

白色 LED 開発の現状と 実用例について

The Development Status and Application of White-LEDs



さか もと たか し
坂本 考 史*

キーワード：白色 LED，発光効率，蛍光体，演色性

1. はじめに

白色 LED は、青色 GaN チップと黄色蛍光体を組み合わせた構造が最も一般的で、発光効率(全光束を消費電力で除した値)も高い。日亜化学工業が初めてこの構造を発表した 1996 年には、その発光効率は 5 lm/W であった。その後 13 年を経て、多くの改良が加えられ発光効率は目覚ましい向上を遂げている^{1),3)}。図-1 に示すように最新の製品では発光効率は 150 lm/W にまで達し、一般白色光源の中で最も高い効率である。このように白色 LED は、電球やハロゲンランプを凌ぐ高い発光効率が実現されたことで、様々な用途で使われるようになってきている。また、研究室レベルでは 200 lm/W という非常に高い値も報告されている。この値は、開発当初と比較すると 13 年で実に 40 倍の効率向上・省電力化を達成したことになる。

本稿では、次世代の光源として期待されている白色 LED の現状と実用例について紹介する。

2. 白色 LED 開発

(1) 発光効率

明るい LED を得るためには、投入した電力をいかにたくさんの光エネルギーとして取り出せるか、すなわち発光効率の改善が必須である。発光効率の改善には、白色 LED のエンジンに当たる青色 GaN チップの設計が特に重要だが、エンジンの性能を引き出す黄色蛍光体や

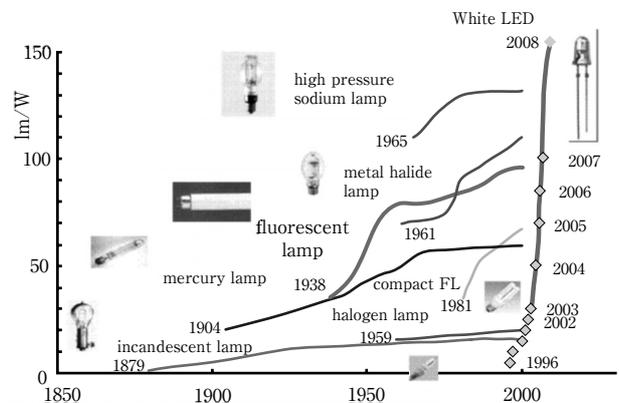


図-1 白色 LED の発光効率の推移

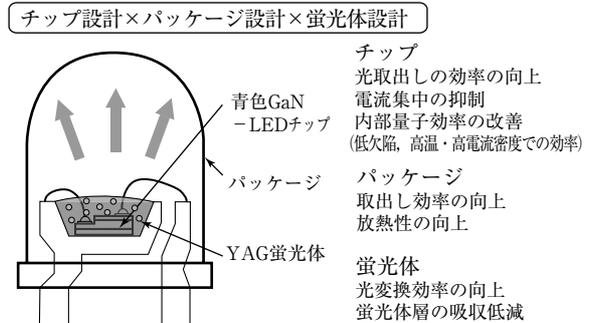


図-2 LED の高性能化技術

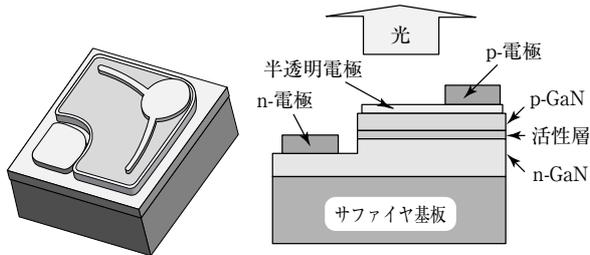
パッケージの改良も必須である(図-2)。

図-3 は、GaN-チップの外観と断面構造を示したものである。効率のよい青色 GaN チップを得るためには、発光再結合確率を高くし、内部量子効率を高め、抵抗成分の少ないエピ・電極設計を行う。

活性層で発生した光は、屈折率に応じて各界面で全反射し、その一部は活性層、電極などによって吸収を受ける。よって、活性層で発生した光をチップ外へ効率よく取り出す、光の取出し効率を高くするチップ設計も重要である(図-4)。

* 日亜化学工業(株)第2部門 LED 事業企画部課長

1973年11月生、徳島県出身。1998年徳島大学大学院工学研究科修士課程修了、同年日亜化学工業(株)入社。2004年同大学院博士課程修了。2006年より現職。博士(工学)。



