한국표면공학회지
J. Kor. Inst. Surf. Eng.
Vol. 40, No. 2, 2007.
<연구논문>

백색 발광다이오드의 특성에 대한 황색 형광체의 영향

장호정, 손창식[a*], 허재성[b]

단국대학교 전기공학과, [a]신라대학교 광전자공학과, [b]고려대학교 재료공학과

Effect of Yellow Phosphor on Characteristics of White Light Emitting Diode

Ho Jung Chang, Chang-Sik Son[a*], Jae Sung Hur[b]

Dept. of Electronics Engineering, Dankook Univ., Cheonan-si 330-714, Korea
[a]Dept. of Photonics, Silla Univ., Busan 617-736, Korea
[b]Dept. of Materials of Engineering, Korea Univ., Seoul 136-713, Korea

(Received October 10 2006 ; accepted February 6 2007)

Abstract

We have investigated the optical and electrical properties of surface mounted white light emitting diode (LED) chips prepared by using yellow phosphors on the blue LED chip. The yellow phosphor mixed with transparent epoxy was coated on the prepared LED chip. The optimum mixing conditions with epoxy and yellow phosphor is obtained at the mixing ratio of epoxy:yellow phosphor = 97:3 wt%. The maximum luminance and light emitting efficiency are above 80,000 cd/m^2 and 23.2 lm/W, respectively, at the bias voltage of 2.9 V. There was no distinct change in the luminance strength with changing of the yellow phosphor ratios. The current of the white LED chip is about 30 mA at 2.9 V.

Keywords : White LED, Yellow phosphor, Luminance

1. 서 론

LED(light emitting diode; 발광 다이오드) 소자는 단결정의 *p-n* 접합 다이오드에 순방향전압을 인가하면 운반자(carrier)인 전자 및 정공이 확산되어 소수 운반자 주입 현상이 일어난다. 이때 다수 운반자와 전자-정공이 재결합함으로써 소자 내에서 재결합에너지가 빛으로 발광하는 현상이 발생한다. 이러한 LED는 고체소자의 형상을 하고 있으며, 전구 등 다른 열변환 발광소자에 비해 안정적이고, 신뢰성이 있으며 수명도 통전상태에서 십만 시간 이상으로 매우 길다. 구동전압 또한 3~5 V로 매우 작아서 저소비 전력의 소자이다. LED의 발광 스펙트럼(spectrum)은 좁은 단색광에 가까우며, 반도체 재료를 다양하게 선택하여 적색, 오렌지, 황색, 녹색, 청색 등의 다양한 파장의 빛을 내는 LED가 생산되고 있다[1-3].

특히 고휘도 청색 LED에 이어 백색 LED가 개발된 이래 조명용 광원으로서 백색 LED에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[3-6]. 백색 LED는 액정 디스플레이(liquid crystal display; LCD)의 광원, 반도체 전구용(power flash) 광원, 총 천연색 LED 등의 응용분야에서 크게 각광을 받고 있다. 최근 전 세계적으로 많은 제조업체들이 백색 LED를 생산하고 있다[5,6]. LED를 이용하여 백색광을 만들기 위한 가장 일반적인 방법들 중의 하나는 GaN를 활성층으로 하여 제작된 청색 LED에 세슘(Ce)이 도핑된 YAG(yttrium aluminum garnet) 형광체나 비 YAG 형 황색 계열의 형광체를 코팅하는 방법이다[7,8]. 청색 GaN LED에 의해 방출되는 단파장 발광의 일부분이 형광체에 의해 변환되고, 결합된 빛이 인간의 시각 구조에 의해 백색으로 인식된다. 일반적으

*Corresponding author. E-mail : csson@silla.ac.kr

로 SMD(surface mounted devices; 표면자동실장)형 청색 LED는 투명 에폭시 수지(epoxy resin)로 보호 포장(encapsulation)이 이루어지진 소자이다. 이때 형광체는 LED 다이를 감싸고 있는 에폭시 수지(epoxy resin) 내에 형광체가 배합되어 있다[5-7]. SMD 형 백색 LED는 고휘도, 고순도의 품질이 요구되어지며 이에 따른 전기적, 광학적 특성에서 신뢰성을 확보하는 것이 주요 연구 과제이다.

