

LED の技術とその応用について

～ LED のあかりが生活を変える～

日亜化学工業株式会社
板東 完治

1. はじめに

光は我々が生活や文化を営む上で必須のものであるため、より明るくより少ないエネルギーで光る高効率な光源の開発は世界共通の課題となっている。日本でも 2005 年の「京都議定書」以降、CO₂ ガス削減を図るための省エネルギー活動が活発に展開されており、2015 年には 2030 年までに 2013 年度比で 26% の CO₂ 削減を目標とする政府方針が出され、光源については電球や蛍光灯から省エネルギーな新光源に置き換えようとする動きが進んでいる。

本稿では、高効率光源として普及が進んでいる LED (Light Emitting Diode, 発光ダイオード) について、その技術と応用について紹介する。

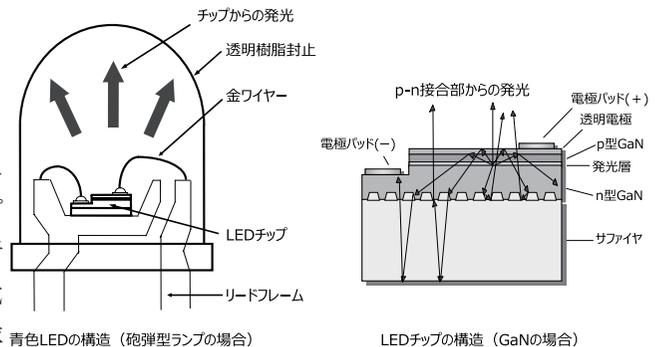
発明・実用化された。電球の次の世代が放電発光を利用する蛍光灯や HID ランプで、1930 年代にインマンらによって実用化されている。そして、最新の世代にあたるのが半導体の固体発光を利用する LED である。

LED は発光部が半導体で作られていて、半導体の p-n 接合に電流を流した時に正孔と電子が再結合して発光する現象を利用する光源である。半導体の固体結晶が光ることから固体発光素子と呼ばれることもある。図 1 に LED の基本構造を示す。左図の中央にあるのが半導体でチップである。右図がチップの詳細で p 型層と n 型層が接する部分が発光層となっている。

LED の発明と発展の歴史には、結晶成長や半導体に関する技術の進展が深く関わっている。LED が歴史に登場するのは、1907 年に

2. LED とは

現在光源としてはいろいろな種類のもので使われているが、そのほとんどがエネルギー源の電気を光に変換するタイプの光源である。LED はその中でも最新の世代にあたる光源である。最初の世代が熱放射による発光を利用する白熱電球で、1870 年代にスワンやエジソンにより



青色LEDの構造 (砲弾型ランプの場合) LEDチップの構造 (GaNの場合)

図 1 LED の構造

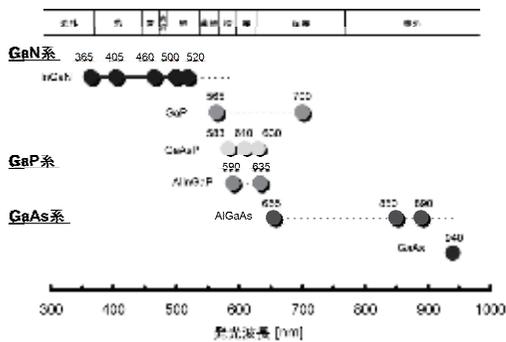


図2 LED用の半導体材料と発光波長

LEDの特徴		
高効率	省エネルギー	ランニングコスト削減、CO2削減
	温度安定性	低温・高温でも効率が低い
信頼性	長寿命	交換の手間削減、安全安心設計
	紫外・赤外成分のない光	店舗・美術・病院の照明光に最適
自由度	低電圧直流駆動・瞬時点灯	デジタル制御が容易（調光・調色・点滅）
	小型、RGB発光	使い勝手（小型・薄型・軽量）
環境性	水銀フリー・鉛フリー	環境負荷物質を含まない