両電極を上部に配置，サファイヤ基板側がチップ実装面
 図-3 GaN-LED チップの外観と断面構造

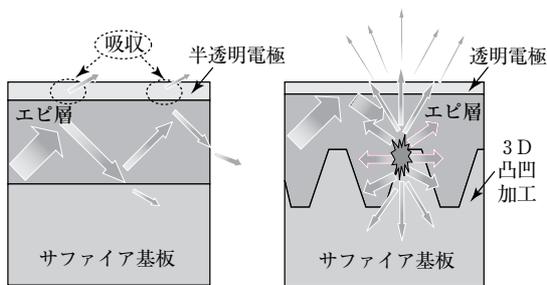


図-4 光の取り出し効率の改善例

(2) 放熱対策

効率の向上に合わせて，ここ数年は定格電力の大きいパワー LED の開発が盛んに行われており，1 W～3.5 W の大電力パッケージが作られている。その結果パッケージ当たりの光束は向上し，300 lm を超えるものまで商品化されている。

図-5 は，効率 100 lm/W の白色 LED について入力に対するエネルギー変換の経路をまとめたものである。また，図-6 にはほかの光源との比較を示した⁴⁾。投入した電力が青色光として取り出される割合は 48% で LED としてはかなり高い。しかし，青色光が蛍光体に変換される際のストークスロスやパッケージ内での吸収があるため，結局，外部に白色光として取り出されるのは 32% 程度となる。紫外や赤外の放射は極めて少なく無視できる程度である。

ただし，高効率化が実現されたとはいえ，投入電力のうち光放射以外の 68% は熱損失となり，電極部や pn ジャンクションなどで熱に変換されるため，LED 自身が発熱する。

定格電力の増大に伴い，発熱量の絶対値は大きくなり，白色 LED 自身は小さな電子部品であるので，熱密度は非常に高くなる。その発熱は，青色 GaN-チップの発光特性だけではなく，パッケージを構成する部材にも悪影響を及ぼし，信頼性を低下させる。すなわち，放熱対策をいかに施すかが，発光特性・信頼性を保つための最重要課題となる。

①入力電力 100%	②発光再結合 48%	⑤青色光10%	⑧可視光32% 白色光
	青色LEDの発光	⑥黄色蛍光 22%	
	③チップ内ロス 38%	⑦光ロス16%	⑨熱損失68% 熱放射 熱伝導 対流
	非発光再結合 チップ内の反射・吸収	蛍光体ストークスロス パッケージ内の反射・吸収	
④半導体内部抵抗,接触抵抗 14%			

図-5 白色 LED のエネルギー変換

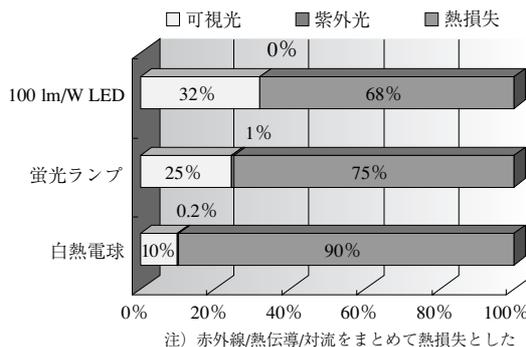


図-6 エネルギー変換効率の比較

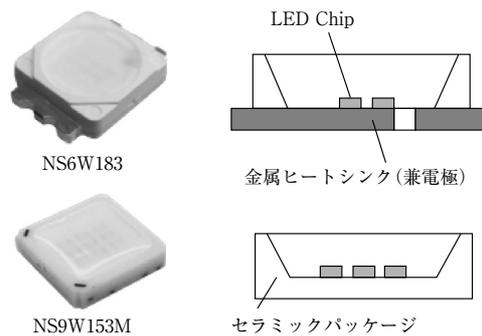


図-7 パワー LED の PKG 構造例

一般的な放熱対策としては，LED パッケージの熱抵抗値 (pn ジャンクションの温度上昇を消費電力で除した値) を下げ，耐熱性の高い材料を採用することが挙げられる。具体的な事例として 2 例を紹介する。

最大で約 3 W 投入できる NS 6 W 183 においては，パッケージ内の金属製ヒートシンクにより低熱抵抗となる設計を施しているのに加え，パッケージ材に耐熱性に優れた樹脂を採用することで信頼性を高めている。また，NS 9 W 153 M においては，より耐熱性の高いセラミックスをベースに用いているが，部材構成を検討することにより，金属ヒートシンクをもつ製品に迫る，低い熱抵抗値を実現している(図-7)。また，パッケージ材だけでなく，封止材やダイボンディング材にも耐熱性に優れた材料を使用することで，高出力と高い信頼性を両立している。

(3) 高演色化

特に照明用の光源として白色LEDには、“照らす光源”として、被照射物の色を忠実に再現する演色性も要求される。現在、多く使われている携帯液晶バックライト用光源としての白色LEDには、比較的高色温度の白色(5500K以上)が主に使用されている。しかし、一般照明用光源として、このような高色温度の白色が使用されることはまれであり、5500K以下の低色温度を有する白色の使用が一般的である。図-8, 9には、白色LEDのスペクトルを示す。白熱電球が連続スペクトルであるのに対し、白色LEDは青色LEDと黄色蛍光体の組み合わせで白色を得ているため、白熱電球に比べ赤色の成分が少ない。その結果、平均演色性評価数(被照射物の色の見え方を基準光と比較した数値。以降Ra)が低下し、特に電球色の色温度に相当する2850Kでは、Ra=67付近にまで低下していた。

