特集 オプトエレクトロニクス技術

U.D.C. 621. 382. 23:: 535. 37

光通信用発光ダイオードの開発

Development of Light Emitting Diodes for Optical-Fiber and Beam Communications

光通信用発光ダイオードは、狭い領域で効率よく発光し、変調電流に対して速く 応答することが要求される。このため、直接遷移形化合物半導体材料のバンド間遷 移に近い発光が利用されている。しかし、この発光を効率よく外部に取り出し、高 速応答を得るためには、結晶内部での光吸収の低減、注入キャリヤの寿命の制御な ど素子構造面での検討が必要とされる。GaAs-GaAlAs及びInP-InGaAsP系のダブ ルヘテロ混晶を活用したドーム形素子構造を考案し、混晶ヘテロ成長技術を開発す ることによって、高輝度・高速応答かつ光ファイバとの結合が容易な0.8μm帯、及 び1.3μm帯の光通信用発光ダイオードを開発した。

坂本 真*	Makoto Sakamoto
倉田一宏**	Kazuhiro Kurata
安田洋一*	Yôichi Yasuda
大内博文***	Hirobumi Ôuchi
小野佑一****	Yûichi Ono

1 緒 言

発光ダイオードを光源とする光通信システムは,比較的短 距離・中容量のものが主流であるが,適用分野が計算機用バ ス,リンク,データウエイ及び計測制御システム,交通運輸 用監視制御システム,更には機内,船内機器の監視・制御用 集約配線伝送システムなど多岐多様にわたるとともに,特に



直接保安上重要なシステムとなる場合が多い。このため,発 光ダイオードは,レーザダイオードに比べて更に高い信頼性 とともに,優れた経済性と使いやすさ,汎用性をもち,丈夫 であることが要求される。

発光ダイオードからの発光は、半導体接合部からの注入キャ リヤの再結合による光子の自然放出が大部分であって、その スペクトル幅は広い。0.8µm帯の波長の素子は、帯域・距離 積でおよそ30Mビット/秒・5kmをカバーする。一方、ファイ バによる材料分散が少ない1.3µm帯の素子では、40Mビット/ 秒·20km程度にまで拡張可能と言われている。いずれの場合 も, 注入キャリヤの発光遷移の確率が高く, かつ高速応答性 をもった直接遷移形混晶系材料でのバンド間遷移に近い発光 を利用するとともに、外部への光取出し率が高く、更にはフ ァイバとの光結合性のよい素子構造を実現することが、この 種素子開発の要点である。日立製作所は, GaAlAs系混晶, 又はInP基板を半球状窓層とし、接合部をヘテロ構造とする ことによって、高速高出力かつファイバ結合性の良い発光ダ イオードの開発に成功した。図1は光ファイバ利用及び光ビ ーム利用の場合での伝送距離, 伝送容量と開発素子の関係を 示す。

2 0.8µm帯発光ダイオードの開発

2.1 素子設計

光ファイバ通信用発光ダイオードに要求される高ファイバ 光出力,高速応答性を達成するため,DH(ダブルヘテロ)接 合構造による内部量子効率の向上^{1),2)},高速化のための活性 層厚の最適化^{1),2)}を図った。一方,ファイバとの結合効率を 向上させるため素子をドーム形状化し,素子形状と発光径の 最適設計を行なった。図2に,素子の断面構造及び断面内混 晶比分布を示す。素子は、ドーム形状をしておりpn接合から 発生した光は、光透過用混晶比厚膜(ドーム部)で吸収される 図 | 光通信用発光ダイオード開発素子並びに伝送距離及び伝送 容量 光ファイバ伝送及び光ビーム伝送での開発素子の伝送容量と伝送距離の関係が分かる。



発光した光は、光透過性混晶厚膜を通って、ドーム表面から放出される。

49

日立製作所高崎工場 ** 日立電線株式会社電線研究所 *** 日立製作所中央研究所 工学博士 **** 日立製作所中央研究所

718 日立評論 VOL. 65 No. 10(1983-10)

ことなく通過し、ドーム表面から出射される。高ファイバ光 出力を得るための素子形状と発光径は、システムに使用され るファイバの種類などによって異なり、これらは既に幾何光 学的に研究されている。日立製作所は、光ファイバ通信の主 流であるコア径/クラッド径が50/125 μ mのGI形ファイバ(開口 数:0.2)に対して検討を実施した。その結果、発光径 d_0 =30 μ m、 ドーム径 r_0 =200 μ m、ドーム高さh=200 μ mのとき、先球加 工のファイバに対して、平面形の場合の約2倍のファイバ光 出力を得ることができた。これらの発光径とドーム形状は、 選択的なZn拡散により電流狭窄し、発光径を限定する技術と GaAlAsのドーム研磨技術の開発によって達成された。

