

第 1 章

LED の基本と 白色 LED のしくみ

発光ダイオードである LED の発光原理と、白色 LED のしくみについて説明します。P 型半導体と N 型半導体の接合部である PN 接合部における電子と正孔の再結合によって LED は発光します。これらについて図を用いてやさしく解説します。また、一般に、市販されている蛍光体方式の白色 LED のしくみと、筆者の研究室で開発している RGB 方式の白色 LED と新しい蛍光体方式の白色 LED について説明します。

1-1●LED の基本

発光ダイオードは別名“LED”とといいます。“Light Emitting Diode”の略です。LEDの発光原理は半導体のバンド理論で説明することができますが、本章では、イメージ図でLEDの発光原理を説明します。半導体には、P型半導体とN型半導体があります(図1-1)。P型の半導体には正の電荷をもつ正孔(またはホールという)が多くつまっています。“多くつまっている”という意味で多数キャリアといいます。すなわち、P型半導体の多数キャリアは正孔ということになります。一方、N型の半導体には負の電荷をもつ電子が多くつまっています。すなわち、多数キャリアが電子ということになります。

多数キャリアである正孔と電子は互いに結合する性質をもっています。

P型半導体とN型半導体を接合するとどのようなことになるか説明します。

接合という意味は、接着剤などで貼り合わせるのではなく、半導体プロセスで成形していく過程でP-N接合部を形成していくという意味です。P型半導体とN型半導体を接合すると、電子障壁という壁ができてしまいます。多数キャリアである正孔と電子の移動を妨げ、正孔と電子は互いに結合することができなくなります。図1-2はP-N接合をモデル化した図です。この状態を熱平衡状態といいます。何らかの方法でこ

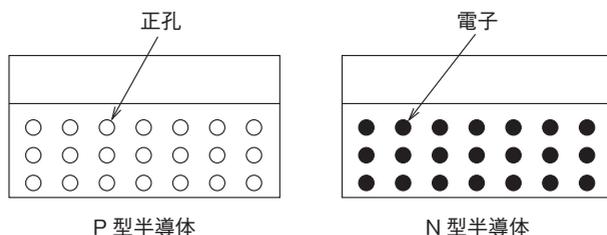


図 1-1 P型半導体とN型半導体

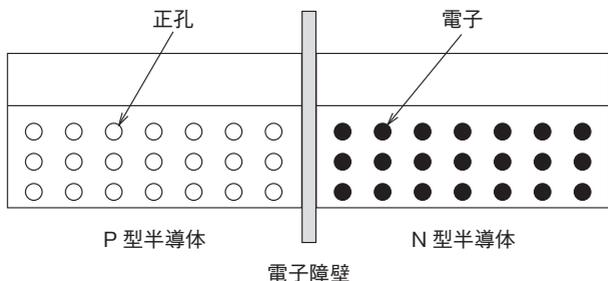


図 1-2 P-N 接合部の電子障壁（熱平衡状態）

の障壁を取り除かなければ、正孔と電子は結合することはできません。

次に、P型半導体とN型半導体に電圧を加えます（図 1-3）。P-N接合部にそれぞれ+、-の極性の電圧を加えます。この状態を順方向バイアスといいます。順方向に電圧を印加するとP-N接合部の電子障壁がなくなり、多数キャリアである正孔と電子が移動することができるようになります。すなわち、P領域の正孔がN領域に、N領域の電子がP領域に流入していきます。このことを注入現象といいます。このようにし

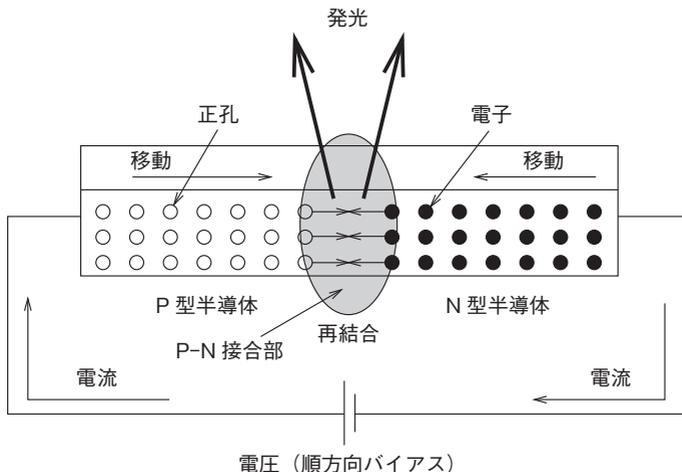


図 1-3 正孔と電子の再結合（順方向バイアス時）

て注入した正孔と電子は反対の電荷をもつ多数キャリアと結合します。この結合のことを“再結合”といいます。すなわち、注入した正孔と電子はそれぞれN領域、P領域の多数キャリアである電子と正孔と再結合します。この再結合の際の遷移に相当するエネルギーが光として放出されます。これがLEDの発光のメカニズムです。