表1 LEDの特徴

H.J.Round が SiC（炭化ケイ素）の発光現象を Electric World 誌に報告したのが最初である。1948年に点接触型トランジスタが発明されて以降半導体の研究が進み、1950年代になるとⅢ-V 属化合物半導体が登場、単結晶の基板上にエピタキシャル成長（単結晶薄膜成長）で pn 接合を形成する LED の基本構造が確立された。発光デバイスとして有用であることが注目されるようになると各種の半導体材料を用いて LED が開発された。さらに工業化のための技術も進んで大量生産が開始されたのもこの時代である。

発光色も、赤、橙、黄、黄緑と次々と開発されたが、短波長の青の開発には時間を要し、半導体材料に GaN（ガリウムナイトライド）を用いて高効率の pn 接合 LED が実現（赤崎ら、1992年）されるまで実用化には至らなかった。翌1993年には日亜化学からダブルヘテロ構造の青色 GaN が発表され、工業的な生産も始まった。現在では青から緑までをカバーする高効

率 LED として広く普及している。

LED の発光色は使われている半導体の種類、組成、そして構造によって決まり、発光層のバンドギャップ Eg (eV) が発光波長に相当する。図2に示すように、青、青緑、緑、黄、橙、赤、白、など各色で効率の高い LED が実現されている。

LED の特徴を表1に示す。固体である半導体の p-n 接合部で電気を直接光に変換するため、劣化が少なく寿命が非常に長い。電球のように突然切れることもないので、寿命は明るさの維持率を元に定義される。たとえば照明用途では初期の 70% の明るさにまで低下する時間が寿命とされ、照明用に市販されている LED なら通常 40,000 時間以上の実力がある。現在の LED は半導体技術を駆使して作られた、高効率かつ長寿命で小型軽量、温度安定性など数々の優れた特徴を兼ね備える新世代の光源である。

3. LED によるカラー表示

光の3原色にあたる青、緑、赤が全て LED で実現されたことで3原色を組み合わせるとフルカラー表示が可能になった。現在ではスポーツ施設の大型ディスプレイや、駅や道路の案内板などさまざまな用途で使われている（図3）。

ビル壁面に取り付けるような大型ディスプレイ、道路情報板、広告塔は、屋外に設置可能なのが大前提である。そのため光源に対しては、直射日光が当たっても十分に視認できるだけの明るさと優れた耐久性が要求される。現在、この要求を満足できる光源は LED 以外にない。常時運転するため低消費電力であることが重視され、青と緑には前述の GaN、赤には AlInGaP（アルミニウム・インジウム・ガリウム・リン）を用いた高効率の LED が使われている。映像表示をする場合でも、1個の LED には 10 mA 前後の僅かな電流しか流れていないが、明るく



図3 LEDディスプレイ JRA東京競馬場(11.2m×66.4m)



図4 LED信号機 左：徳島県 右：シンガポール

視認性の高い表示が可能である。

信号機もLEDの登場で省エネルギー化が大きく進んだ製品である(図4)。効率と耐久性が重視され、青(緑)にはGa₂N, 黄と赤にはAlInGaPが使われている。これらのLEDを使った3色信号機や矢印信号機が各地で設置され、現在国内では約40%近い信号機が電球式からLED式へ置き換えられている(警察庁, 2012年)。

LED信号機の特徴は、消費電力が電球の約1/6と小さくランニングコストが格段に安いことにある。日本国内だけでも約220万の信号機があることから、電球からLEDへ置き換えると年間10億kWh, 100億円以上の節電が可能な計算になる。24時間点灯し続ける信号機の節電は、CO₂削減にも寄与するところが大きく、国内で年間43,000 tonの削減可能である。

4. 白色LEDの登場

白色光は、光源としての応用範囲が最も広い色である。LED市場においても現在主役となっているのは白色LEDで総生産量の半分以上を占める。

白色LEDは、青色発光のGa₂N-LEDチップと黄色発光のYAG蛍光体を組み合わせた構造

のものが最も一般的で1996年に開発・商品化された。蛍光体で青色を波長変換して白色を得る方式で、当初は5lm/W^(*)程度の効率しかなかったが2006年には100lm/Wを超え、照明用として本格的に採用が始まった。最近では蛍光ランプやHIDランプを上回る150~200lm/Wの効率を持つLEDも開発されている。これは照明用として使われている白色光源の中では最も高い効率である(図5)。課題であった演色性^(**)についても赤色発光のCASN蛍光体の開発などで蛍光ランプ同等のものを作ることができるようになっている。