본 연구에서는 청색 GaN LED의 투명 에폭시에 비 YAG 형 황색 계열의 형광체를 단계별로 합성하여 청색 LED에 코팅하여 백색 LED를 구현하고자 하였다. 최적의 황색 형광체의 합성 비를 찾기 위해서 백색 LED의 전기적, 광학적 특성을 분석하였는데, 청색 LED에 3 wt%의 황색 형광체를 첨가한 투명 에폭시를 사용하면 순수한 백색 LED를 제작할 수 있었다.

2. 실험 방법

청색 LED 위에 비 YAG 형 황색 계열의 형광체를 사용하여 표면실장 형 백색 LED를 제작하였다. 전구용 LED의 패키지 신뢰성 확보를 위해 내열성과 기밀성을 갖는 SMD 형 세라믹 형태의 LED 패키지로 제작하였다. 세라믹 기판과 전극사이의 은(Ag) 에폭시(전극 + 접착제)를 사용하여 접착력 개선을 통해 패키지 신뢰성을 향상시키고자하였다. 고휘도 백색 LED 칩(chip) 제작을 위해 세라믹 기판 위에 청색 LED 칩을 장착하였다. 준비한 금(Au) 도금 처리된 세라믹 기판에 LED 칩을 부착하기 위해서 은 에폭시로 LED 칩을 부착하는 다이 본딩(die bonding) 작업을 실시한 후, 80°C에서 오븐경화(oven curing)를 실시하였다. 다이 본딩 작업 후 LED 칩과 기판사이에 전기적 회로를 구성하기위해 세라믹 기판의 전극패드와 LED 칩 전극에 금선으로 와이어 본딩 장치(wire bonding)를 이용하여 와이어 본딩 작업을 수행하였다. 이후 백색 LED를 구현하기 위해 황색 형광체와 에폭시 몰드를 여러 가지 배합비로 배합하여 LED 칩 위에 형성하였다. 투명 에폭시에 대한 황색 형광체의 배합비는 2.7에서 7 wt%로 변화시켰다. Fig. 1은 본 연구에서 제작된 전구용 LED의 개요도이다. 제작이 완료된 백색 LED 칩에 대해 전기적 특성 및 광학적 특성을 조사하였다. Fig. 2는 전구용 백색 LED 칩모듈 제작을 위한 패키지(package) 제조 공정도를 보여주고 있다.

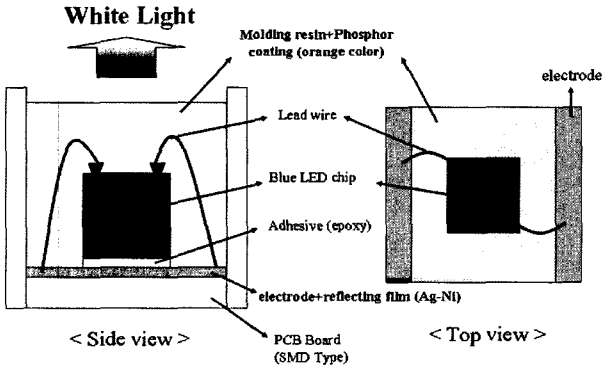

Fig. 1. Schematic structure of power flash white LED.

3. 결과 및 토의

백색 LED를 제작하기 위하여 SMD 형의 청색 LED에 황색 계열의 형광체를 첨가하였다. 에폭시와 황색 형광체의 배합비(무게비)는 97.5:2.5에서