この発光メカニズムについてももう少し詳しく説明します。

電子と正孔が再結合するためには、実は、もう1つ半導体自身も禁制帯幅（これをバンドギャップという）という障壁を超えるエネルギーをもらう必要があります。すなわち、バンドギャップ E_G に相当するエネルギーを電子と正孔に与える必要があります。

式で表現すると以下のようになります。

波長 λ の逆数である振動数を ν として、プランク定数 h ($6.625 \times 10^{-34} \text{J}\cdot\text{s}$) を与えると、 $h\nu$ のエネルギーをもつ光を発光させるためには、少なくとも E_G を超える、

$$h\nu = E_G \quad (1)$$

というエネルギーを与えなければなりません。

また、波長 λ と禁制帯幅 E_G との間には、

$$\lambda = \frac{1240}{E_G} \quad (2)$$

の関係があります。

これまでのことを言葉で説明すると、“P-N 接合部に順方向電圧を加えることで、P-N 接合部の電子障壁を下げて、電子と正孔が遷移し、遷移した電子と正孔がバンドギャップ E_G に相当するエネルギーをもらうことにより、それぞれ反対の電荷をもつ多数キャリアと再結合し、そのときに失ったエネルギーが $h\nu$ というエネルギーの光を放つ”ということが出来ます。

LEDの発光原理やLEDチップの構成、LEDデバイスの作り方については、本書の姉妹書「よくわかるLED活用入門」を参照してください。

1-2●白色LEDのしくみ

白色LEDの発光原理およびその構造には、大別して3種類があります。

- (1) 黄色の蛍光剤と青色LEDまたは紫外発光LEDを組み合わせた白色LED
 - (2) 赤、緑、青色の3色のLEDチップを組み合わせた白色LED
 - (3) 青色LEDと赤色および緑色蛍光剤を組み合わせた白色LED
- です。このなかで、(2)と(3)については筆者の研究室で製作、研究中のパワー白色LEDモジュールを例に説明します。

(1) 黄色の蛍光剤と青色LEDを組み合わせた白色LED

基本構造を図1-4に示します。最初に、黄色の蛍光剤を透明のエポキシまたはシリコン樹脂に混合し、蛍光体とします。次に、この蛍光体を、配線処理を済ませた青色LEDチップの上部に封止し、LEDデバイスとして仕上げます。青色LEDが発光すると、励起光源として青色が黄色の蛍光体を照射し、青色を黄色に波長変換します。この黄色と青色LEDから出た青色を重ねて(混ぜ合わせて)疑似的に白色にする発光方式です。

この方式の発光は青みがあった擬似白色になります。このような白色を寒色系の白色と称しています。現在、市販されている白色LEDは、紫外線発光LEDが高価であることと、青色LEDが低価格化と量産化が可能になったことから、青色LEDと蛍光体の組み合わせが主流になっています。

袋に入ったパウダー状の黄色の蛍光剤を、高分解能のデジタル天秤で計量して取り分けている様子を図1-5に、取り分けた黄色の蛍光剤をあらかじめ計量済みのエポキシ樹脂に混ぜ合わせている様子を図1-6に示します。また、砲弾型白色LEDの拡大写真を図1-7に示します。黄色

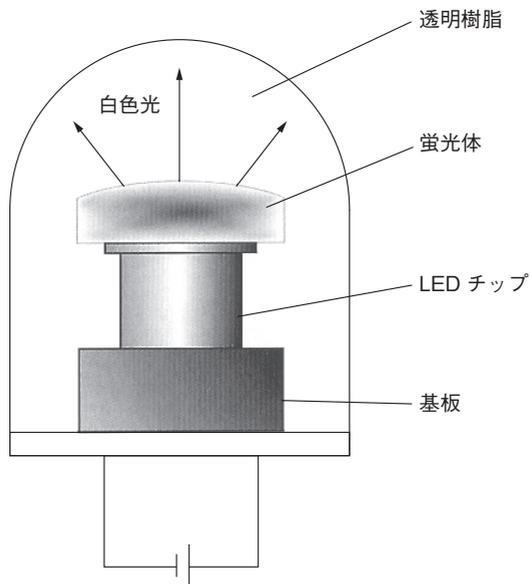


図 1-4 黄色の蛍光体を使用した疑似白色 LED の構造



図 1-5 黄色の蛍光剤を取り分ける