

光半導体素子とその応用

Optoelectronics and its Application

中島晴二* Haruji Nakajima

I. まえがき

最近、マイクロコンピュータ応用の普及等によって電子機器の具備する機能が多様化し、緻密化してきている。このように高度化した機能を有効に活用するために、各種のセンサ及び表示エレメントの重要性が増している。光電変換素子は、こうした目的の中でも重要な位置を占めている。

富士電機では、これら光電変換素子の分野で、液晶、半導体発光ダイオード(以下、発光ダイオードをLEDと略す)、放電管など広範囲の製品系列を持つ西独シーメンス社と合弁会社富士エレクトロニックコンポーネンツ(株)を設立し、これら光電変換素子の販売をすることになった。

ここに、シーメンス社の光電変換素子のうち、赤外LED、可視LED、ホトダイオードの概要と、二、三の応用例を紹介する。

II. LEDの発光原理、材料

1. LEDの発光原理

LEDは、p形半導体とn形半導体からなるpn接合により形成されている。pn接合による発光は、注入形発光とも呼ばれている。pn接合は、平衡状態では第2図のようになっていて、接合の両側に電子と正孔が分かれて存在している。順方向に電圧を印加すると、第3図のようにp領域へは電子が、n領域へは正孔が注入され、これら少数キャリアの一部が多数キャリアと発光再結合することにより発光する。

発光波長 λ は禁制帯幅 E_g により決まり、次のような関係がある。

$$\lambda = hc/E_g = 1,240/E_g \text{ (nm)}$$

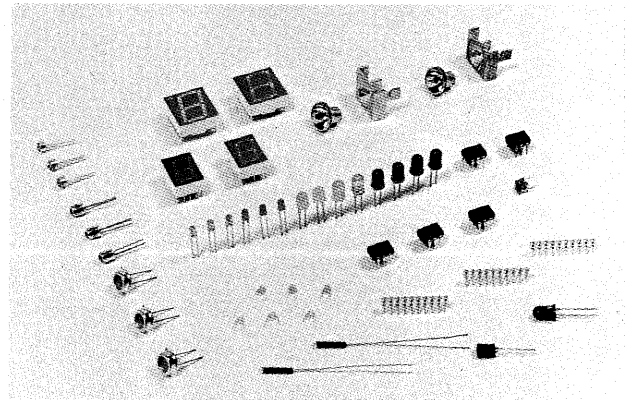
ここで、 h はプランク定数、 c は光速である。

2. LEDの材料

発光素子用材料としての必要条件是、

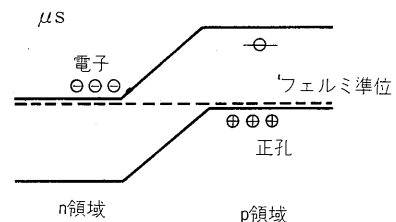
- (1) 禁制帯幅が大きく、発光遷移確率が高いこと
- (2) 導電形の制御が容易に行え、pn接合が形成できると
- (3) 結晶が安定であること