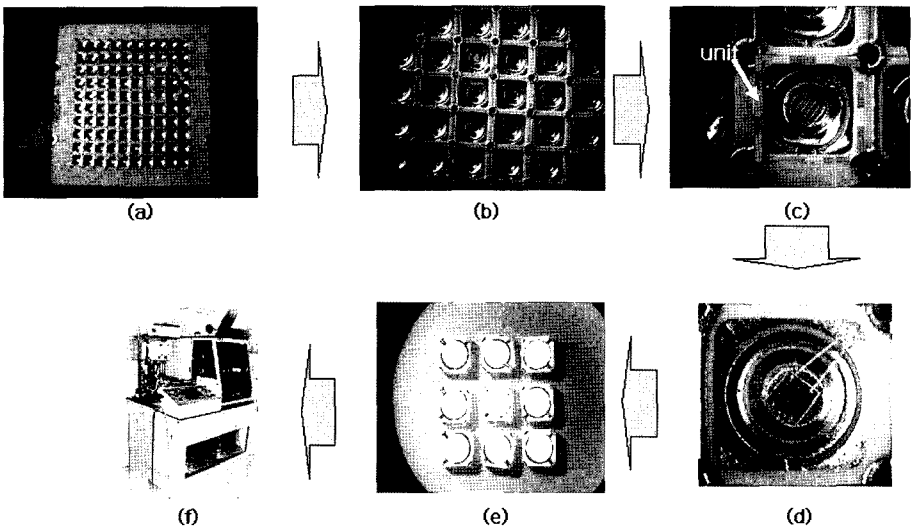

Fig. 2. Packaging process of white LED chip module for power flash. (a) ceramic substrate, (b) chip mounting, (c) die bonding, (d) wire bonding, (e) dispensing (epoxy+phosphor), (f) test.

Table 1. The ratio of epoxy to phosphor (wt%)

Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Epoxy	97.5	97	96.5	96	95.5	95	94.5	94	93.5	93
Phosphor	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7

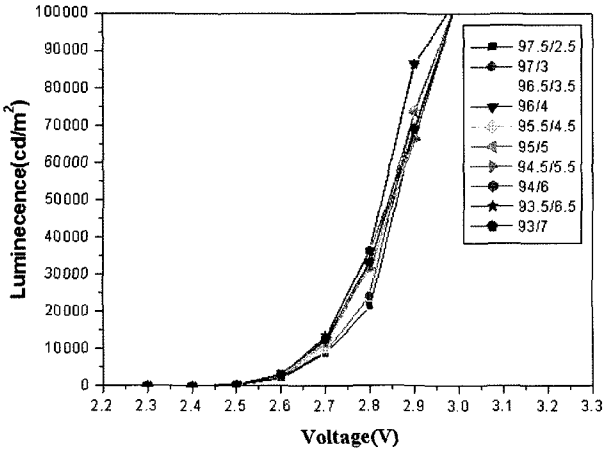

Fig. 3. L-I-V characteristics of white LED according to the mixing ratio of epoxy to yellow phosphor.

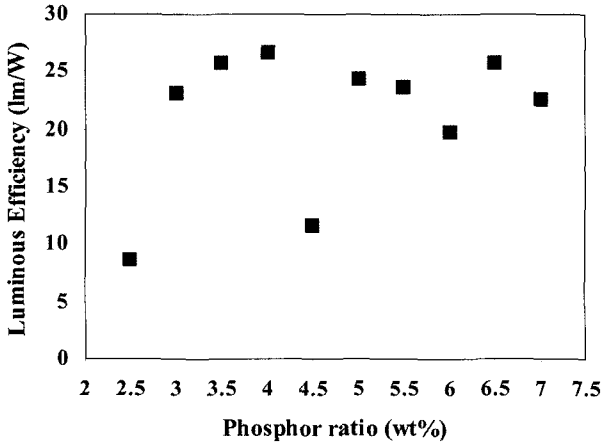

Fig. 4. Luminous efficiency as a function of the weight percentage of yellow phosphor.

