

LED の基本構造

LED は固体の発光デバイスです。従来の電球などと比べ、発熱が少なく、長寿命です。また、小型で全固体のランプを形成できることから衝撃性に優れ、照明器具の設計自由度を飛躍的に高めることができます。本稿では LED デバイスの基本的な構造について解説します。

LED とは

発光ダイオード(Light Emitting Diode、LED)は半導体材料で作られた発光素子です。これを電子部品として利用できるように各種パッケージに入れてランプとして形成したのも総称してLEDと呼ばれます。本稿ではパッケージに入れてランプ化したものをLED(またはLEDデバイス)と呼び、半導体素子をLED素子と区別します。

LED の用途は、小型、低消費電力の特徴を生かした電子機器のインジケータのほか、情報表示板、LED ディスプレイなどにも用いられてきました。近年では出力の増加に伴い照明用途にも用いられ、LCD バック照明から携帯電話のカメラのフラッシュ、そして白色 LED の進歩により一般家屋や屋外の照明や自動車のヘッドランプにも用途が開けてきました。

LED デバイスの構成

LED デバイスは主に4種類に分類できます。

a. 縦型ランプ

最も一般的な LED デバイスです(図 1)。主な構造は LED 素子、リードフレーム、金線(ボンディングワイヤー)と封止樹脂からなります。

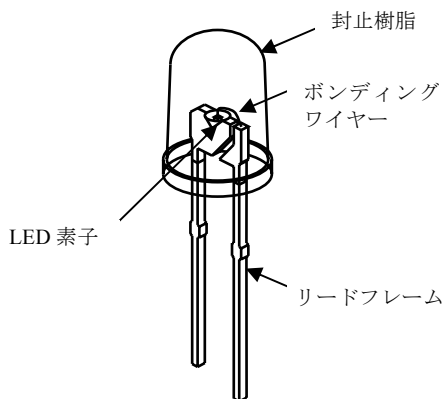


図 1. 縦型 LED ランプ

b. チップ LED(PWB タイプ)

電子回路基板に表面実装できる LED として開発されました(図 2)。構造は回路が印刷された小さなブ

プリント基板(PWB)に LED 素子が載せられ、金ワイヤーでプリント基板の回路と接続された後に素子周辺を封止樹脂で固めたものです。

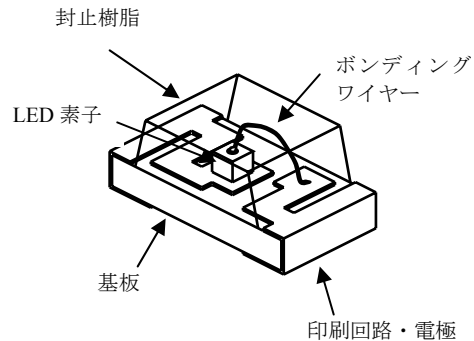


図 2. チップ LED(PWB タイプ)

c. 成形枠付チップ LED(PLCC タイプなど)

PWB タイプと異なり、リードフレームと成形枠(ランプハウス)が一体成形されたパッケージに LED 素子が実装され、金線でリードフレームと接続された後、封止樹脂が外枠内に注入され、内部が固められます。ランプハウスは光の反射枠として利用され、配光特性を制御して光の利用率を高めます(図 3)。

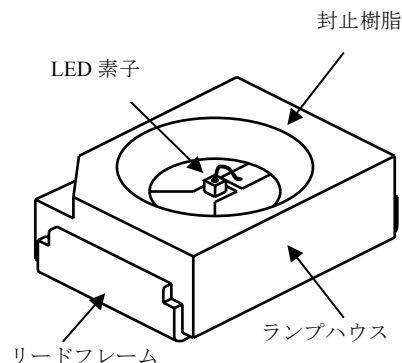


図 3. チップ LED(PLCC タイプ)

d. その他

ステム実装タイプ、数表示器など。

次に構成要素の特徴を説明します。

LED 素子

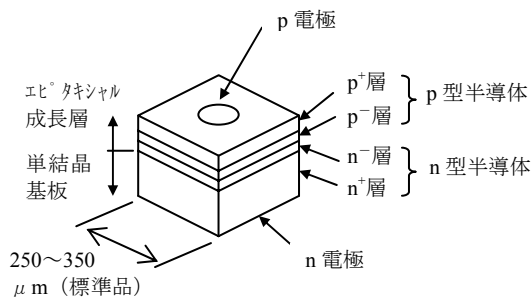


図4. LED素子の基本構造例

LED デバイスの主要な部材です。半導体部品の一種で、電気エネルギーを光に変える光電変換素子です。基本構造は電気の伝導形式が異なるp型及びn型半導体が接合しており、電気的にはダイオードと呼ばれるデバイスに属します。通常のダイオードが主にシリコンやゲルマニウムを材料とするのに対し、LED は GaAs、GaP、AlGaInP、InGaN 等の化合物半導体を用いられます。化合物半導体はその構成材料により固体内部の電子のエネルギー状態が異なります。この内部で電子のエネルギーを光エネルギーに変換すると、光の波長は電子エネルギーに反比例する性質があります。化合物半導体を用いた LED は構成材料により赤外から可視、近紫外までの波長の光を得ることが出来ます。