などがあげられる。これらの条件を満たすものとして、現在では、2成分系の化合物がある。中でもIII-V族に



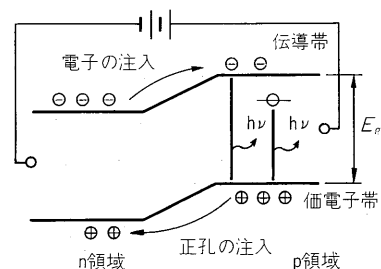
第1図 光半導体の製品

Fig. 1. Products of optosemiconductor



第2図 pn接合の平衡状態

Fig. 2. Equilibrium state of pn junction



第3図 発光素子の発光機構

Fig. 3. Luminous mechanism of LED

属する、GaAs, GaP, GaAs_{1-x}P_xが代表的なものである。

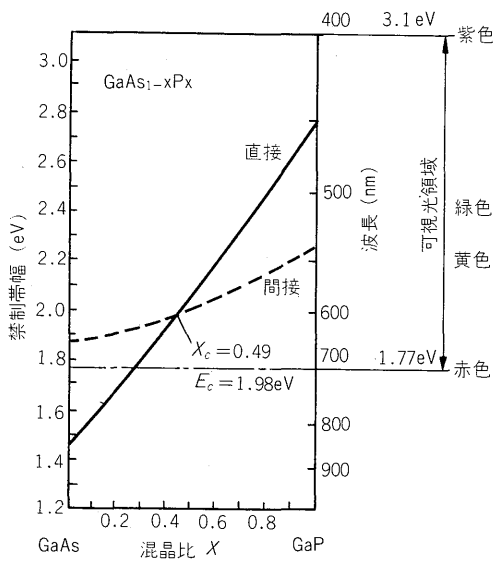
GaAsは室温で禁制帯幅が約1.4 eVの直接遷移形で、近赤外発光素子として古くから研究開発が行われていて品質の良いものが得られている。

GaPは、禁制帯幅が室温で2.26 eVあり、間接遷移形である。特殊な発光中心が開発され、高効率の赤・緑色素子が得られている。

* 富士エレクトロニックコンポーネンツ(株)業務本部

更に禁制帯幅の小さい直接遷移形と、禁制帯幅の大きい間接遷移形の半導体の混晶が作られるようになってきた。GaAs_{1-x}P_xがその例である。GaAs_{1-x}P_xは、第4図に示すように、 x が0から0.49までの範囲で、直接遷移形で、それ以外の範囲で間接遷移である。禁制帯幅と発光波長の関係から x が0.3から1.0の範囲で、可視光が得られる。しかし、 x が0.49以上の間接遷移形では発光効率が低いために、実際よく使われるのは、 x が0から0.49の範囲である。この材料が現在最も多く使われている。

更に、近年 TSN (Transparent Substrate Nitrogen



第4図 GaAs_{1-x}P_xの特性
Fig. 4. Characteristics of GaAs_{1-x}P_x

doped) と呼ばれる技術が開発された。この技術では、GaP 基板 (透明) の上に窒素をドーブしたエピタキシャル層 (例えば GaAsP) が形成される。窒素をドーブすることにより、等電子不純物が形成される。これにより、エキシトン発光となり、発光効率、すなわち電力から光への変換効率が著しく向上する。更に、GaP が透明基板なので、エピタキシャル層から下方へ放射された光も、基板底部から反射させることにより利用できる。

現在研究開発が行われているものに、青色 LED があ。この材料として、GaN や SiC などがあげられる。しかしながら、製造上の点から、まだ実用化までには至っていない。

III. 定格及び特性

第1～3表に代表的な可視光 LED、赤外 LED、ホトダイオードの定格及び特性を示す。

1. 可視光 LED

本 LED には、形状、輝度、半値角などにより多くのタイプがある。中でも特長のあるのは高輝度タイプである。CQV 51H で 25～50 mcd の光度である。

2. 赤外 LED

赤外 LED の特長も同様に、低電流で高い放射強度が得られることである。例えば、LD 271 で typ. 15 mW/sr の放射強度である。更に広角のものや、小形のものなど幅広い製品を用意している。

3. ホトダイオード

ホトダイオードは、フィルタを兼ねた樹脂によりモールドされている。フィルタが付いているにもかかわらず感度が高い。更に第5図に示したように、波長に対して

第1表 可視光 LED の特性

Table 1. Characteristics of LED lamps

形名	直径 (mm)	発光色	半値角 (度)	光度 I_v (mcd)	順電流 I_F (mA)	最大順電流 I_F (mA)	発光波長 λ_{peak} (nm)	材料・技術
CQV 30C	3	赤	±25	≥2.5	20	100	665	GaAsP
CQV 41-5	3		±65	≥2.5	20	60	645	TSN
LD 52C	5		±12	≥15	10	60	645	TSN
CQV 51H	5		±12	25～50	20	60	645	TSN
CQX 23-2	5		±70	≥2.8	20	60	645	TSN
CQV 33E	3	黄	±25	≥6.3	20	60	590	TSN
CQV 43-5	3		±65	≥2.5	20	60	590	TSN
LD 56C	5		±12	10～20	10	60	590	TSN
CQV 53H	5		±12	25～50	20	60	590	TSN
CQX 33-2	5		±70	≥2.8	20	60	590	TSN
CQV 35E	3	緑	±25	≥6.3	20	60	560	GaP
CQV 45-5	3		±65	≥2.5	20	60	560	GaP
LD 57C	5		±12	≥20	10	60	560	GaP
CQV 55J	5		±12	40～80	20	60	560	GaP
CQX 13-2	5		±80	≥2.8	20	60	560	GaP