93:7까지 변화시켰다. Tabel 1은 에폭시와 황색 형광체의 비율을 나타낸다. 제작된 각각의 백색 LED 칩에 대해 전류-전압 특성을 측정한 후 그 결과로부터 턴-온(turn-on) 전류는 각각의 형광체의 함유 비율에 따라 다소 차이는 있지만 2.3 V에서 최소 0.1 mA이고, 2.9 V에서 최대 30 mA임을 알 수 있었다. Fig. 3은 에폭시와 황색 형광체의 다양한 배합비에 따른 제작된 백색 LED 칩 소자의 휘도-전류-전압(luminance-current-voltage) 특성을 나타낸다. 각 소자의 턴-온 전압(발광개시 전압)은 약 2.6 V이다. Fig. 3에서 보듯이 제작된 소자의 최대 휘도는 2.9 V 인가전압에서 약 90,000 cd/m^{2}를 나타낸다. 3.1 V까지 휘도는 계속 증가한다. 측정 장비의 분해능의 한계로 인하여 정확한 휘도의 측정은 어려웠으나 약 110,000 cd/m^{2}까지 큰 값의 휘도를 측정할 수 있다. 또한 본 실험에서 제작된 LED 칩의 휘도 특성에 대한 인가전압의 효과는 에폭시와 형광체의 배합비에는 의존하지 않는 것으로 사료된다.

Fig. 4는 제작된 백색 LED 칩의 황색 형광체의 무게 비율의 함수로서의 발광 효율(luminous efficiency)을 나타낸다. 2.5 wt%에서 발광효율은 약 8 lm/W (에폭시: 황색형광체 배합비 = 97.5:2.5)로서 최소 값을 나타내고, 2.5 wt% 이상의 비율에서는 약 20~27 lm/W로 거의 일정하게 나타난다. 2.5 wt% 이상의 비율에서 발광효율이 조금의 차이를 보이는 것은 에폭시와 형광체간의 혼합 불균일(inhomogeneous mixing)에 따라 소자의 전기적 특성의 변화 때문인

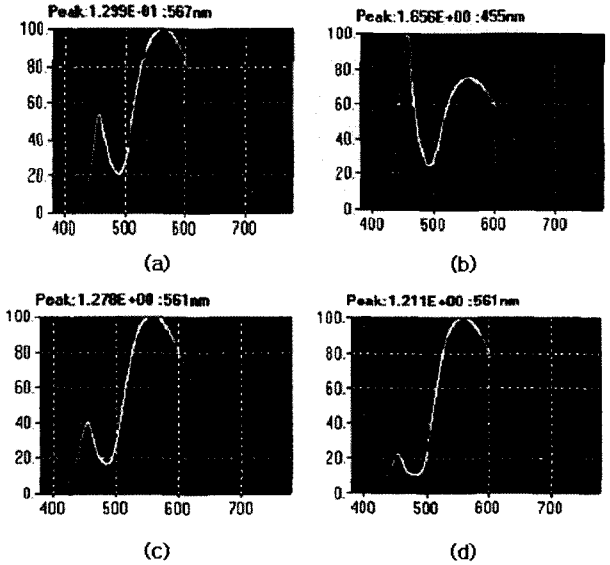

Fig. 5. Emission spectra of LEDs as a function of the mixing ratio of epoxy to yellow phosphor. (a) 97.5:2.5, (b) 97:3, (c) 95:5, (d) 93:7. The title of x and y axis are wavelength and intensity, respectively.

것으로 사료된다. 황색 형광체의 비율을 변화시켰을 때 발광 강도의 변화는 거의 없다. 4.5 wt%에서 갑작기 효율이 감소하는 이유는 실험상의 오차로 인한 감소로 분석된다.

Fig. 5는 형광체 함유 비율에 따른 LED 칩에 대한 발광 스펙트럼을 나타낸다. 제작된 LED의 발광 스펙트럼은 약 455 nm의 파장 영역에서 청색 발광

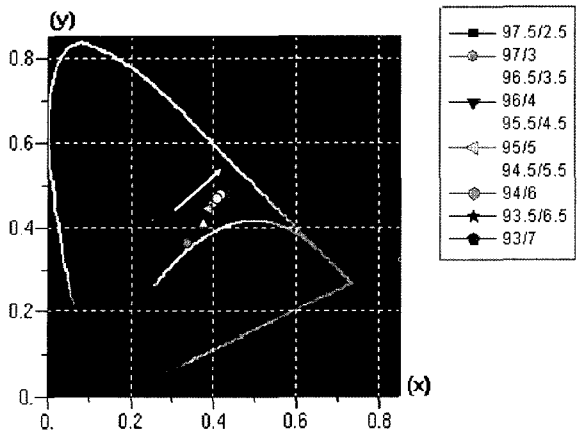

Fig. 6. CIE (Commission International de l'Eclairage) as a function of the mixing ratio of epoxy to yellow phosphor. x and y axis means chromaticity coordinates on CIE system.