電子のエネルギーを光エネルギーに変換するには素子に電流を流し、pn 接合部分に電気のキャリアを注入します。電気のキャリアはn型半導体においては電子、p型半導体においては正孔（ある特別な状態の電子の集団が、量子力学的作用により正の電荷をもった1個の粒子のように振舞うもの）がそれにあたり、pn 接合部分で電子と正孔が出会った時、両者は再結合し、電荷が消滅しますが、その際に電子が持っていたエネルギーを放出します。エネルギーは電磁波の形で放出され、光として取り出されます。

実際の LED 素子は発光効率を高めるために様々な工夫がなされています。素子の発光効率は電子のエネルギーを光エネルギーに変える時の効率と、光エネルギーを素子から外部に取り出す効率に分けられます。一般に光電変換現象の効率は、電子・光ともに一個一個計数可能な量子として扱われるので、量子効率として表されます。

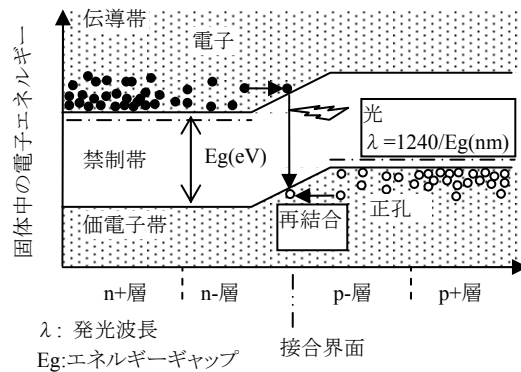


図5. LEDの発光機構(エネルギーバンド図)

外部量子効率: $\eta_{ext} = \eta_e \times E$

η_e : 内部量子効率

E : 光取り出し効率

内部量子効率を向上させる工夫

主に pn 接合部分の工夫によります。

結晶性の向上、ヘテロ接合、量子井戸構造など

光取り出しを向上させる工夫

素子内の光吸収要素の除去や内部反射成分の低減を図ります。

素子の基板部分の工夫—透明基板の採用

内部反射成分の低減—表面のテクスチャ処理、台形型の形状など

その他—反射層形成など

上記のように LED 素子自身は完全な固体なので、機械的に強靱な全固体発光デバイスを実現できます。また発光が熱によるものではないため、高い発光効率を期待できます。

リードフレーム、PWB

LED 素子を保持し、外部からの給電を受け取り素子に電氣的導通を与えます。縦型ランプや PLCC パッケージでは銅や鉄の合金を用いたリードフレームが用いられます。LED の光を直近で受けるため、通常は光の反射率の高い銀メッキが施され、ランプ内における光の吸収を抑える工夫がなされます。チップ LED ではプリント基板 (PWB) がよく用いられます。これも光吸収を抑えるために、基板材料に反射率の高いものが用いられます。

リードフレーム、PWB の重要な役目に素子の放熱があります。これらは素子と直接接触しており、素子が発する熱の重要な逃げ道になります。大きな光出力が求められる用途

では、大きな電流を流す必要があるため幅広い足のリードフレームや、メタルコアを導入した PWB など様々なパッケージの工夫がなされています。

ボンディングワイヤー

リードフレーム、PWB の電氣的導通部分と素子の電極を、主に金線を用いて接続します。接続には超音波を用います。最初に接続する際、金線の先端はボール状になっており、超音波で素子電極またはリードフレームにこすり合わせます。ボールは放電により熱を加えて金線の先端部分を溶融させて作られます。このときボールに近い部分の線も部分的に溶解し、冷却された際に他の部分とは異なる状態になります(再結晶領域といいます)。この部分は結晶の粒界が形成されるため、電氣的な観点から注意を要し、例えば大電流を流すとエレクトロマイグレーションにより断線する可能性があります。LED ランプの定格はこの断線が起きないように十分な余裕を持って設計されています。

