

LED 照明の現状と将来

善 裕樹, 米田 有佑
Yuki ZEN, Yusuke YONEDA

1 はじめに

近年, 照明分野において Light Emitting Diode(以下 LED) を利用した LED 照明が脚光を浴びている. LED 照明の歴史は浅いが, 白熱電球や蛍光灯と比べて優位な特長を持つことで普及が進んでいる. 改善されるべき問題も残されているが, それを達成することで新たな照明市場の成長につながる可能性を秘めている.

本稿では, LED 照明の現状と改善点, 新技術を用いた LED 照明の将来について述べる.

2 LED 照明の現状

2.1 LED とは

LED とは電圧を加えた際に発光する半導体素子のことであり, 構成される半導体素子の元素の組成を調整することによって自由に色を作り出すことができる.

LED の基本的な仕組みを Fig.1 に示す.

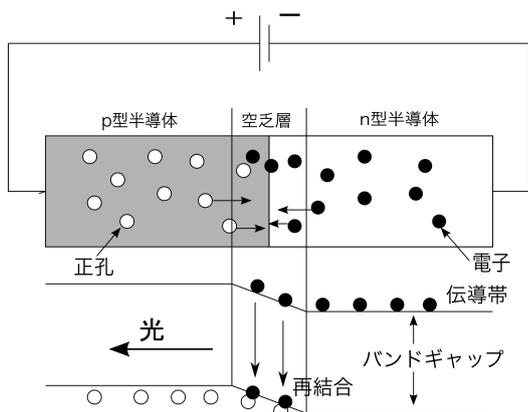


Fig.1 LED の仕組み (参考文献¹⁾ より参照)

LED に使用される代表的な半導体は, ガリウムとヒ素の GaAs 結晶が用いられる. この結晶にリンなどの不純物をわずかに加えると価電子の数が増え, マイナスの電荷を多く持つ n 型半導体ができる. 一方, ホウ素などの不純物を加えると電子の数が減少し, プラスの電荷を帯びた正孔を多く持つ p 型半導体ができる. n 型半導体と p 型半導体を接合させると p-n 型半導体となる. 接合部分は電子も正孔もない空乏層と呼ばれる真空地帯となる.

この 2 つの半導体に電圧をかけると n 型半導体の電子と p 型半導体の正孔はともに空乏層へと向かい, 結合して光を放つ. 半導体中の電子が高いエネルギー状態から低いエネルギー状態に落ちるときに, そのエネルギー差 (バンドギャップ) を光として放出している. バンドギャップは, 物質の組成によって決まるので, 光の波長もそ

れに応じて物質の組成で決まる. 以上が LED の基本的原理である. 半導体の組成比と p 型半導体, n 型半導体の組み合わせを変えることで, 発光色や発光効率を変化させることができる.

2.2 LED 照明とは

1907 年に LED の原点ともいえる発光現象が確認されて以来, 様々な色が開発されてきた. LED の歴史を Fig.2 に示す.

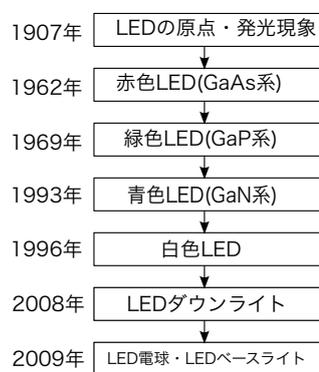


Fig.2 LED の歴史 (参考文献²⁾ より参照)

1993 年に日亜化学の中村修二氏が青色 LED を発明したことで, 赤色・緑色・青色を混ぜた白色 LED が登場し, 一般照明に最適の白色光が実現した³⁾. これを機に白熱電球や蛍光灯の代替として LED が照明分野に導入され始めた. 白色の光を実現する方法として以下の 4 つの方法がある.

- 疑似白色 LED
発光部分に青色 LED を用い, それを黄色蛍光体 (YAG) で覆う方法である. 黄色は赤色と緑色の混合色であり, 黄色蛍光体に青色 LED からの光を加えて白色を作り出している. しかし, 赤色部分のスペクトルが少なく, 色の見え方に及ぼす光源の性質を表す, 演色性に問題がある.
- 高演色白色 LED
疑似白色 LED での演色性の問題を解決するために, 基板上に近紫外 LED(波長が 200 ~ 380nm) を載せ, 赤色, 緑色, 青色を発光する RGB 蛍光体で覆う.
- 3 色 LED 方式による白色 LED
蛍光体を使用せず, 赤色, 緑色, 青色の LED を点灯させて 3 つの光の混合により白色を得る方法である. フルカラーの発光が可能であるが, コストが

