

자색 LED 칩 및 백색 LED 램프에 대한 연구

서종욱 · 김창연 · 김희수 · 노승정*

단국대학교 응용물리학과, 서울 140-714
(2003년 7월 23일 접수)

A study of violet LED chips and white LED lamps

J. U. Seo, C. Y. Kim, H. S. Kim, and S. J. Noh*

Department of Applied Physics, Dankook University, Seoul 140-714, Korea

(Received July 23, 2003)

요 약

기존 LED display는 서로 다른 구동전압과 열화특성을 갖는 적색, 녹색, 청색 LED를 이용하여 픽셀을 구성하므로 제어회로의 구성이 복잡하고, 동작시간의 경과에 따라 색깔 별로 디스플레이 특성이 변하게 되어 full color display를 추구하는데 큰 문제점으로 지적된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 짧은 파장을 갖는 LED 칩을 여기광원으로 하고, 이 칩 위에 적색, 녹색, 청색형광체를 혼합하여 에폭시와 골고루 섞어 도포하도록 고안한 LED 램프에 대하여 연구하였다. 제작한 여기광원의 활성층은 InGaN으로 구성되어 있으며 중심파장이 408 nm, FWHM이 13 nm, CIE 색도좌표값이(0.198, 0.087)이다. 형광체와 첨가하는 에폭시의 질량비를 조절하여 백색 LED 램프를 구현하였으며, 질량비에 따라 LED 램프의 CIE 색도좌표가 변하는 것을 확인하였다.

주제어 : 자색 LED 칩, 형광체, 백색 LED 램프

Abstract

Conventional LED displays use pixels which consist of red, green and blue LEDs of different operation voltages and degradation characteristics. Thus, the circuits are complicated and the display of each color changes independently with the operated time. In order to solve these drawbacks, an LED chip of a short wavelength and an LED lamp with the mixture of red, green, blue fluorescenters and epoxy on the LED chip were studied. The fluorescenters are excited by the light of the LED chip. The LED chip has an active layer of InGaN, a peak wavelength of 408 nm, a FWHM of 13 nm and the CIE index of (0.198, 0.087). White LED lamps were obtained and the CIE index change was observed with the change of the epoxy amount added to the fluorescenters.

Key Words : Violet LED chip, Fluorescencer, White LED lamp

1. 서 론

질화물계 (III-nitride) 화합물반도체는 다양한 직접 천이 금지대역폭을 가지므로 폭 넓은 파장을 구현

하기 위한 LED (Light Emitting Diode) 재료로 많은 연구가 진행되어 왔다. 예를 들어 InN, GaN, AlN의 직접천이 금지대역폭은 각각 1.9 eV, 3.45 eV, 6.2 eV이다. 특히 500 nm이하의 짧은 파장을 갖는 LED에

* E-mail : sjnoh@dankook.ac.kr

초점을 맞춰 연구가 집중적으로 진행되어, 1994년 나고야 대학의 Akasaki와 Nichia의 Nakamura가 MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition)법 성장기술로 GaN계 청색 LED 제작에 성공함으로써 빛의 삼원색을 모두 갖추게 되었으며, 청색보다 짧은 파장을 갖는 LED의 개발도 가능하다 [1-6].

현재, 광역 디스플레이 분야는 적색, 녹색, 청색의 파장을 갖는 LED로 구성된 픽셀을 이용하여 모듈을 제작하고 있다. 그러나 적색, 녹색, 청색 LED는 구동전압과 열화특성이 각각 서로 다르기 때문에 제어회로 구성이 복잡하고 동작시간 경과에 따라 LED 색깔 별로 디스플레이 특성이 변하게 되어 full color display를 추구하는데 있어서 큰 문제점으로 지적되고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 짧은 파장을 갖는 LED 칩 위에 적색, 녹색, 청색형광체를 혼합, 도포하여 백색광을 구현하는 LED 램프를 제안한다. 이때 LED칩에서 출력되는 광으로 형광체를 여기하고, 형광체에서 출력되는 적색, 녹색, 청색의 광을 이용하여 백색광을 구현하게 된다. 이 방식은 여기원으로 동일한 LED를 사용하므로 기존 방식이 안고 있는 문제를 극복할 수 있다. 또한, 필요에 의해 형광체를 적당한 비율로 혼합, 도포하면 원하는 모든 색을 구현하는 LED 제작이 가능하다.