機械的強度において、ボンディングワイヤーはランプの脆弱な部分の一つですが、全固体ランプを形成する場合は樹脂などによりワイヤーの周囲が固められるため、信頼性

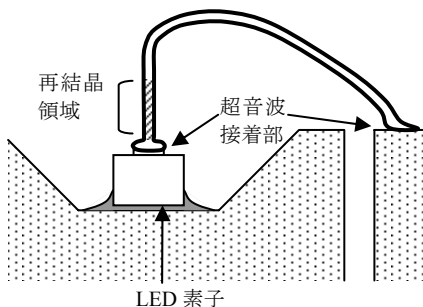


図 6. ボンディングワイヤー

は高いものになります。

ダイボンド材料

LED 素子をリードフレーム等に固定するものです。多くの LED 素子はエピタキシャル成長層側から導電性基板側に電流を流す構造のため、素子はリードフレームや PWB の電氣的の通り道上に設置され、基板側をダイボンド材料で接着し、エピタキシャル成長層には給電のためボンディングワイヤーを接合する構造をとります。ダイボンド材料はエポキシ樹脂に銀の粒子を分散させた銀ペーストが主に用いられます。この材料は硬化後に電氣導電性を持ち、また熱伝導性にも優れています。但し、樹脂材料のため、短波長 LED などでは劣化が問題になる場合があります。このため、

一部の LED では AuSn などの共晶接合が利用されます。共晶接合はハンダなどと同様に全て金属材料による接合のため、熱伝導性に優れ、且つ高信頼性を有しています。その他、ボンディングワイヤーと同様に金の柔軟性、粘着性を利用し、金バンプで素子をボンディングする方法もあります。

近年では基板に絶縁材料を用いた LED 素子があります。この場合の給電は p、n 半導体ともにエピタキシャル成長層側で行われるため、接着に導電性を必ずしも必要とされないため、透明の樹脂ペーストが利用されています。

封止樹脂

LED 素子周囲を樹脂で満たし、固定します。これにより LED 素子を湿気や外的衝撃から守ります。樹脂は透明か、少なくとも発光波長をよく透過するものが用いられます。一般的な縦型ランプは構造が最も単純な形式の一つで、封止樹脂で全体の構造を支持するため、硬度が高いエポキシ樹脂がよく用いられます。ドーム型の形状はレンズとして作用し、LED 素子から発せられた光を集光します。封止樹脂には配光性を制御するため拡散剤などのフィラーを混ぜる場合もあります。また、青色発光素子の登場により、蛍光体を樹脂に混ぜ、青色光を任意の波長に変換することも行われるようになりました。これにより白色 LED や任意の色度の LED が実現されました。

封止樹脂は LED 素子を直接覆うため、素子から発する光を至近距離で受けることになります。このため、素子周辺の光のエネルギー密度はきわめて大きく、青色や白色 LED などの短波長素子の場合に樹脂の光劣化が大きな問題となります。PLCC タイプのパッケージは構造を成形枠とリードフレームで支持するため、エポキシ樹脂よりも柔軟であるが光劣化に対して耐久性の高いシリコーン樹脂が利用可能です。

その他の部材

反射枠

PLCC パッケージは樹脂製の外枠に電氣的導通のためのリードフレームを備えており、内部に LED を搭載して封止樹脂で封止することにより LED ランプとなります。外枠で構造を支えるため、封止樹脂材料に柔らかいものが利用できます。外枠は LED 素子の光を有効利用するために反射率を高める工夫がなされ、樹脂のフィラーとして白の顔料を加えたものが用いられます。

反射枠は封止樹脂と同様、ランプ内部を外環境から守る役目があり、耐久性に優れている必要があります。高信頼性や劣悪な環境での使用の場合、樹脂より耐久性の高

いセラミック製の反射枠も開発されています。

レンズ

封止樹脂は光の屈折率が高く、その形状により外部へ放出される光の向きが変わるため、レンズ作用を持つこととなります。縦型ランプは封止樹脂全体がレンズとして働き、ランプの配光特性を制御しています。チップ LED でも封止樹脂を成形したり、もしくは後付けのレンズを追加して鋭い指向性のランプを作ることが出来ます。

拡散剤

LED 素子の配光特性は製品により特有のパターンがあります。透明な樹脂で封止したランプの配光特性は使用した LED 素子の配光特性を反映したものになります。配光パターンを均一化し、素子の違いの影響をなくすために、封止樹脂にシリカなどの拡散材が混合される場合があります。

蛍光体

青色発光素子が開発され、LED による蛍光体の励起が可能になっております。これを利用すれば任意の色の LED を 1 個の素子で実現できます。例えば青色発光素子と黄色の蛍光体を組み合わせて、両者の光を外部に取り出すことにより白色光が得られます。

蛍光体は通常湿度に弱いため、ランプ設計においては耐湿性能を考慮したものになります。また、材料によってはその乖離成分が他の部材を劣化させる原因となるため、材料の選定に注意が必要となります。

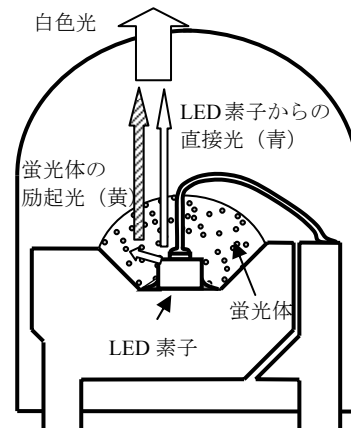


図 7. 白色 LED