

報 告

照明用LEDチップの開発

神谷真央*¹，長谷川恭孝*²

Development of LED-Chip for Lighting

Masao Kamiya*¹，Yukitaka Hasegawa*²

要 旨

「20世紀中には実現しない」と言われた青色LED。当社は、世界に先駆けて青色LEDの開発をスタートし、1991年に開発に成功、1995年から販売を開始した。

販売当初、青色の発光が世界で初めて実現をしたため、フルカラーディスプレイや信号機など青色を必要とする製品の実現に貢献した。その後、蛍光体との組み合わせにより白色光を実現すると、LEDの持つ、小型、低消費電力という特徴との組み合わせにより、携帯電話、ノートパソコンなどの液晶バックライト光源として今日の生活に必要なものとなっている。

最近では、地球環境保護が大きく取り上げられると、LEDはCO₂削減を実現する省エネ商品としての期待が高まり、照明分野への商品開発が進み、その普及が始まっている。

本報告では、より高輝度開発された照明用LEDチップについて紹介する。

以下、照明用途で重要となる開発要件を示し、そこからLEDチップの種類、構造、応用製品について述べる。さらにチップの特徴を活かした照明ならではのチップ活用方法について提案した。

Abstract

It was believed that it was not possible to achieve the blue LED in the 20th century. Toyoda Gosei started the development of blue LED in advance of the world of technology, succeeds in its development in 1991, and then began marketing it in 1995.

When it was first marketed, it was applied to products with a full color display and traffic signals due to the blue luminescent color. After a white light was achieved by combining it with phosphor, the LED became a crucial technology as a light source for the liquid crystal panel. Today, LED is indispensable to cellular phones and notebook computers.

In recent years, LED is widely acknowledged as an energy-saving technology that achieves the CO₂ reduction in the global environment.

In this report, we describe the LED developed for high luminance lighting. First, the development requirement of the lighting is shown; and a type, a structure, and applied product of the LED chip are described. In addition, we propose a method of mounting the lighting chip that makes the best use of the chip's features.

*¹ Masao Kamiya オプトE事業部 第1技術部

*² Yukitaka Hasegawa オプトE事業部 第1技術部

1. はじめに

急拡大するLED照明市場において、光源であるLEDには光束アップの要求が高まっている。更に、既存光源仕様からLEDに置き換えるメリットとして、従来からの長寿命に加え「省エネ」が挙げられ、高い発光効率も同時に求められている。

このような光束アップ・高効率という要求を満たすため、LED照明では1つの光源に対し、LEDチップを複数個搭載する製品も多い。

照明分野の中には、“光源サイズ”を規定される場合がある。光源サイズはLEDチップを配置できる部分の大きさを示しており、チップサイズとその搭載数に制約を加える。図-1は照明分野でLEDが使用される主な5つの分野と、それぞれが要求する特性を示している。図の右側へ向かうほど小さな光源サイズと、大光束が必要となる。

一定の光源サイズの中で大光束を得るためには、1チップあたりへの投入電力を高めれば良い。しかし、LEDチップは自らが発する熱のため、投入電力が高いほど発光効率が低下する。従って、発光効率を上げるために発熱を抑える、または放熱性を向上させるという開発が必要になる。

加えて、近年はコストダウンのニーズが強まり、チップの原価低減に加え、搭載する個数やサイズを最小限にすることも重要になっている。

各種の照明分野

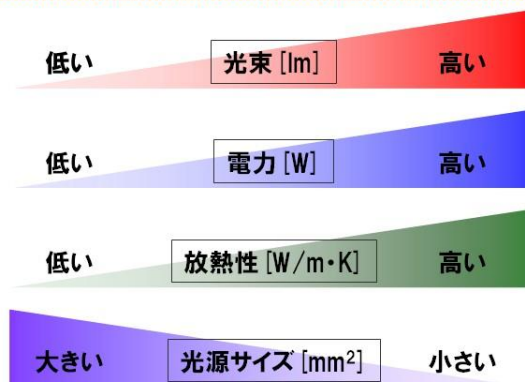


図-1 照明分野と要求される特性

2. 照明用LEDチップの開発要件

LEDチップの特性には、光学特性、電気特性、耐久品質特性などがあり、用途ごとに要求される特性の重要度合いがそれぞれ異なる(表-1)。ここでは、照明で特に必要とされている全放射束、発光効率、放熱性、チップサイズについて述べる。