高い。

- 2種類のLEDによる白色LED

青緑色LEDと橙色LEDの2つの補色関係にあるLEDを混色させて白色を得る方法であるが、演色性は低い。

2.3 LED照明の利点

従来の光源と比べたときのLED照明の利点を以下に述べる。

2.3.1 長寿命

LEDの寿命は、発熱による構成部品の劣化が寿命の原因であるが、半導体素子の寿命は半永久であるため、長寿命を実現できる。LED照明推進協議会⁴⁾では、寿命を全光束が点灯初期値の70%になるまでの時間と定めている。一般の白熱灯の寿命が約1,000時間であるのに対し、LED照明の寿命は約40,000時間で、交換・保守の手間の省略、コスト削減に有効である。

長寿命を生かして製品化されているLED照明としてLED電球が挙げられる。LEDを電球型にすることで既存の照明器具をLED化し、そのまま取り付けることが可能である。

高所の照明器具では導入コスト・保守交換作業のコストを考えると、費用対効果が高いために導入を検討中である。

2.3.2 低消費電力と低発熱性

LEDは供給される電力の多くが発光に利用されるために発光効率が高く、白熱電球と比べて1/10、蛍光灯と比べても1/3に消費電力を抑えることができる。熱に変換されることが少なく、低発熱を実現できる。

現在、低消費電力の実現によりLED照明として交通信号機のLED化が急速に進んでいる。従来の信号機は70Wの電球を使用していたが、LED照明を採用したことで消費電力は12Wにまで抑えられている。

コンビニエンスストアでは「エネルギーの使用の合理化に関する法律」によって照明の省電力化が求められているため、LED照明に切り替えている例がある⁵⁾。

2.3.3 紫外線・赤外線放出の減少

LEDは大半のエネルギーを可視光に変換できるため、紫外線・赤外線の放出が少ない特徴を持つ。紫外線放出の減少は、紫外線に集まる習性を持つ虫が寄ってこなくなり、生鮮食品の劣化を助長することがない。紫外線・赤外線による劣化を避けるべき美術品・伝統工芸品・重要文化財の保護、展示商品の変色防止にも有効である。

2.3.4 その他の利点

LEDは電子と正孔の結合による発光現象を活用して発光している。応答時間は白熱電球で0.15～0.25秒、蛍光灯で1～2秒であるが、LED照明の応答時間は100ナノ秒以下で高速応答性が特長である。

また、構成部品が半導体素子を用いているため、小型・軽量で、照明器具の小型化、自由な照明機器の設計が可能で、ガラス管を全くしないために振動や衝撃に強い。携

帯用の懐中電灯、自転車・自動車の前照灯、自動車の車内灯やメーターランプ、液晶パネル用のバックライトなどに利用されている。

更に、LEDの光は指向性が強いので、視認性が良好であり、疑似点灯現象の防止として交通信号機や電光掲示板への導入が進行中である。

2.4 LED照明の課題

LEDの主な欠点として高価格、熱に弱いこと、構成部品の劣化などが挙げられる。青色LEDに使用されている窒化ガリウム(GaN)系LEDチップの構成をFig.3に、LEDの構成をFig.4に示す。

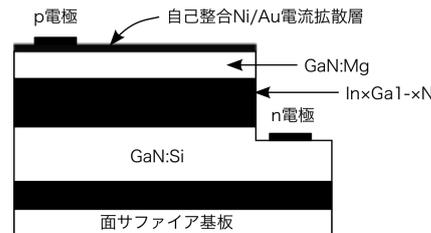


Fig.3 LEDチップの構成(参考文献⁶⁾より参照)

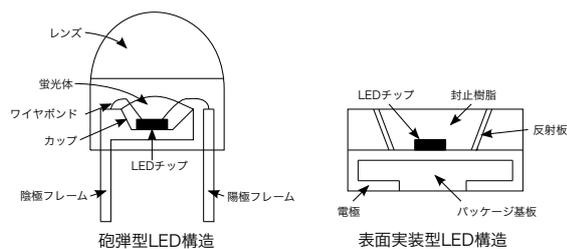


Fig.4 LEDの構成(参考文献⁷⁾より参照)

高価格である理由は、青色LEDに使用される窒化ガリウムを高価なサファイア基盤上で成長させているためである。また、LED照明は生産数・販売数ともに少なく、量産体制が整っていないために高価格の状態である。

