．代表的な POF は，コアにポリメチルメタクリレート（PMMA）樹脂をクラッドにフッ素系ポリマー共重合体材料が使用されている．Fig.1 に，PMMA

をコアに用いた POF の伝送損失の分光特性¹⁾を示す．石英ファイバーの伝送損失が 1.3 ~ 1.5 μm の赤外領域で最小になるのに比べ，POF は 650 nm の赤色，570 nm の黄色，520 nm の緑色領域で極小になる．伝送損失は，石英ファイバーに比べ 2 桁以上大きい，各家庭への引き込み線や家庭内では敷設線長が比較的短いため，実用可能である．POF 用の発光素子は，POF の伝送損失の波長依存性を考慮すると，石英光ファイバーに用いられている，波長 1.3 ~ 1.5 μm のレーザーは適切ではなく，可視光の光源が最適となる．本稿では，POF 用の発光素子として，価格，安全性および取り扱いの容易さがレーザーに比べ優れている，発光波長 650 nm の赤色発光ダイオード（LED）を開発したので報告する．

2. 構 造

一般的な LED は，チップの上面ばかりではなく側面からも光を放射する構造となっている．POF に結合させて使用する場合，LED より放射される光を効率よく POF に取り込む必要がある．このため，開発した LED は，チップの側面から光が放出されない様，チップ上面の一定領域に限られた発光領域を形成し，その領域のみから限定的に光が放射される点光源 LED²⁾構造とした．Fig.2 に開発した LED チップの表面写真を示す．チップは，500 × 350 × t 250 μm

の大きさで、写真のチップ左側が発光領域となっている。発光領域は、直径 $150\ \mu\text{m}$ の円形となっており、表面に電流注入用の電極が格子状に形成されている。チップ右側にはワイヤボンディング用のボンディングパッドが形成されている。Fig.3 に LED チップの断面構造を示す。n 型

Fig.1. Spectral transmission loss of plastic optical fiber.

Fig.2. Photograph of the Red-PSL. Emitting window is on the left side of the chip, and the size of the window is $150\ \mu\text{m}$.

Fig.3. Cross sectional view of the Red-PSL. High resistance region is made by H^+ implantation.

GaAs 基板上に、ブラッグ反射鏡 (DBR)、n-AlGaInP クラッド層、活性層として InGaP を量子井戸とした多重量子井戸 (MQW) 構造、p-AlGaInP クラッド層、p-AlGaAs 電流拡散層、p-GaAs キャップ層を順次積層した構造となっている。LED の材料は、発光波長を赤色 $650\ \text{nm}$ とするため、その波長領域で最も発光効率が高く、高出力が得られる AlGaInP 系としている。発光領域を限定するために、電流狭窄構造とした。その構造は、プロトン注入により、

$150\ \mu\text{m}$ の発光領域以外の部分を高抵抗領域とすることにより形成した。DBR は、活性層より GaAs 基板側へ放射された光を GaAs 基板によって吸収されることなくチップ表面側へ反射することによって光取り出し効率を大きくする目的で挿入した。用いた DBR は、混晶比の異なる 2 種類の AlGaAs 層を、30 組積層したもので、それぞれの厚さを発光波長の $\lambda/4n$ を中心とし、 $\pm 15\%$ の範囲で厚さを徐々に変化したチャープ構造³⁾とした。活性層は、AlGaInP をバリア層、InGaP を井戸層とした格子整合系の MQW とし、井戸幅を制御することで室温でのピーク発光波長を $650\ \text{nm}$ とするとともに、井戸数を最適化することによって、発光出力を低下させずに高速応答を確保した。電流拡散層は、表側の発光窓領域に形成した電極から注入された電流が、活性層領域で十分に広がり、また、プロトン注入により狭窄構造が形成できる最適な厚さ、組成およびキャリア濃度を設定した。コンタクト層は、p 電極との良好なオーミック接触を得るために形成し、光の吸収を防止するために電極下以外の発光窓部のコンタクト層は除去した。最表面には耐湿性向上とチップ表面での光反射防止を目的とし、 SiN_x 膜を形成した。チップ表面での光反射を低下させることにより、光取り出し効率向上が期待できる。n-GaAs 基板の裏面には n 電極を形成した。

3. 製造工程

Fig.4 に赤色点光源 LED の製造工程の模式図を示す。n-GaAs 基板上に、有機金属化学気相成長法 (MOCVD 法) により、DBR、n クラッド層、活性層、p クラッド層、電流拡散層、コンタクト層を連続的にエピタキシャル成長した後、発光窓部分をリソグラフィ工程でフォトリソストを用いてマスキングし、それ以外の部分にプロトンを注入した。マスキングしていない部分を表面より活性層の深さまで選択的に高抵抗化できる様に加速電圧、ドーズ量を選び、プロトンを注入することによって、良好な電流狭窄構造を得た。基板の表面側に Au 合金を蒸着し、リフトオフ法によって発光窓部に格子状の電極を形成した。その後、窓以外の部分に Au 合金を蒸着し、ボンディングパッドを

Fig.4. Process flow of the Red-PSL.