및 약 560 nm의 파장 영역에서 황색 발광으로 이루어져 있음을 알 수 있다. 형광체가 3 wt%일 경우 청색 영역의 파장이 황색 영역의 파장보다 파장 강도가 더 크게 나타났으며, 나머지 시료에 대해서는 청색 영역의 파장보다 황색 영역의 파장 강도가 더욱 우세하게 나타난다. 따라서 배합비가 97:3일 때 최소의 황색 발광과 최대의 청색 발광 강도를 가지므로, 최적의 배합비는 97:3가 된다. 백색 LED 칩에 대한 CIE(Commission International de l'Eclairage) 색 좌표는 x=0.34 및 y=0.36으로서 우수한 백색 발광을 나타내었다. 광학 현미경으로 조사하였을 때 LED 칩에는 선 끊어짐(wire disconnect) 및 스캘플링(scalping)과 같은 결함은 관찰할 수 없었다.

Fig. 6은 에폭시와 형광체 배합비율에 따른 색 좌표 변화를 보여주고 있다. 그림에서 보여주듯이 에폭시:형광체 비율이 97:3에서 제작된 LED는 백색광(CIE x: 0.34, y: 0.36)으로 발광하였다. 그 외에 제작된 LED 칩 소자의 경우 황색 형광체의 함유량이 3.5 wt%에서 7.0 wt%로 증가할수록 점차 오렌지색에 가까운 색 좌표로 이동하였다. 본 실험 결과 청색 LED(455 nm)에 3 wt%의 황색 형광체(560 nm)를 첨가한 투명 에폭시를 사용하면 순수한 백색 LED를 제작할 수 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

청색 LED 및 황색 형광체를 이용하여 SMD 형 백색 LED를 제작하였다. LED 칩 위에 투명 에폭시를 혼합한 황색 형광체를 코팅하였다. 투명 에폭시에 대한 황색 형광체의 배합비는 2.7에서 7 wt%로 변화시켰다. 제작된 소자의 최대 휘도는 2.9 V 인가전압에서 약 90,000 cd/m^{2}를 나타낸다. 배합비가 97:3 wt%일 때 최소의 황색 발광과 최대의 청색 발광 강도를 가지므로, 최적의 배합비는 97:3 wt%이다. 최적의 배합비를 이용하여 x=0.34, y=0.36의 CIE 색 좌표를 가지는 우수한 백색 LED 칩으로 제작할 수 있었다.

참고문헌

1. S. Nakamura, T. Mukai, M. Senoh, Appl. Phys. Lett., 64 (1994) 1687.
2. S. Nakamura, G. Fasol, The Blue Laser Diode, GaN Based Light Emitters and Lasers (Springer, Berlin 1997).
3. R. Mueller-Mach, G. O. Mueller, M. R. Krames, T. Trottier, J. IEEE, 8 (2002) 339.
4. T. Yanagisawa, T. Kojima, J. Luminescence, 114, (2005) 39.
5. T. Taguchi, J. Light Vis. Env., 27 (2003) 131.
6. C. R. Ronda, T. Justel, H. Nikol, J. Alloys Compd., 275 (1998) 669.
7. N. Narendran, Y. Gu, J. P. Freyssinier, H. Yu, L. Deng, J. Crystal Growth, 268 (2004) 449.
8. C. S. Son, H. J. Chang, K. H. Jaekal, Y. C. Chang, S. W. Lee, Mat. Sci. Forum, 510 (2006) 106.