最近では、赤色の成分を補う蛍光体を用いることで、白色LEDの高演色化を実現している。これにより赤色の再現性の指標であるR9において大幅な改善が行われた⁵⁾。ただし、Raの向上はヒトの視感度が低い波長域へエネルギーを振り分けるということにほかならず、白色LEDの光束の低下を伴う。光束の低下を極力防ぐためには、Raが過剰にならないよう、用途に応じた最適値を設定する必要がある。現在照明向けLEDパッケージにおいては、アウトドア向けの照明などに向けた“通常演色性品”，インドアの一般照明用途などに向けた“Ra:typ.85品”，美術品展示や医療用照明などに向けた“Ra:typ.92品”と、それぞれの用途に適した演色性の光が得られるよう3グレードの製品ラインアップを行っている(図-10)。

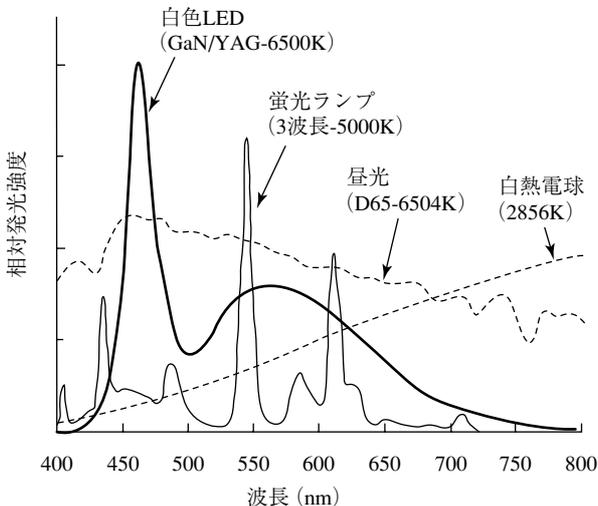


図-8 白色LEDと各種白色光源の発光スペクトル

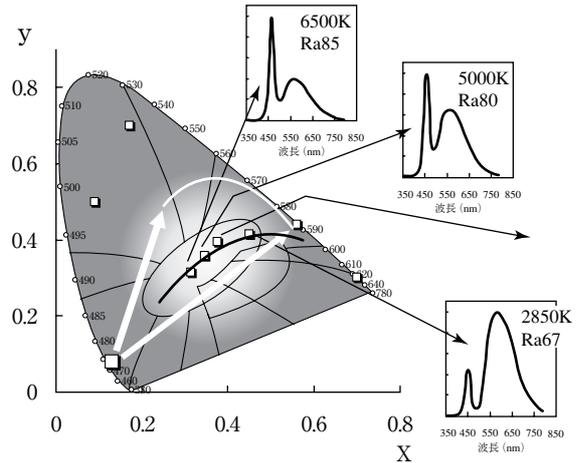


図-9 白色LEDと各種白色光源の発光スペクトル

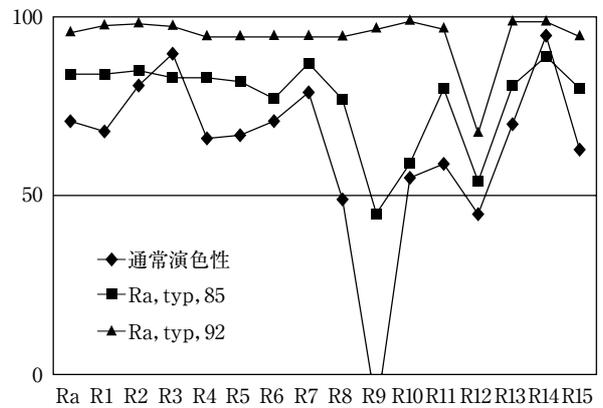


図-10 高演色型白色LEDによる演色性(CCT=3500K)

3. 白色LEDの実用例

白色LEDの用途は、性能向上に伴い急速に広がり、我々のごく身近な生活にまで浸透してきている。白色LEDの主要な市場としては、液晶バックライト、照明、車載が挙げられる。図-11には、白色LEDの市場の発展について示した。

小型液晶の液晶バックライト市場、特に1998年から始まったカラー携帯電話の普及は白色LEDの市場を大きく牽引してきた。発光効率の改善に伴い、小型・薄型の特徴を活かし、カーナビゲーションやノートPCの中型バックライト光源として実用化が進んでいる。水銀フリーで環境配慮の観点でもメリットがあるため、更に大型の液晶TVのバックライト用光源としても実用化が検討されている。