組立は,光透過用混晶厚膜部をドーム状に加工した後,ス テムにマウントされたサブマウントにフェイスダウンボンデ ィングすることによって行なわれる。

2.2 特 性

図3に示すように、ファイバ光出力はコア径/クラッド径 が50 μ m/125 μ mのGI形先球加工ファイバで、駆動電流 $I_F =$ 100mA(DC)で100 μ Wを得ることができた。これは、平面形 の約2倍のファイバ光出力である。また図4に示すように、 相対ファイバ光出力が最大値の50%に達するときのチップ中 心位置からの変位距離は、ドーム形の場合には、平面形に比 較して半径で20 μ mに対して40 μ mと広がり、ファイバを実装 する場合有利となる。



図4 ドーム形と平面形の相対ファイバ光出力チップ中心からの 変位距離の関係(0.8µm帯発光ダイオード) 横軸はチップ中心を原点 とし、チップ中心からの変位距離を示す。

光ダイオードの諸特性を示す。

本素子の信頼度は、加速動作試験の結果から、接合温度90℃のとき、初期光出力の70%の光出力になるMTTF(Mean Time to Failure:故障までの平均時間)は、約100万時間であることが確認されている。

一方,活性層厚の最適化により,立上り時間 $t_r = 5 \text{ ns}$,立 下り時間 $t_f = 7 \text{ ns}$ の高速応答性を得ることができた。本素子 は、 $32M \forall y \lor /$ 秒,5 kmの光通信システムに対して,ファイ バ光出力,応答特性共に十分適用可能である³⁰(最低受信感度 -33 dBm, $27 \text{ GeV}/2 = y \lor \text{GeV}/2 = 2 \text{ so}$) 損失3 dB/kmのGIファイバに適用の場合)。表1に開発した発



図5に接合温度とMTTFの関係を図示するが、この図から活性化エネルギーは、 $E_a = 0.9/eV$ となる。

3 1.3µm帯発光ダイオードの開発

3.1 構造と製作法

InGaAsP/InP発光ダイオードの構造を図6に示す。高い 発光効率及び光ファイバとの高い結合効率を目指して、ド ーム形メサ構造を採用した。LPE(液相エピタキシャル成 長)法によってn-InP基板上に順次n-InPバッファ層、P-In_{1-x}Ga_xAs_yP_{1-y}(x=0.25, y=0.6)活性層、P-InPクラッド 層、n-InGaAsPキャップ層を形成した。InP基板に格子整合 したIn_{1-x}Ga_xAs_yP_{1-y}活性層の混晶比を調節し、発光波長 1.3 μ mをねらった。禁止帯幅の大きいn形及びP形のInPに よって活性層を挟みダブルヘテロ接合を形成した。選択的な 拡散によって電流を狭窄し、発光層に効率良くキャリヤを注 入した。拡散径は、光ファイバ入力が大きくなる30 μ mに設定 したメサ形電極構造を採用し、接合容量及び素子直列抵抗の 低減を図った。チップ表面に無反射膜は形成していない。ダ イオードはAnを蒸着したサブマウント上にダイボンディング し、To-46パッケージにマウントした。

表 | 0.8μ m帯発光ダイオード(HE8403R)の特性 ファイバ光出力 $P_f = 100\mu$ W, 立上り速度 $t_r = 5$ ns, 立下り速度 $t_f = 7$ nsの高ファイバ光出力, 高速応答特性をもち, 光ファイバ通信に適している。

記号	項目	測 定 条 件	特性
P_{f}	ファイバ光出力	I _F =100mA(DC) GI 50μmファイバ	100µW
λ_p	発光中心波長	$I_F = 100 \text{mA(DC)}$	840nm
Δλ	半值幅	$I_F = 100 \text{mA(DC)}$	50nm
V_F	順方向電圧	$I_F = 100 \text{mA(DC)}$	2.0V
C_j	接合容量	$V_R = 0$, $f = 1 \text{MHz}$	10pF
t _r	立上り速度	$I_F = 50 \text{mA}$	5 ns
t_f	立下り速度	<i>I_F</i> = 50mA	7 ns

0	1		1	1				
Ċ	20	40	60	80	100	120	140	
	順方向電流 (mA)							
注: —		ドーム形発光タ	ズイオード	GI50µm;	先球ファイ	バ		
		平面形発光ダイ	(オード	Ta=25	C			
図 3 の関係	0.8µm帯∛ GIファ	発光ダイオ・ イバに対して	ードのフ ,100mAて	アイバ 100µmの	、光出力 のファイハ	とバイ [:] 光出力が	アス電流 、得られた。	

50

光通信用発光ダイオードの開発 719





1.3µm帯発光ダイオードの断面構造 区 6 注入された電子と正孔 は,活性層で再結合して発光し、ドーム表面から放出される。

3.2 特 性

発光ダイオードの中心発光波長は、1.3±0.02µmである。 零バイアス電圧での接合容量は25pFであり、メサ構造の効果 が表われている。図7に、典型的な発光ダイオード(拡散径 30µm)の光ファイバ出力とバイアス電流の関係を示す。測定 にはコア径50µm, 先球加工光ファイバを用いた。バイアス 電流100mAでの光ファイバ出力は、15µW以上である。しか し、バイアス電流が約50mA以上では電流に対する光出力は 直線性から外れ、飽和する傾向を示す⁴⁾ 拡散径が小さいほ