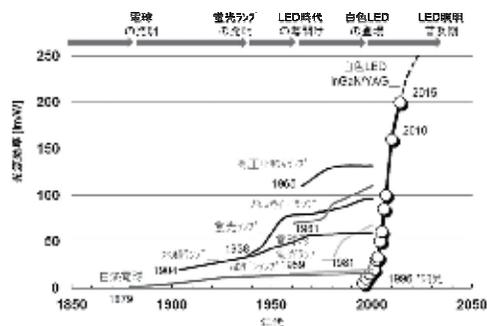


図5 白色LEDの発光効率の進歩

* lm(ルーメン)は光の量(光束)を表す単位、lmを光源の消費電力Wで割った値lm/Wで発光効率を表す。

** 演色性は照明によって物体の色の見え方が変わる性質のこと、基準光を100として色の違いを数値化したものが演色評価数。

図6は、白色LEDの発光効率の向上とともにLEDの応用範囲が広がっている状況をまとめたものである。LEDを採用する動機はさまざまであるが、やはり一番は発光効率の高さである。従来光源より小さい電力で同じ明るさが得られるのでランニングコストも安くなる。とくに白熱電球のような効率が低く光束も小さい光源が使われていた分野では、LED化によって消費電力を大幅に削減することが可能である。誘導灯、読書灯、信号灯、懐中電灯、自転

車ライト，など例を挙げればきりは無い。

メーカー各社の激しい開発競争により白色LEDの効率は飛躍的改善され，現在では150 lm/W程度のものが一般的になっている。用途も一気に拡大し2010年頃からは，LED電球などの一般照明の他，車のヘッドライト，大型液晶TV用のバックライト，など大きな光量が必要な用途にもLEDが採用されるようになってい

5. 白色LEDの構造と製法

図7に，市場で最もたくさん使われている表面実装型（SMD）白色LEDのパッケージ構造を示す。LEDチップの周囲にコーティングした蛍光体層が青色光で励起されて黄色の蛍光を発する。青色と黄色の2色の光を足し合わせて白色光を得る仕組みである。図8に白色LEDの発光スペクトルを，図9には代表的な製造プ

ロセスを示す。

LEDの製造プロセスはICと基本的に同じで，ICパッケージの製造技術や半導体チップの実装技術がそのまま適用可能である。ただし，実際のLEDでは形状はもちろん使用する部材もLED独自のものがほとんどなので，製造装置や工法，各構成材料の組み合わせはあらたに検討し直す必要がある。

ダイボンド工程で用いるチップ固定用のダイボンディング材料としては，導電性のAgペーストや耐熱性の高いAuSn共晶材が半導体では一般的であるが，導電性が不要な白色LEDでは光ロスの影響を減らすため透明の樹脂を用いることが多い。

ワイヤボンドの不具合は不点灯の原因になるのでとくに高い信頼性が要求される。そのためAu線の種類やボンディング条件は熱衝撃試験や半田耐熱性試験を経て慎重に決定される。