表-1 要求される特性の重要度合い

項目		液晶バックライト			照明
		携帯電話	ノートPC	液晶TV	
光学特性	全放射束	◎	◎	◎	◎
	波長	○	◎	○	○
	色純度	○	○	○	○
電気特性	発光効率	◎	◎	◎	◎
	駆動電圧	◎	◎	◎	◎
	逆電流	○	○	△	△
信頼性 耐久品質	放熱性	△	△	△	◎
	静電耐圧	○	○	○	○
	寿命	◎	◎	◎	◎
外形	チップサイズ	○	○	△	◎

重要度：◎>○>△(顧客ヒアリングによる)

2-1. 全放射束(明るさ)

白色パッケージでは、明るさ指標として光束 [lm] を用いる。人間の目の感度を含む単位 [lm] を用いるのは、同じ白色でも暖色系と寒色系では感度が異なり、感じる明るさも異なるためである。

一方、LEDチップでは明るさの指標として全放射束 [mW] を用いるのが通例である。

2-2. 発光効率

発光効率(%)は、発光させるために入力する電力と、LEDで光になった全放射束との比で表される。投入した電力がどれだけ光の放射エネルギー(明るさ)に変換されたかで定義される。

従って、発光効率は次式で表すことができる。

$$\begin{aligned} \text{発光効率} [\%] &= \frac{\text{全放射束} [\text{mW}]}{\text{投入電力} [\text{W}]} \times 100 \\ &= \frac{\text{全放射束} [\text{mW}]}{\text{投入電流} [\text{A}] \times \text{駆動電圧} [\text{V}]} \times 100 \end{aligned}$$

この式は、発光効率の向上には全放射束を向上させるほか、駆動電圧を下げることも有効であることを示している。

2 - 3 . 放熱性

LEDチップに投入された電力のうち、光に変換される以外のエネルギーは熱に変換される。LEDチップは高温になるほど発光効率が低下する性質を持っている（図 - 2，ジャンクション温度はLEDチップの発光部の温度）。照明分野では前述のとおり，大光束と低コストの両立のため，1チップへの投入電力を高くすることがある。また光源サイズの制約から高密度に実装され，熱の負荷が高い条件で使用される場合もある。そのため，照明分野では熱の影響を考慮していかなければならない。

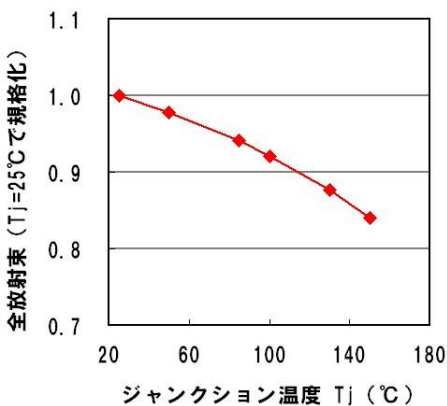


図 - 2 ジャンクション温度と全放射束の関係

2 - 4 . チップサイズ

照明分野で使用するLEDパッケージでは，LEDチップを配置できる部分の大きさ（光源サイズ）に制限がある。特にヘッドライトなど集光レンズと組み合わせて設計されるものでは，光源が“点”であることが求められる。

チップサイズと実装方法によってパッケージの光源サイズが決まる。

2 - 5 . コスト

パッケージにおけるチップコストはチップ単価と搭載数で決まる。そのためチップコストを下げるには 搭載数を削減する方法 チップの原価を低減する方法がある。

チップの発光効率を高めた場合，パッケージあたりの搭載数が削減できる。または，その特性アップ分だけチップサイズを縮小でき，チップの原価低減が可能となる（図 - 3）。