第 2 表 赤外 LED の特性
Table 2. Characteristics of IR-LED

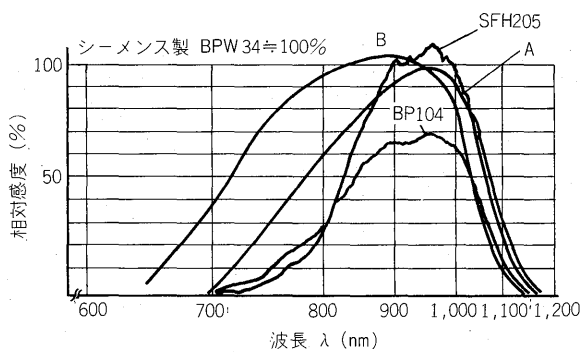
形 名	半値角 (度)	ピーク 発光波長 λ_{peak} (nm)	順電流 I_F (mA)	サージ電流 ($t < 10 \mu s$) I_{FS} (A)	放射強度 I_e (mW/sr)
LD 271	25	950	100	2.5	≥ 10
LD 271H	25	950	100	2.5	≥ 16
LD 271A	25	950	100	2.5	≥ 7
LD 242-1	60	950	100	5.0	2.5~5.0
LD 242-2	60	950	100	5.0	4.0~8.0
LD 242-3	60	950	100	5.0	6.3~12.5

第 3 表 ホトダイオードの特性
Table 3. Characteristics of photo diode

形 名	感光面積 A (mm ²)	最高感度 波長 λ (nm)	感 度 S (nA/lx)	暗電流** I_R (nA)	容 量 C_0 (pF)	チ ッ プ 寸 法 (mm)
BP 104	5	950	40*	2 (≤ 30)	48	2.5×2.5
SFH 205	7.6	950	50*	2 (≤ 30)	72	3×3

注) (1) * : $\mu A \cdot \frac{cm^2}{mW}$ $\lambda = 950$ nm で測定

(2) ** : $E = 0, V_R = 10$ V



第 5 図 ホトダイオードの波長対相対感度
Fig. 5. Wavelength vs. relative sensitivity of photo diode

シャープな特性を有しているのので、白熱電球や太陽光による誤動作を防げる。

IV. 信頼性

光半導体素子は現在、表示、信号伝送用など多くの分野に需要が増大している。これに伴い、高信頼度の要求が増え、いろいろな面から開発、改良が進められている。

信頼度を決定する要因として、

- (1) 素子自体に起因するもの

第 4 表 LD 271 の信頼性試験項目及び結果
Table 4. Reliability test item and result on LD 271

試 験 項 目	試 験 条 件	サンプ ル 数	判 定	判 定 条 件
熱 衝 撃 試 験	0°C/+100°C, 10 サイクル MIL 883/1011	105	合格	$\Phi_e(I_F = 100 \text{ mA})$ < 50%
温度サイクル試験	-55°C/+100°C, 10 サイクル MIL 883/1010	105	合格	
高温保存試験	100°C/1,000 h MIL 883/1008	105	合格	$I_R(V_R = 3 \text{ V})$ > 10 μA
耐 湿 試 験	40°C, 92% RH 1,000 h DIN 40046	52	合格	
はんだ付け試験	260°C ± 5 MIL 202/208B	75	合格	95% 以上
はんだ耐熱性	260°C, 10 秒, 2 mm MIL 202/210B	105	合格	
連続動作寿命	$I_F = 60 \text{ mA}$ 周囲温度 60°C 1,000 h	105	合格	$\Phi_e(I_F = 100 \text{ mA})$ < 50%
衝 撃 試 験	1,500 G MIL 883/2002B	105	合格	$I_R(V_R = 3 \text{ V})$ > 10 μA
定加速度試験	20,000 G MIL 883/2007D	105	合格	