図 8 1.3µm帯発光ダイオードの周波数応答性 活性層の不純物濃 度が10¹⁸cm⁻³程度になると、高い応答周波数が得られることが分かる。

す。不純物濃度が5×10¹⁷ cm⁻³程度では, -3dB低下の遮断 周波数は60MHz程度であるが、1×10¹⁸cm⁻³を超えると200 MHz以上の遮断周波数が得られた。周波数応答特性はバイア ス電流を増すとともに改善される。これに対して光ファイバ 出力は,活性層不純物濃度が低いほうが高く,低不純物濃度 では25µW以上を得た。活性層に不純物がドーピングされる と、キャリヤの寿命が短くなるため応答特性は改善されるが、 一方で不純物の増加に伴い非発光中心が増すため非発光電流 成分が増え、発光出力は低下するものと考えられる5)。また、 あまりに不純物濃度が増加するとトンネル効果が発生し,発 光ダイオードの逆方向耐電圧特性は著しく劣化することが分 かった。発光出力や周波数応答特性の点から,活性層不純物 濃度の実用的な限界は $1 \sim 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 程度と考えられる。

4 応用例

4.1 パッケージ

開発したパッケージの外観を図9に示す 木パッケージは

51

直称正がらがれて、昭和する頃回を小す。 加取狂 かが こいね	開発したバックーンの下観を凶りに小り。中バックーンは、
ど低電流で光出力は飽和する傾向を示し、発光出力は小さか	結合用光ファイバを中心に装着したコネクタスリーブをもち,
った。拡散径が大きくなると発光出力は大きくなるものの,	光コネクタに直接挿入できる小形パッケージである。本パッ
光ファイバとの結合効率は低下した。光ファイバ出力を大き	ケージは、ファイバメタライズ技術の開発によって完全気密
くするには、拡散径は25~30µmが適切であることが分かった。	封止パッケージとなっている。組立はファイバとドームチッ
活性層不純物濃度をパラメータとして測定した代表的発光ダ	プを位置合せし, リングウェルド方式によりキャップとステ
イオードの周波数応答特性(バイアス電流80mA)を図8に示	ムを封止する。

720 日立評論 VOL. 65 No. 10(1983-10)



図10 0.8µm帯光ファイバ伝送モジュール 伝送速度DC~32Mビット/秒の伝送が可能である。入力はTTLレベル変調により光ファイバ入力(GI 50/125)-12~-17dBmが得られる(日立電線株式会社HLD301形)。

4.2 応用例

図10に光ファイバ通信モジュールの例を示す。これはTTL (Transistor-Transistor Logic)レベル信号を直接伝送でき, 伝送容量32Mビット/秒, 無中継伝送距離5km以上を可能にし ている。このような光ファイバ通信では,高ファイバ入力, 高速応答特性に優れているHE8402F,HE8403Rが最適であ り,同図のモジュールには,HE8402Fが採用されている。図11 にHE8403Rの各種ファイバへのファイバ入力を示す。

図12にビーム通信システムの例を示す。本システムは、電 波法の問題がない、ケーブル布設の必要がないという特長が ある。本システムではテレビジョン画像と音声信号を各々1 チャネル、距離1kmの範囲に伝送可能である。本システムに は、高速応答性、高輝度、高出力の特性をもつHE8811が適 用されている。

5 結 言

光通信用光源として、GaAs-GaAlAs系の0.8µm帯及びInP-InGaAsP系の1.3µm帯の発光ダイオードを開発した。これら は、DH構造の採用、活性層厚及び不純物濃度の最適化、ド ーム構造の採用によって、高輝度、高速応答性、高ファイバ 光出力の特性をもち、広く光通信に適用されることが期待さ



図12 光ビーム通信システム テレビジョン映像及び音声信号を,各々 |チャネル,見通し距離|kmの伝送が可能である(八木アンテナ株式会社BC-102)。

信などのシステム用途に応じたパッケージと製品シリーズが 製品化されている。

参考文献

- 1) 倉田,外:高速・高効率な発光及び受光素子,日立評論,63, 3,159~162(昭56-3)
- 2) 小野,外:昭和55年度電子通信学会総合全国大会講演論文集, 光および量子エレクトロニクス(昭55-4)

れる。
0.8µm帯発光ダイオードは、光ファイバ出力100µW、立上り速度 t_r = 5 ns、立下り速度 t_f = 7 nsの特性をもち、帯域・距離積で30Mビット/秒・5kmのシステムに適用可能である。一方、
1.3µm帯発光ダイオードは、40Mビット/秒・20kmのシステムまで拡張可能である。
0.8µm帯発光ダイオードは、ビーム光通信、光ファイバ通

生島,外:産業用小形高性能光送・受信モジュールの開発,

日立評論, 63, 3, 163~166(昭56-3)

- R. C. Goodfellow : Radiance Saturation in Small-Area GaIn-AsP/InP and GaAlAs/GaAs LED's, IEEE, Trans. Electron Devices, Vol. ED-28, No. 4, 365~371(1981)
- 5) 鈴木,外:1.3μm帯高速LED,電子通信学会技術研究報告, OQE82-96(1983)

52