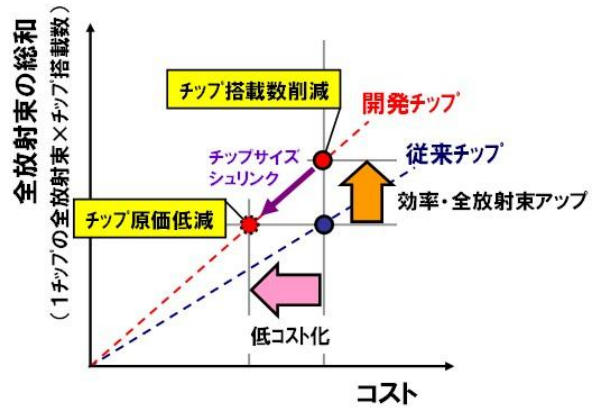
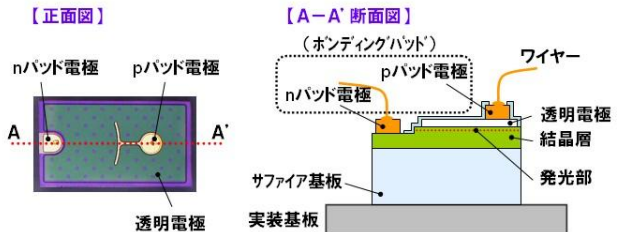


図 - 3 コストと発光効率の関係

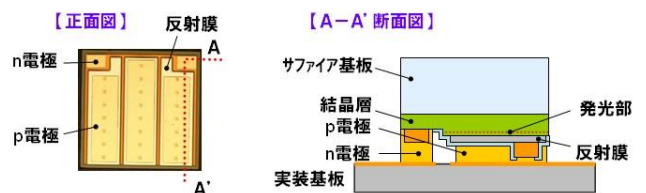
3 . LEDチップの種類と構造

LEDチップには，その実装方法の違いからフェイスアップチップ（以下，FUと表記）とフリップチップ（以下，FCと表記）が存在する。以下にこの2種類のチップについて説明する（図 - 4）。

フェイスアップチップ(FU)



フリップチップ(FC)



	フェイスアップチップ (FU)	フリップチップ (FC)
長所	<ul style="list-style-type: none"> ワイヤーボンダーで実装可能 チップ化工程がシンプル 低コスト 	<ul style="list-style-type: none"> 放熱性能が高い 大電流を投入して高い全放射束 高密度搭載が可能
短所	<ul style="list-style-type: none"> 放熱性能が低い 	<ul style="list-style-type: none"> チップ化工程が複雑 実装方法が特殊

図 - 4 FUとFCの比較

FUはチップ発光面上に透明電極とボンディングパッド電極を形成したものである。チップを実装基板とペースト接合した後、ワイヤーボンディングと樹脂封止をする工程で済むため、白色LEDにとって一般的な構造である。また、チップ化工程がシンプルなので低コストで製造でき、多くのチップメーカーがこの構造を採用している。

一方、FCはチップ発光面上に反射膜を形成し、実装基板には電極部の全面で直接接合される。ワイヤーが不要で、チップを高密度に実装でき光源サイズを縮小できるメリットがある。

またFUと異なり、放熱を妨げるペーストを介さないため放熱性能が高く、大電流を投入できる。

4. フェイスアップチップ (FU)

4 - 1 . FUの課題

これまでに当社で開発されてきたFUチップは、ボンディングワイヤーと接続するための機能を持たせたp/n対のパッド電極と透明電極を備えたものである。このパッド電極は、透明電極と電氣的に接合しているものの、この構造ではパッド電極部分での光吸収が大き（光取り出し効率の低下） p/nパッド電極の電極間距離が大きい（駆動電圧の増加） 電極付近に電流が集中し発光が偏る（耐久品質の劣化）という課題が存在する。