形成した。次に、ウエハーに形成された多数の素子をメサエッチングによって個々の素子に電氣的に分離した。裏面には、AuGeNi 合金を全面に蒸着し、n 電極を形成した後、シンターを行ってオーミック電極とした。その後、表面にプラズマ CVD (PECVD) により、 SiN_x 膜を形成した。 SiN_x 膜は、チップの耐湿性が向上するように緻密な膜とし、またウエハーに対して引っ張りあるいは圧縮応力の少ない膜質となるように組成を制御した。 SiN_x 膜の厚さは、LED の MQW から放射された光に対して反射防止膜として機能するように $\lambda/4n$ を満足する膜厚とし、光取り出し効率の向上を狙った。 SiN_x は、ワイヤボンディングを行うためにパッド部分のみを RIE にて除去した。最後に、パターン形成されたウエハーをダイシングによってチップ化した。

4 . 特 性

4 . 1 初期特性

開発した赤色点光源 LED チップを TO18 ステムにダイボンディングした後、Au 線でワイヤボンディングを行い、初期特性を評価した。Fig.5 に LED の I-V 特性、Fig.6 に I-L 特性を示す。電流 20 mA で順方向電圧 V_F は 2 V、発光出力 P_o は 0.7 mW である。また I-L のリニアリティは良

Fig.5. Forward current vs. forward voltage (I-V) characteristics of the Red-PSL.

Fig.6. Forward current vs. output power (I-L) characteristics of the Red-PSL.

好である。Fig.7 に発光スペクトルを示す。発光ピーク波長は、MQW の設計値通りの 650 nm が得られている。スペクトルに観察される振動 (オシレーション) は、チップ表面と DBR との多重反射に起因するものである。Fig.8 に LED の発光近視野像 (Near Field Pattern : NFP) を示す。発光窓内での光強度の分布はほぼ均一で、注入された電流が発光窓内に均一に広がっていることがわかる。また、発光窓以外の領域からの発光は認められず、良質な高抵抗領域がプロトン注入によって形成されていることが伺える。Fig.9 に樹脂モールドした LED の配光特性 (Far Field Pattern : FFP) を示す。比較として、点光源ではない一般的な LED の FFP も合わせて示す。図から明らかな様に、点光源 LED の場合、光強度のピークは光軸上にあるのに対し、一般的

な LED の場合、ピークは光軸からずれ、双峰状となっている。このことから、POF と LED とを結合する場合、点光源 LED が一般の LED に比べ、光結合効率が良くなることが予想される。実際、1 m の POF と結合させた場合の POF 端出力は、点光源 LED の方が一般的な LED に比べ約

Fig.7. Emitting spectrum of the Red-PSL at 20 mA. The spectrum shows oscillation caused by the interference of the light multiply reflected between the surface and the DBR.

Fig.8. Near field pattern of the Red-PSL at 20 mA.

Fig.9. Far field pattern of the Red-PSL at 20 mA.

2 dB 大きくなった。また、POF 結合時の LED チップアライメントのズレ量、POF と LED との距離、POF の NA によってはさらに大きな差異がでることも、シミュレーションで確認している。

4.2 伝送特性

Fig.10 に LED に直流 20 mA に peak to peak で 10 mA の正弦波の交流を重畳した条件で測定した周波数応答特性を示す。光出力が 3 dB 低下するときの遮断周波数 (cut-off frequency: f_c) は 30 MHz であり、開発した赤色点光源 LED は、高出力と高速応答を兼ね備えた LED であると言える。一例として、ある条件下で駆動したときの 125 Mbps NRZ 信号の伝送特性、アイパターンを Fig.11 に示す。観察されるアイは十分明瞭であり開発した赤色点光源 LED は、125 Mbps の伝送に十分使用できることが示された。

4.3 信頼性

開発した赤色点光源 LED チップを TO18 ステムにダイ

Fig.10. Frequency response of the Red-PSL at 20 mA+10 mA peak to peak.

