

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、小型で全固体の光源を形成できることから耐衝撃性に優れ、お客様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形成したものを総称してLEDと呼びます。本稿ではパッケージに入れ製品化したものを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バックライトから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、自動車のヘッドライトにも使われるようになりました。

LEDデバイスの種類と構造

縦型LED

主な構造はLED素子、リードフレーム、ボンディングワイヤー(金ワイヤー)、封止樹脂からなります。(図1)

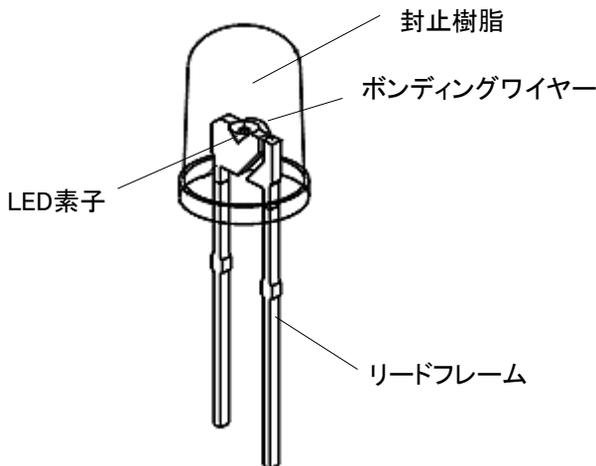


図1. 縦型LED

面実装LED 基板タイプ(PCB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プリント基板(PCB)にLED素子を載せ、ボンディングワイヤーでプリント基板の回路と接続した後に、素子周辺を封止樹脂で固めたものです。

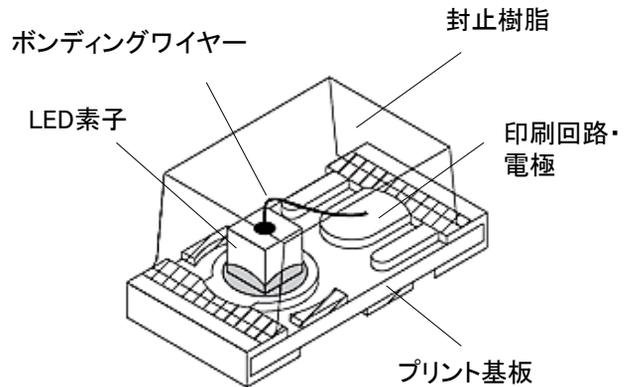


図2. 面実装LED 基板タイプ(PCBタイプ)

面実装LED 成形枠付タイプ(PLCCタイプなど)

基板タイプと異なり、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素子を搭載し、ボンディングワイヤーでリードフレームと接続した後に、封止樹脂を成型枠内に注入して、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)。

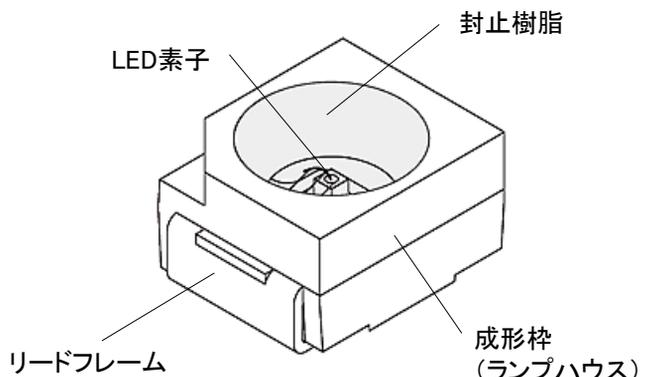


図3. 面実装LED (PLCCタイプ)

その他 面実装LED

ランプハウスがセラミックなどの材料で形成されたものや、封止樹脂の代わりにガラスカバーを用いるタイプなど、様々なバリエーションが存在します。

LEDデバイスの構成要素

LED素子

LEDデバイスの主要な部材です。半導体部品の一つで、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。(図4)

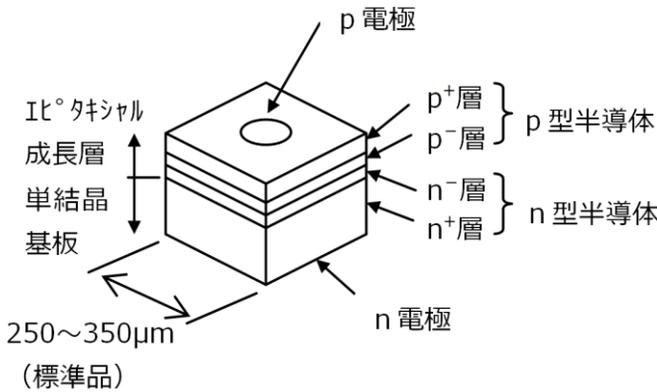


図4. LED素子の基本構造例

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、深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。その際に電子が持っていたエネルギーが放出されます。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(内部量子効率)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。