車載市場においては、LEDの信頼性を評価され、速度や警告灯の表示版であるインストルメントパネルに採用されてきた。2007年に白色LEDがヘッドライトとして初めて実用化されたことで、車に使用されるすべての光源の完全LED化が可能になった。今後は、高信頼性・

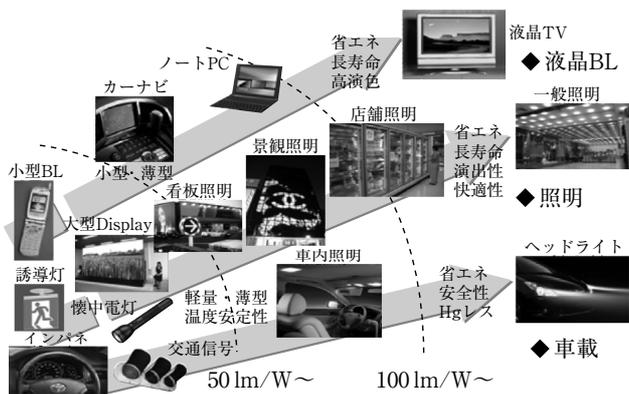


図-11 LED市場の発展

軽量・デザイン自由度の高さをメリットに、LED ヘッドライトの普及が期待される。

現在地球上で使用される電力は、約 15 兆 kWh (2003 年) と見積もられており、そのうちの約 2 兆 kWh (CO₂ 換算で約 13 億 t) が照明用と推定されている。照明は日常生活の中で大きな環境影響をもつことから、地球温暖化対策の取組みの一つとして、白色 LED に寄せられている期待は大きい。しかし、白色 LED の照明分野への進出はまだ緒についたばかりであり、その用途は冷蔵庫照明や店舗照明などまだ限定的である。一般照明へと普

及させるためには、LED 単体だけの発光効率だけではなく、演色性、色温度、照度、配光性、寿命、グレア、快適性、安全性など、照明光源としての課題を一つひとつクリアしていく必要がある。

4. おわりに

近年の白色 LED の発光効率の改善は目覚しく、白熱電球・蛍光灯以上の発光効率を実現し、その用途は大きく広がった。しかしながら、白色 LED が次世代個体光源として確固たる地位を築くためには、課題も多い。新しい省エネルギー型光源としての期待にこたえられるよう、今後もフロンティアスピリットを忘れることなく研究・開発活動を続けていく。

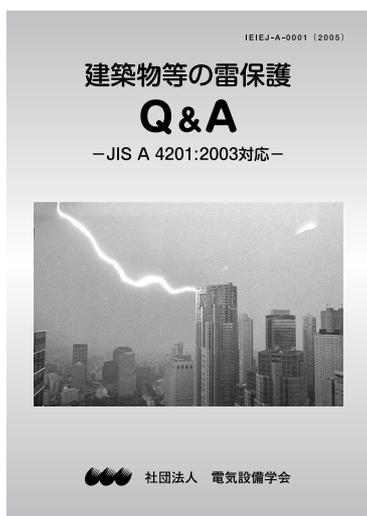
参考文献

- 1) 板東完治, 野口泰延, 阪野顕正, 清水義則: 第 264 回蛍光体同学会講演会予稿集, 東京 1996, 5
- 2) K.Bando, K.Sakano, Y.Noguchi, Y.Shimizu: J.Light & Visual Environment, 1998, 22, 2
- 3) 板東完治, 楠瀬 健, 応用物理 2002, 71, 1518
- 4) 照明学会編, “照明ハンドブック”, オーム社 2003
- 5) 広崎尚登, 解榮軍, 佐久間建: 応用物理 2005, 74, 1449

建築物等の雷保護 Q & A

IEIEJ-A-0001

—JIS A 4201:2003 対応—



JIS A 4201 は、多くの法令等に引用されている規格であり、2003 年 7 月に改正された。その内容は、雷保護の設計、施工等に関する国際的な技術動向も十分にふまえたものとなっている。しかし、同規格に関し、これまで多くの質問が寄せられていた。そこで、避雷設備に関する知見を有するメンバーによって、質問の多かった約 100 問を厳選し、平易に解説した回答を作成したものであり、JIS A 4201 の具体的な運用に当たっては必携の書である。

- 定 価 1 250 円 (本体価格 1 190 円), 送料別
- 体 裁 A 5 判 154 ページ
- 申込方法 本誌に綴込みの『学会出版物一覧・FAX 注文書』に必要事項をご記入の上、下記へ FAX でお申込みください。
- 申 込 先 社団法人電気設備学会
〒113-0033 東京都文京区本郷 1-12-5 TEL: 03-5805-3375, FAX: 03-5805-3265