S-3. 紫外 LED を用いた白色 LED の開発

原田光範 加藤宗弘 岡川広明 常川高志 城市隆秀 只友一行 田口常正
 (スタンレー電気株式会社) (三菱電線工業株式会社) (山口大学工学部)

1. はじめに

近年、高輝度青色発光ダイオード(Light Emitting Diode:LED)に加え、青色 LED より更に短波長の紫外 LED が開発されるようになり¹⁾、この紫外 LED と R,G,B 三波長蛍光体を組み合わせることで蛍光灯と同じ励起方式で紫外線励起による蛍光体の白色発光が可能となり、発光ムラのない高演色の白色 LED の実現が期待される。白色 LED が持つ小型、長寿命、低消費電力などの優れた特徴から、電球および蛍光灯に替わる次世代照明用光源としての応用も期待されている²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾。本研究では、高出力紫外 LED と近紫外で励起される R,G,B 蛍光体を組み合わせた白色 LED を試作し、照明用光源としての評価と検討を行った。

2. 白色 LED の構造

図1に試作した白色 LED の構造を示す。紫外 LED チップは InGaN 系 LED (発光波長 382(nm)) で、電極として高反射率金属電極を形成し、チップを反転させてサファイア基板から光を取り出すフリップチップ構造である。蛍光体は化成オプトニクス製蛍光体 (R:P22-RE3,G:P22-GN4,B:LP-B1) を使用し、あらかじめ紫外 LED 発光波長励起で白色になるように混合したものを、紫外線反射膜を形成したガラス基板に塗布形成し、微細化したものを紫外 LED チップ上部に接合した。同時に紫外 LED チップ側面からの紫外光を可視光変換させる目的で側面を蛍光体でエッジコートした。

紫外 LED チップ上部に接合する蛍光体層の膜厚、紫外線反射膜の有無、紫外 LED チップ側面の蛍光体エッジコート有無について白色 LED ランプ発光特性を測定した。

図1. 白色 LED の構造

3. 発光特性

図2に紫外LEDスペクトルを示す。紫外 LED チップ上部に接合する蛍光体層の膜厚を変化させた時の白色 LED ランプ透過紫外光(基準紫外 LED 放射束を100%とする)特性を図3に示す。同様に蛍光体変換効率(可視光放射束/基準紫外 LED 放射束)特性を図4に示す。膜厚の増加に伴って透過紫外光は減少し、紫外 LED チップ側面に蛍光体エッジコートすることで未処理のものに比べて約20%低下した。一方、蛍光体変換効率は膜厚増加に対して緩やかに減少している。これは膜厚80(μm)付近でも紫外光が透過しており、蛍光体の紫外光吸収量が飽和していないためと考えられる。膜厚80(μm)付近で紫外線反射膜の導入を行った結果、未処理のものに比べてさらに透過紫外光が減少し、蛍光体変換効率が增加することが確認された。膜厚40(μm)付近で蛍光体変換効率が最大の白色 LED ランプと、膜厚80(μm)付近で透過紫外光が最小の白色

図2. 紫外LEDスペクトル

Development of white LED with ultraviolet LED : Mitsunori Harada, Munehiro Kato, Hiroaki Okagawa, Takashi Tsunekawa, Takahide Jyouichi, Kazuyuki Tadatomo, Tsunemasa Taguchi

LED ランプの発光スペクトルを図5に示す。膜厚増加に対して白色 LED ランプの透過紫外光は大幅に減少するが、蛍光体による可視光変換量の減少は小さいことが分かる。

現在、開発、製品化されている青色 LED と YAG 蛍光体を組み合わせた白色 LED では、青色光の一部を透過させて蛍光体による黄色光との合成により白色光を得ているが、本方式による白色 LED は紫外光を励起源としているため、蛍光体に吸収されない透過紫外光は可視光変換損失となり、そのまま外部に放射されて、人体や環境に悪影響を及ぼすことが考えられる。今回の結果から、紫外 LED チップ側面への蛍光体エッジコート処理、紫外線反射膜の形成および蛍光体量(膜厚)の調整を行うことで、透過紫外光を抑え、なおかつ可視光変換量の低下を抑える手法は、本方式の白色 LED の実用化にとって有効であると考ええる。

図3および図4の結果から、今回評価した紫外線反射膜の紫外光反射量は少ないことが分かった。蛍光体層を透過した紫外光は蛍光体でランダムに散乱されるため、垂直入射を基本に設計された紫外線反射膜の反射特性が低下したためと考えられる。今後、紫外光の入射角依存性を考慮した最適化が必要であろう。

図5に示した2種類の白色 LED の光源特性を表1に示す。白色LEDランプ単体の全光束はまだ一般照明用としては実用レベルに達していないと考えられるが、演色性については三波長蛍光体の特性が生かされており、蛍光灯と同等な数値が得られている。また、色度、色温度に関してはR, G, B各蛍光体の混合比で任意に調整可能であり、照明用光源としての実用性を有していることが示唆される。

4. まとめ

紫外LEDとR, G, B三波長蛍光体を組み合わせた白色LEDは、紫外LEDチップ周辺部構造を最適化し、蛍光体量を調整することで可視光変換損失の少ないランプ特性が得られることが分かった。今後、蛍光体の高効率化、紫外LEDの高出力化を図ることでランプ効率さらには向上し、照明用光源としての実用性が見えてくるであろう。

謝辞

本研究は「高効率電光変換化合物半導体開発(通称“21世紀のあかり”)」の一環として、財団法人 金属系材料研究開発センターが新エネルギー・産業技術総合開発機構から委託を受けて行われたものである。

参考文献

- 1) 向井・中村:応用物理 第68巻 第2号 (1999) p. 152
- 2) 田口常正:月刊ディスプレイ 1月号 (2000) p. 23
- 3) 田口常正:月刊ディスプレイ 3月号 (2000) p. 1
- 4) 田口常正:OPTRONICS (2000) No.12 p. 112
- 5) 村上・田口・吉野:平成 12 年度照明学会全国大会 No.139

図3. 透過紫外光特性

図4. 蛍光体変換効率特性

図5. 白色 LED 発光スペクトル

表1. 白色 LED 光源特性

試料	(A)	(B)
順方向電圧[V]	3.43	3.42
順方向電流[mA]	20	20
全光束[lm]	0.476	0.395
ランプ効率[lm/W]	6.9	5.8
色度 x	0.3032	0.3171
色度 y	0.3205	0.3531
色温度[K]	7148	6153
平均演色評価数Ra	78	85