4 - 2 . 課題解決の方法と新電極設計の提案

以上の3点の課題を解決するため、ドット電極という新電極設計を提案した。

ドット電極とは、 p/nパッド電極からボンディングワイヤーとの接続機能を分離し、電極をチップ内にドット状に配置したものである。電極間は配線によって電氣的に接続させた。

この設計は、電極の均等配置によって電流集中を緩和できる。またドット状にすることで面積を最小限にし（図 - 5 ）、光取り出し効率の低下も抑えられる。

さらにこの設計ではp電極とn電極の間隔が短くなっている。よって、チップ内の直列抵抗を抑え、駆動電圧を下げることができ、発光効率を上げる効果がある。

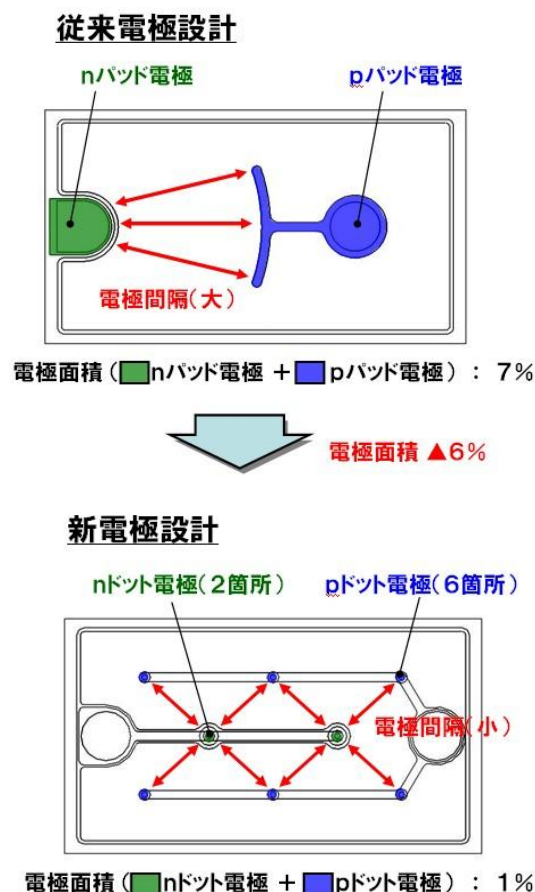


図 - 5 従来電極設計と新電極設計

4 - 3 . 新電極設計の効果

新電極設計を従来の設計と比較すると、発光効率は80mAで約17%向上している（図 - 6）。これはチップ内部での光吸収が減り全放射束が向上したことと、駆動電圧を下げられたことによる。

また、新電極設計では高電流を流しても駆動電圧が上がりにくい。そのため“Droop”（高電流にするほど発光効率が低下すること）が小さくなる。従って、従来電極設計からの発光効率の上がり幅は高電流になるほど大きい。

その他、電極をチップ全体に均一に分散したことで、発光面内における電流の集中が緩和され、発光の偏りが軽減した。

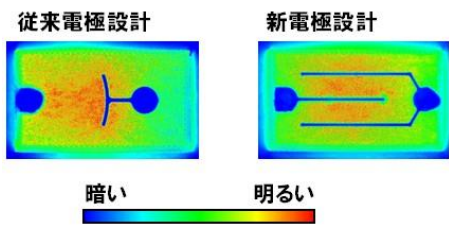
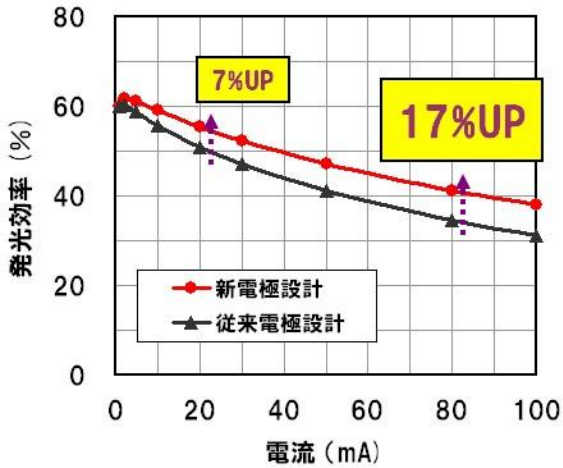