본 논문에서는 활성층이 InGaN로 형성된 자색 파장을 갖는 LED 칩을 제작하고 광학적 특성에 대하여 연구하였다. 또한 적색, 녹색, 청색형광체가 일정비율로 혼합된 무기형광체 [7-10]를 자색 LED 칩에 도포하여 백색광을 구현하는 LED 램프를 제작하고 광학적 특성을 연구하였다.

2. 자색 LED 칩의 제작 및 특성

그림 1은 실험을 위하여 제작한 자색 LED 칩의 단면도이다. 왼쪽 위에 위치한 p-pad는 Ti과 Au으로, 오른쪽 위에 위치한 n-pad는 Ti과 Al으로 구성되어 있다. 전극역할을 하는 p-pad와 n-pad는 옴릭(ohmic) 특성을 향상시키기 위한 구조로 제작되었다. 투명전극 (transparent electrode)은 Ni와 Au으로 구성되어 있으며, p층에 전류를 끌고루 전달하여 발광면적을 증가시키고 빛의 방출을 균일하게 한

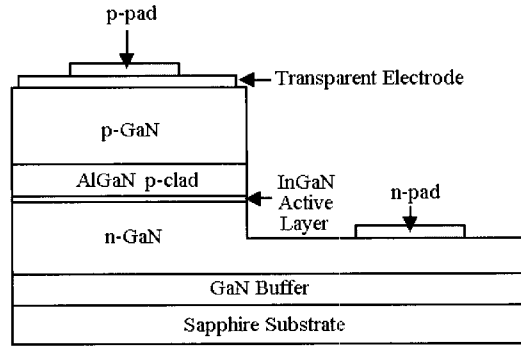


그림 1. 자색 LED 칩의 단면도.

다. 투명전극의 아래에는 Mg로 도핑된 p-GaN층이 위치하는데, 여기에서 전자와 재결합 할 정공이 생성된다. 그 아래에는 AlGaN으로 된 p-clad층이 위치하며, 이 층은 p-GaN에서 형성된 정공을 보다 잘 집적시키고, 정공이 역으로 확산하는 것을 막아주는 역할을 한다. 발광하는 파장이 결정되는 활성층(active layer)은 직접천이형 밴드구조를 갖는 InGaN으로 구성되어 있으며, 약 3.0 eV의 밴드갭과 양자우물을 형성한다. 이 활성층에서 전자와 정공이 재결합하여 파장이 약 400 nm인 자색의 광을 방출하게 된다. 활성층 아래에는 Si로 도핑된 n-GaN층이 있으며, 이곳에서 정공과 재결합 할 전자가 생성된다. 그 밑에는 GaN이 버퍼 (buffer)층으로 존재하는데, 결정성장시 격자 부정합을 줄이는 역할을 한다. 마지막으로 맨 밑은 결정성장의 기판으로 사용되는 사파이어 (sapphire, Al₂O₃)가 존재한다.

그림 2는 자색 LED 칩의 전류-전압 특성곡선이다.

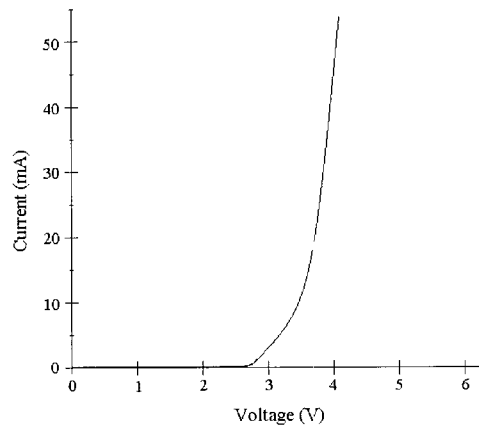


그림 2. 자색 LED 칩의 전류-전압 특성곡선.

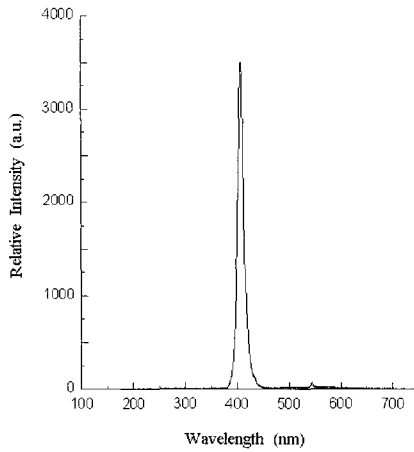


그림 3. 자색 LED 칩의 파장 스펙트럼. 칩에 3.7 V의 전압을 인가하여 전류를 20 mA로 유지하고 측정하였다.