一方、LEDの寿命は発熱による構成部品の劣化が原因である。よって正しい放熱を行い、LEDチップやパッケージに熱を与えない設計が重要である。

LEDの寿命は劣化が問題である。劣化要因は以下の3つに分けられる⁶⁾。

- LEDチップの劣化
プロセスの最終段階で形成するチップ保護膜の耐水性の不十分があると、水分とチップ材料との電気化学反応で酸化し、劣化が進む。
- パッケージに関わる劣化
LEDチップは異種材料接合部が多いため、電極合金と電極パッドとの長時間の化学反応により、合金組成が変化して抵抗が高くなり、発光強度が落ちて劣化が進む。
- 過電流・発熱・光による劣化
近年の大電流タイプの高輝度LEDではワイヤが

時間が経つにつれて劣化し、断線してしまう。LEDの光による劣化では、有機樹脂系材料で作られているカプセル部は、短波長光で化学結合が解離しやすく、材料劣化を起こす。

3 LED 照明の将来

3.1 技術面

様々な利点を持つ LED 照明であるが、製造コスト、発光効率、放熱性の改善が問題である。一方で LED 照明を用いた可視光通信という新たな技術も考えられている。ここでは LED 照明の改善策と可視光通信について述べる。

3.1.1 製造コスト

製造にコストがかかる理由は、LED 自体が高価であることに加えて、放熱板、電源装置、配光を制御するレンズ、パネルなどの多くの部品が必要となるからである。また、発光効率、放熱性が改善されることで低コストを実現できる。

2009年にイギリスで効率よくシリコン基板上で成長させる新製造法が開発され、コスト削減が期待されている。

3.1.2 発光効率の改善

現在の LED の発光効率は蛍光灯と同じ程度なので、以下の改善が必要である。

- 全反射の低減

LED からの発光は、樹脂界面で光の角度が浅く、臨界角を超えて全反射を起こす。そこで、半導体素子に発光層表面と基板側の両面に凹凸を作るナノインプリント技術を施し、全反射を低減している。また、半導体素子、配線保護のための封止樹脂を球状にして臨界角を超えないための改善が進められている。

- 蛍光体

白色 LED では、半導体素子を覆う蛍光体も改善の可能性はある。蛍光体の塗布位置を現在の封止樹脂中ではなく半導体素子の表面にすることでムラを解消できる。また、蛍光体自体を主流の黄色蛍光体から RG 蛍光体、RGB 蛍光体に変えることで自然な光を得ることができる。

- m 面-GaN 素子

ピエゾ電界という半導体の結晶構造の歪みによって発生する電界により発光効率が低下することから、m 面-GaN 素子の開発が進められている。

3.1.3 寿命の延長

近年の LED 照明は大光量が求められて大電流化が進んだことで、封止樹脂、蛍光体などの LED を構成する材料への影響が大きくなっている。LED の寿命に最も大きな影響を与える封止樹脂の劣化は、LED チップからの放射光と熱による樹脂の変質が原因である。これを改善するため、シリコン変性エポキシ樹脂という近紫外光に強く、接着性があり、かつ硬度がある封止材料が開発されている。また、放熱性を向上させる方法として、厚さ

0.2mm の絶縁性樹脂製の板に柱状の銅を埋め込む手法が開発されている。

3.2 市場と産業面

LED 照明推進協議会の見込みによると、2015 年には従来の白熱電球・蛍光灯・HID ランプから LED 照明への代替が進み、約 1 兆円の市場規模になるとされている。国内市場の状況を Fig.6 に示す。

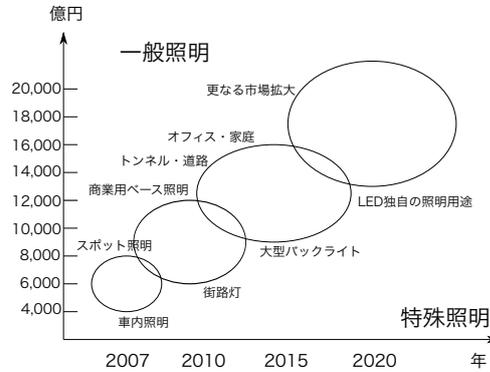


Fig.5 国内市場の発展 (参考文献⁴⁾より参照)

現在の LED 照明の導入は、低消費電力、または、世界的な白熱電球の使用中止の傾向のために、効率が低く光束も小さい光源を使っていた照明の代替が多い。代替品となる LED 電球は従来 7000 円～8000 円が平均価格であったが、シャープや東芝ライテック、パナソニックは相次いで価格を下げ、4000 円前後で販売されている。これにより、車載照明、誘導灯、信号などの LED 照明導入の動きは加速すると思われるが、大きな光束が必要な一般照明分野ではコストアップの問題から、本格的な実用化はそれほど進んでいない。今後はコストを考慮して店舗照明、一般照明、ディスプレイなどの開発が進むと考えられる。