図 - 6 発光効率，発光均一性の比較

4 - 4 . 応用製品の紹介

本開発で高効率化を達成したことにより採用された製品の一部を写真 - 1 に示す。応用製品としてはLED電球が挙げられ，照明分野の中でも特にコストダウン要求の強い製品，光源サイズに余裕のある製品に使われている。



写真 - 1 FUの応用製品例

5 . フリップチップ (FC)

5 - 1 . FCの特長

FCの主な長所は放熱性能が高く，高電流で高い全放射束が得られることと，高密度実装が可能なことである (図 - 4) 。

放熱性能を評価するため，チップとその実装方法以外の条件を揃え，電流ごとのジャンクション温度 (以下， T_j と表記) を測定した結果を図 - 7 に示す。投入電流が高くなるとFU，FCともに T_j が高くなるが，その変化量は異なる。電流に対する T_j の上昇度合い T_j / I_f は，FUが1.3，FCが0.5でありFCの方が低い。つまりFCは投入電流を上げて使用しても温度上昇が抑えられる。

放熱性能の差は，高電流での全放射束に影響する。図 - 2 で示したように T_j が高くなると全放射束は低下するため，FUに比べ温度上昇しにくいFCは，特に高電流で高い全放射束が得られる (図 - 8) 。

加えて，第4項で述べたようにFCはワイヤーが不要なため，チップを高密度に実装できる。

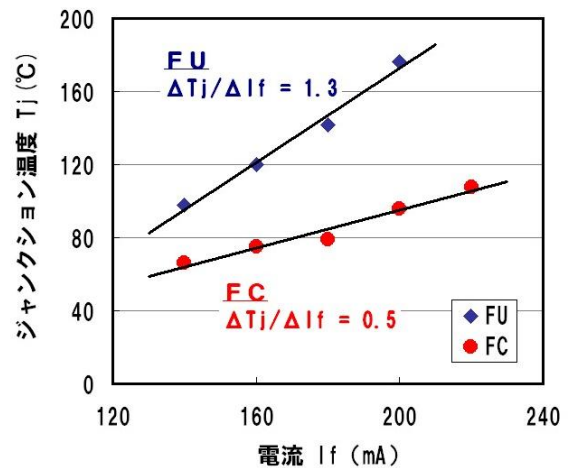


図 - 7 同条件におけるジャンクション温度比較

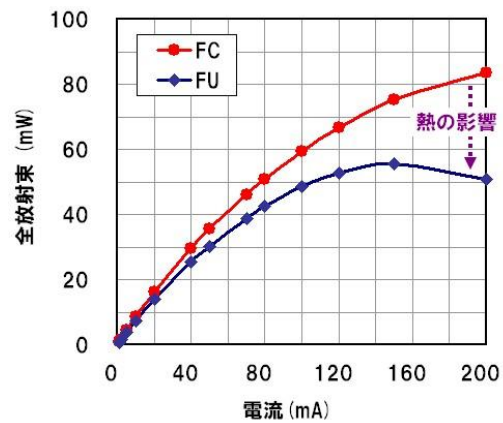


図 - 8 小型サイズチップ，同条件における全放射束の比較

5 - 2 . 応用製品の紹介

FCの特長を活かした製品の一部を写真 - 2 に示す。応用製品としてはダウンライトが挙げられ、照明分野の中でも特に光源サイズが小さく大光束が必要な製品に応用されている。



写真 - 2 FCの応用製品例

これはFCの特長である放熱性の優れていること、構造上ワイヤーボンディング無しに、高密度に実装できるためである。製品の光源サイズが小さい場合にはFCを用いたパッケージを適用することでその特徴を活かせる。

提案 「コスト」重視の場合

上記と同様にFU 1個のコストを”1”に指数化し、両者を比較するとFU (4個) : FC (1個) = 4.4 : 6.3となる。FCは光源サイズの点で有利だが、大型で部材費を要することや、特殊な実装工程を必要とするため高コストになる。これに対し当社の高光度FUを用いれば、わずか4個で明るさを満足できるため、FCよりも30%コスト低減した光源を実現できる。コスト重視の製品にはFUを複数適用することでメリットを出せる。