Fig.11. Eye diagram demonstrating at 125 Mbps data transmission.

ボンディングした後、エポキシ樹脂でポッティングを行い、信頼性試験を実施した。Fig.12(a) に室温、電流値 DC100 mA で 5000 時間の連続通電試験結果を示す。光出力の低下はほとんど認められず長期に渡り高い信頼性を有していることが確認できた。Fig.12(b) に温度 85℃、電流値 DC50 mA で 1000 時間、Fig.12(c) に温度 -40℃、電流値 DC50 mA で 1000 時間、Fig.12(d) に温度 85℃、湿度 85%、電流値 DC20 mA で 1000 時間の連続通電試験結果を示す。高温下、低温下、高温高湿度下でのいずれの条件においても光出力の低下はほとんど無く、広い環境範囲で高信頼性を有しており、高いレベルの信頼性を有しているといえる。

5．発光サイズと応答速度の関係

これまで報告した 150 μm の赤外点光源 LED は高速、高出力でかつ信頼性が高く、実用に十分耐えうることを述べた。一方、情報通信分野の技術革新は非常に速く、将来

的に要求されるデータ伝送速度は、より高速化することは明白である。そこで、さらなる高速化の可能性について検討した。エピの構造は変えずに、発光サイズを 25, 50, 100, 150, 200 μm と変えて LED チップを製作し、LED の発光出力と遮断周波数を評価した。Fig.13, Fig.14 に評価結果を示す。発光サイズが小さくなるほど発光出力は低下するが、それに反して遮断周波数は高速化する。発光サイズ 25 μm で、発光出力は 0.25 mW と小さいが、遮断周波数 100 MHz が得られた。今後、発光サイズに合わせ、エピ構造の最適化を行うことにより、遮断周波数 100 MHz を保ちつつ発光出力を向上することは可能であると考えられる。

6．おわりに

開発した赤色点光源 LED について、その構造、製造方法、特性について述べた。冒頭に述べたように、本 LED は、POF を用いた光ファイバ通信の光源として研究、開発

Fig.12. Relative change of output power of the Red-PSL in aging tests.

- (a) R.T. aging test, the forward current being 100 mA under room temperature.
- (b) High temperature aging test, the forward current being 50 mA under 85℃.
- (c) Low temperature aging test, the forward current being 50 mA under -40℃.
- (d) High temperature and high humidity aging test, the forward current being 20 mA under 85℃ and 85% R.H..

Fig.13. Dependence of output power on emitting area.

Fig.14. Dependence of cut-off frequency on emitting area.

されたもので、光出力と高速応答性を兼ね備え、かつ POF との結合性を高めたものである。この赤色点光源 LED は、POF 通信として現在広く普及しているデジタルオーディオ用光リンクに比べ、さらに高密度のデータ伝送を可能にするもので、ホームユースでの活用が広く期待されている IEEE1394 の S100 クラスのインターフェースには十分対応可能である。

現在、自動車内の LAN (Local Area Network) として、欧州を中心に伝送レート 24.5 Mbps の MOST (Media Oriented System Transport = Oasis 社の登録商標) の普及が始まっており⁴⁾、2003 年度から本格的に採用される見通しである。POF による車載 LAN は、今後膨大となる情報伝送の媒体として、安価で、電磁ノイズの影響を受けないなどの利点のほか、ワイヤーハーネスの軽量化という点でも

メリットがあり、高級車から一般の普及車まで採用が進むと考えられている。自動車への応用は、信頼性に対する要求が厳しく、その点でも、開発した高信頼性の赤色点光源 LED は適合する。

一方、家庭内の LAN も FTTH (Fiber To The Home) の実現により、大きな市場を形成するといわれており、電波、電線、赤外線空間伝送によるホームネットワークが検討されているが、POF が最も適していると考えられる。

光源としてレーザーを用いる場合に比べ、伝送レートは遅いが、安全性、信頼性、扱い易さなどの点で本 LED は優れており、家庭内 POFLAN 用としても応用が進むと考えられる。

(文 献)

- 1) POFコンソーシアム編:プラスチック光ファイバー, (1997) [共立出版].
- 2) 曽根, 加藤, 坂, 廣谷: 電気製鋼, **66** (1995) 90.
- 3) T.Saka, M.Hirotani, T.Kato, H.Susawa, N.Yamauchi: J.Appl.Phys., **73** (1993) 380.
- 4) 日経エレクトロニクス, 811 (2001) 29.