封止工程で用いる封止材料には光学素子であ

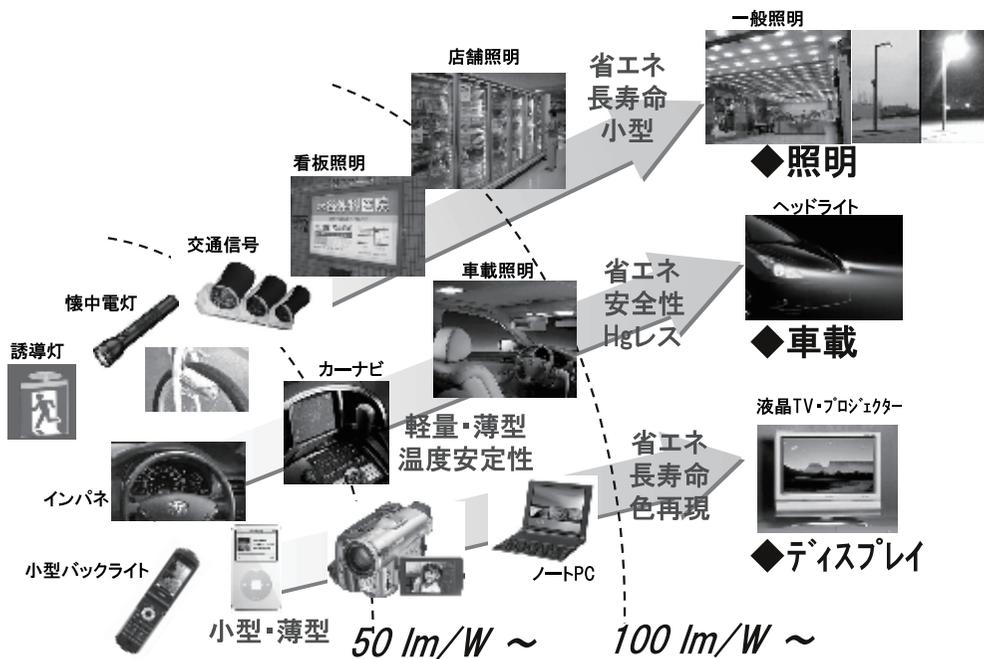


図6 白色LEDの効率向上と用途の拡大

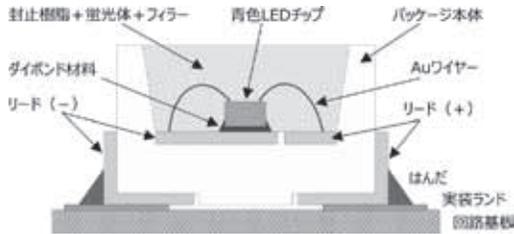


図7 表面実装型(SMD)白色LEDのパッケージ構造

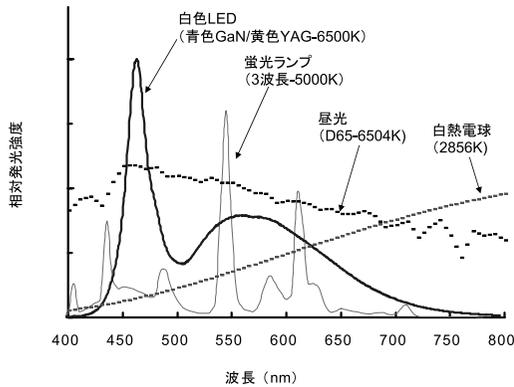


図8 白色LEDの発光スペクトル(6500 K)

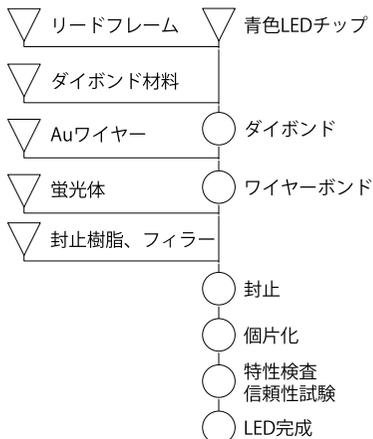


図9 白色LED(図7)の構造プロセス

るLED特有の機能が求められる。LED用封止材料として最も一般的なのはエポキシ樹脂とシリコン樹脂である。エポキシ樹脂は機械的強度に優れ温度安定性も高いが、青色光によって劣化・黄変し易い。一方シリコン樹脂は熱的安定性や耐光性に優れるが、柔らかく実装時の耐久性やガスバリア性に難がある。さらなる改良を図ろうと各メーカーでLED専用の樹脂開発が活発に進められている。

6. おわりに

本編では、次世代の省エネ光源として期待されるLEDに関して、開発の歴史ならびに基本構造と特徴、そして最新の技術動向や応用例について紹介した。とくに応用範囲の広い白色LEDは市場の中心的存在で、白色LEDを光源に使った照明器具、車載照明、液晶ディスプレイなどが我々の日常生活の中にも広く普及している。

高効率な省エネルギーを推進していくことはもちろんのこと、今後はLEDの特徴を活かして新しい光源の可能性を切り拓くことも重要となろう。我々メーカーとしてもLED技術のさらなる進歩に取り組んでいきたい。

7. 参考文献

- 1) LED照明ハンドブック, LED照明推進協議会, オーム社, pp. 62 - 69 (2006) .