6 . 照明用チップの活用方法

4, 5項において当社の高光度照明用チップ (新電極設計) について解説した。本項ではFCおよびFUの特徴を活かした、照明への活用方法について提案する。

図 - 9に、FC (大型サイズ, 1個) とFU (中型サイズ, 1~5個) の光度比較を示す。図のX軸は搭載個数, Y軸を全放射束 (明るさ) とし、パラメータとなる投入電力は0.25~1.5Wである。この図より、FUはいずれの投入電力においても搭載数を増すことで高光度化できることがわかる。ここで、製品の必要とする光度を450mWに仮定すると、その条件を満たすのは投入電力1WにおけるFC 1個とFU 4個となり、同等の明るさで2つの形態が成り立つ。どちらの形態を選択するかは開発要件で示した「光源サイズ」と「コスト」の重要度により決定される。

2つの要件におけるFUとFCの比較を表 - 2にまとめた。以下、それぞれの重要度に対する我々の提案について説明する。

提案 「光源サイズ」重視の場合

製品の光源サイズが小さいと、その重要度は高くなる。サイズ比較のためにFU 1個の光源サイズを”1”に指数化すると、FU (4個) : FC (1個) = 1 : 0.7となり、同じ明るさにおいて、FCはFUよりも30%も小さい光源サイズで適用可能である。

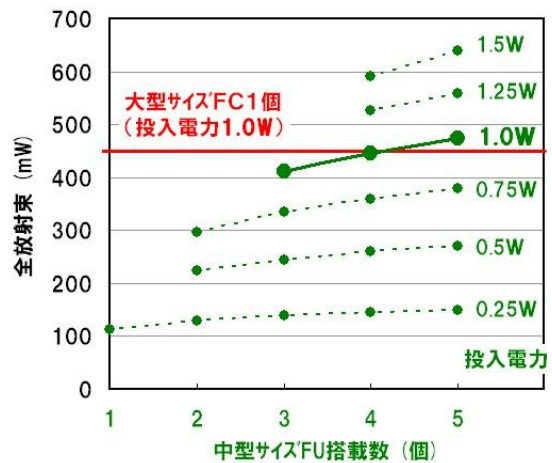


図 - 9 FC 1個搭載とFU複数個搭載の全放射束比較

表 - 2 大型サイズFCと中型サイズFUの光源サイズ, コストの比較

	中型サイズFU 1個搭載	中型サイズFU 4個搭載	大型サイズFC 1個搭載
投入電力	0.25W	1.0W	1.0W
全放射束	112.5mW	450mW	450mW
チップ効率	45%	45%	45%
光源サイズ指標 (試算)	-	1.0	0.7 光源サイズ小
チップコスト指標 (試算)	1.0	4.0	6.0
実装コスト指標 (試算)	0.1	0.4	0.3
トータルコスト指標 (試算)	1.1	4.4 低コスト	6.3

この例では光度450mWを用いたが、もちろん他の光度条件においても成立し、製品仕様によりチップの特徴を活かした照明用チップを提案可能である。

7. おわりに

本報告では、照明用LEDチップに採用している新電極設計を例に挙げ、当社の優れたチップ設計による高光度化技術について解説した。また、照明用途で特に重要となる開発要件「光源サイズ」、
「コスト」に視点を置き、FCおよびFUの有する特徴が、製品のメリットになる活用方法を提案した。これらの技術はいくつかの製品に採用され、一般家庭や店舗照明などに応用されている。

最後に、今後ますますLED照明が普及していく過程において、これまでの概念を超えた新しい照明が次々に派生するものと考えている。我々チップ開発者は技術的視点だけでなく、照明の最終形態に関する情報にアンテナを張り、ニーズを先取りした、顧客に満足頂ける照明用LEDチップを開発し、市場へ提案していきたい。