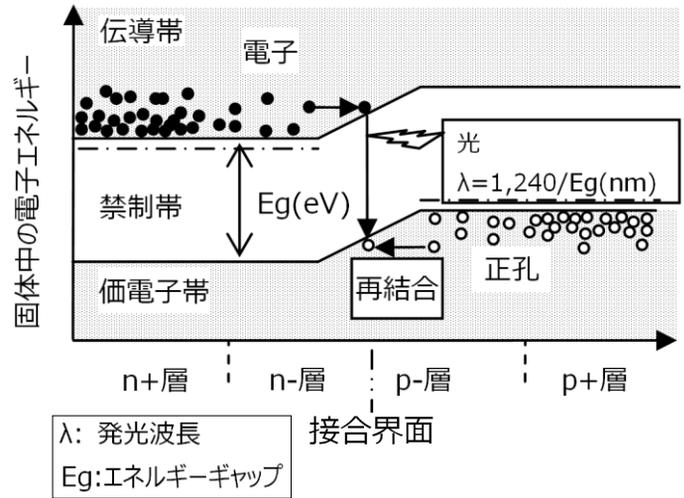


図5. LED素子の発光構造

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

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

LED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、機械的に強靭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、高い発光効率が期待できます。

リードフレーム、プリント基板(PCB)

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LED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使われます。LED素子の光を直近で受けるため、通常は光の反射率の高いメッキが施され、LED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(PCB)がよく使われます。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。

リードフレームやPCBの重要な役割として、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、大電流を流す必要があり、幅広いリードフレームや、メタルコアを導入したPCBなど、パッケージに様々な工夫がなされています。

ボンディングワイヤー

リードフレームやPCB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。(図6) 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が必要です。例えば大電流を流すと断線する可能性があります。LED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。

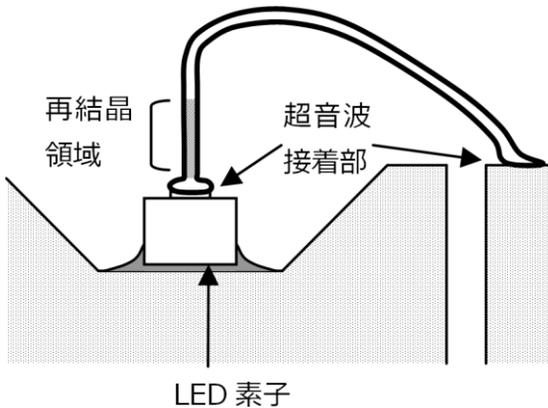


図6. ボンディングワイヤー

機械的強度において、ボンディングワイヤーはLEDの脆弱な部分の一つですが、封止樹脂などによりワイヤーの周囲を固めることで保護されます。

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PCBの電氣的の通り道に設置され、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。ただし、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、金ボール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LED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(ランプハウス)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ン樹脂が利用可能です。

成形枠(ランプハウス、反射枠)

PLCCタイプLEDは樹脂製の成形枠に電気的導通のためのリードフレームを備えており、内部にLED素子を搭載して封止樹脂で封止することによりLEDとなります。成形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。成形枠は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。成形枠は封止樹脂と同様、LED内部を外部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成形枠もあります。

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LEDは封止樹脂全体がレンズとして働き、LEDの配光特性を制御しています。面実装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LEDを作ることができます。

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LED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るために、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りました。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。(図7)

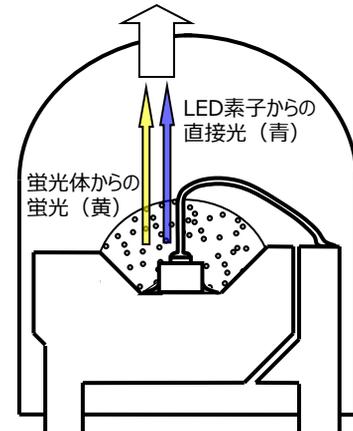


図7. 白色LED

蛍光体は通常湿度に弱いため、LED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。