(2) 使用上の電氣的、環境条件に起因するものがあげられる。信頼性試験は、これらの要因を考えて、電氣的ストレス、熱的ストレス、機械的ストレスをシミュレートした条件で行われる。第 4 表に一例として赤外 LED LD 271 の信頼性試験項目及び結果を示す。これらの項目のほかに、他の半導体素子ではさほど問題にならないが、温度、湿度、紫外線により外囲器を劣化させ、それにより光出力の見掛け上の劣化をもたらすこともあるので十分に注意する必要がある。

V. 光半導体素子の応用

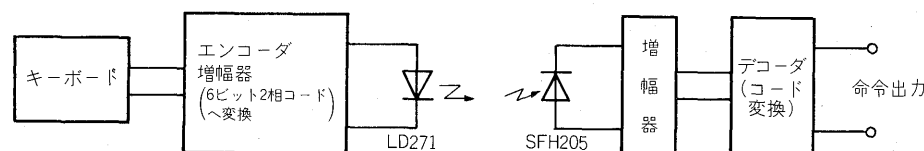
光半導体素子は、その機能により、ランプ、通信、文字ディスプレイ、情報処理などに応用できる。

ここでは、赤外 LED とホトダイオードを用いた応用例を示す。

1. 赤外線リモートコントロールシステム

第 6 図に赤外線リモートコントロールのブロック図を示す。

キーボードにより入力された命令信号は、エンコーダ



第 6 図 赤外線リモートコントロールのブロック図
Fig. 6. Block diagram of IR remote control system

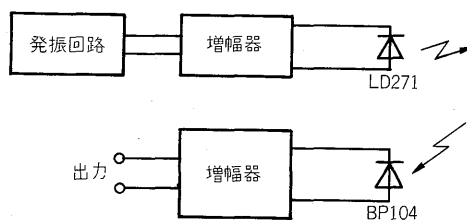
部分で2相コードのパルスに変換される。変換された信号は、トランジスタにより増幅されて赤外LEDへ流れ、光出力が発生する。空間に放射された光信号は、ホトダイオードによって受信され、増幅される。信号はデコーダにより命令信号に変換され命令出力として取り出される。信号の到達距離は光出力によって決定される。更に到達距離を伸ばしたい場合は、赤外LEDを直列接続して光出力を大きくするか、光学レンズを用いることにより達成できる。

このリモートコントロールシステムに使用される素子として、代表的なものが、赤外LED及びホトダイオードの組合せで、LD 271-BP 104 または LD 271-SFH 205 がある。このシステムは現在テレビ、ステレオのリモートコントロールシステムとして、需要が伸びている。

2. 反射式光電スイッチ

この応用の構成は、基本的には前述のリモートコントロールシステムと同じである。第7図にブロック図を示す。送信回路部では、一定周波数、例えば持続時間 $10\mu\text{s}$ 、繰返し周波数 100Hz で動作し、光出力を発生する。受信回路は通常反射物がない場合は、出力が0であるが、反射物が近づいた場合は反射された光信号が受光素子によって受信され、増幅してスイッチ動作を行う。ここに示した例では、衣服や皮膚に対して、約 1m まで応答する。

その他赤外線を利用したものには、ワイヤレス音声伝送、ワイヤレス電圧測定など限らない応用分野がある。



第7図 反射式光電スイッチのブロック図

Fig. 7. Block diagram of reflection light barrier

VI. あとがき

今回は、シーメンスの光半導体素子の製品系列の中で可視光LED、赤外LED及びホトダイオードについて応用を含め紹介した。他の製品系列は次の機会に紹介したい。

今後の光半導体素子の動向として、高輝度化、高出力化の方向に進む一方、光ファイバによる光通信に代表されるように、トータル的なシステムの一部として、将来一層研究開発が進むであろう。

参考文献

- (1) Siemens : Optoelectronics Semiconductor Data Book (1975/1976)
- (2) Siemens : Optoelectronics Semiconductor Data Book Supplement (1977)
- (3) Siemens : Design Examples Semiconductor Circuits (1977/1978)
- (4) 光半導体活用ガイド, 誠文堂新光社 (昭50)



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。