パナソニック電工は、阪急電鉄が 2010 年 3 月に開業した大阪府の新駅「摂津市駅」に LED 照明シリーズ「EVERLEDS」を納入した⁸⁾。ホームをはじめ、待合室、改札、地下通路、トイレに LED 照明を採用し、オール LED 駅舎を実現した。いずれは駅だけでなく公共施設や学校にも LED 照明が導入され、オフィスや家庭内にも LED 照明が輝く日もそう遠くはないと考えられる。

3.3 将来期待される可視光通信

LED 照明が将来的に家庭やオフィスにも導入されることで、通信インフラとなりうる可能性が出てきている。高速変調が可能な LED 照明は、可視光線帯域の電磁波を用いて可視光通信を行えるからである⁹⁾。

可視光を通信に利用することの利点は、生体に影響がないこと、通信範囲が目に見える、照明エネルギーを通信に流用できることである。欠点は、見通しができないと通信不可であること、ノイズ源・干渉源が多いことである。

可視光通信を行うためには LED 照明の光を変調しなけ

ればならない。単純に照明の点滅で信号を送信すると、人が明るさの変化を感じてしまう。この問題を回避するために一定間隔に1回ずつ光源を高速に点滅させることでデータを伝送するSC-I-PPM（サブキャリア反転パルス位相変調）という変調方式を使用する。人は短い時間の光の強度変化を認識できないため、明るさの変化に気づくことはない。

送信された信号はフォトディレクタなどで可視光を電気信号に変換され、復調されて信号が取り出される。可視光通信の原理を Fig.5 に示す。

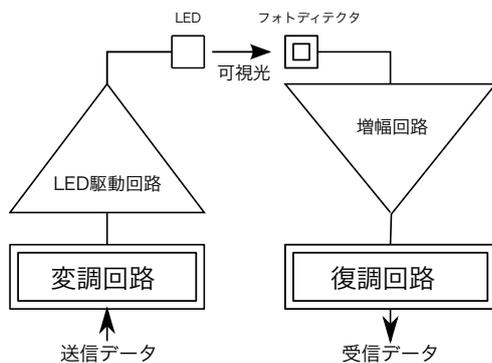


Fig.6 可視光通信の原理（参考文献⁹⁾より参照）

2006年時点で通信速度は5Mbpsであったが、2010年、ドイツのSiemens社により白色LEDを使って500Mbpsまで通信が可能となった。障害物のない状態で5m先の受信機までデータを送信することに成功している。

また一般道・高速道路では、道路照明、道路情報板、車のヘッドライトやテールライトなど、可視光通信として利用できる光源が多く、走行中に道路照明間をローミングすることでシームレスな通信が可能となる。将来的には車の中でインターネットを使ったネットワーク通信ができるかもしれない。また、照明ごとに異なったIDを持たせることで位置情報の把握に役立ち、トンネル内のようなGPSが作動しない場所でも有効である。

4 まとめ

次世代照明として期待されているLED照明には省エネルギー、小型・軽量、長寿命などの利点もあれば高コスト、放熱性、発光効率などの改善されるべき問題も多く、LED照明導入の爆発的な普及にはつながっていない。

しかし、改善の余地は十分にあり、可視光線通信などの新たなLED照明の応用方法も考案されており、今後の私たちの生活を変化させる可能性を持っている。

参考文献

- 1) LED照明推進協議会. LED照明ハンドブック. オーム社, 2006.
- 2) 東芝led照明. <http://www.tlt.co.jp/tlt/tleds/ledkiso/ledkiso2.htm>
- 3) 宮原諄二. 白い光のイノベーション. 朝日新聞社, 2005.
- 4) Led照明推進協議会. <http://www.led.or.jp/>

- 5) 西梅田のコンビニ「アズナス」、環境配慮型店舗にリニューアル. <http://umeda.keizai.biz/headline/717/>
- 6) 一ノ瀬昇, 田中裕, 島村清史. 高輝度LED材料のはなし. 日刊工業新聞社, 2005.
- 7) 金光義彦, 岡本信治. 発光材料の基礎と新しい展開. オーム社, 2008.
- 8) Led照明機器開発における現状と諸課題. <http://www.epcc.pref.osaka.jp/center/etech/led/in/report/LED-03.pdf>
- 9) 可視光通信システムのitsへの応用. http://www.toshiba.co.jp/tech/review/2006/08/61_08pdf/a06.pdf