그림에서 보듯이 전류가 20 mA일 때의 구동전압은 3.7 V이며, 저항 R(접선기술기의 역수, dV/dI)은 25 Ω 이다. 역방향으로 전압을 인가할 경우, -10 V 까지 breakdown이 현상이 관찰되지 않는다.

그림 3은 자색 LED 칩의 파장 스펙트럼으로 전압 3.7 V, 전류 20 mA에서 측정하였다. 중심파장은 408 nm, FWHM (Full Width at Half Maximum)은 13 nm, CIE (Commission International de l'Eclairage) 색도좌표는 (0.198, 0.087)으로 자색(violet)광이다 [11-15].

3. 백색 LED 램프의 제작 및 특성

무기형광체인 $K(WO_4):Eu,Sm$ (적색형광체), $(BaSr)_2SiO_4:Eu$ (녹색형광체), $(SrMg)_{10}(PO_4)_6Cl_2:Eu$ (청색형광체)이 일정 비율로 혼합된 분말에 에폭시를 첨가하여 섞은 후, 자색 LED 칩에 도포하여 백색광을 구현하는 LED 램프를 제작하였다. 그림 4는 제작한 백색 LED 램프의 구조를 나타낸다. 리드프레임의 왼쪽 위 부분은 컵의 형태를 갖는다. 이곳에 칩을 다이본딩(die bonding)한다. 이어서 와이어본딩(wire bonding)을 진행한다. 형광체를 에폭시와 혼합하여 칩 위에 도포하고 경화한다. 다음으로 에폭시 렌즈를 몰딩하여 LED 램프 제작을 완성한다.

그림 5와 표 1은 형광체의 농도 변화에 따른 LED 램프의 CIE 색도표와 색도좌표이다. 형광체에 에폭시를 첨가하여 혼합한 시료의 질량 (형광체질량과

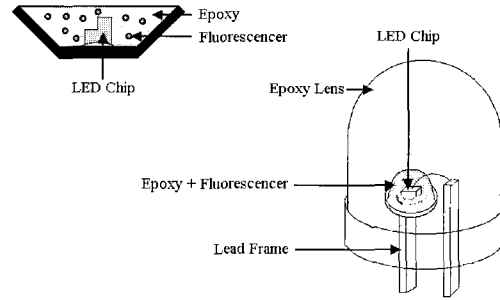


그림 4. 백색 LED 램프의 구조.

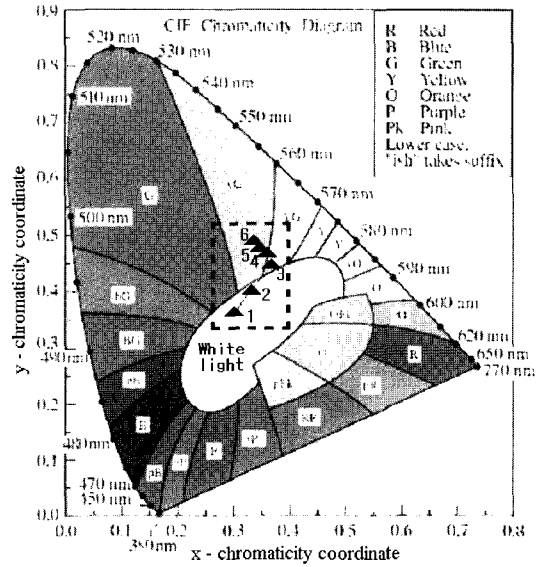


그림 5. LED램프의 CIE 색도표. 그림에서 ▲1은 LEDlamp(0.38), ▲2는 LEDlamp(0.50), ▲3은 LEDlamp(0.58), ▲4는 LEDlamp(0.64), ▲5는 LEDlamp(0.69), ▲6은 LEDlamp(0.72)에 해당한다.

에폭시질량의 합)에서 형광체가 차지하는 질량의 비를 0.38, 0.50, 0.58, 0.64, 0.69, 0.72로 변화시켜가면서 실험을 진행하였다. 형광체가 차지하는 질량의 비율이 η 인 혼합물을 여기광원인 자색 LED 칩에 도포하여 제작한 LED 램프를 LEDlamp(η)로 표시한다. 예를 들어 LEDlamp(0.38)은 형광체와 에폭시의 혼합물에서 형광체가 차지하는 질량의 비율이 0.38임을 나타낸다. 자색 LED 칩에는 3.7 V의 전압을 인가하여 전류를 20 mA로 유지하였다. 그림 5와 표 1로 부터, 형광체의 농도가 낮은 경우인 LEDlamp(0.38)과 LEDlamp(0.50)의 광은 백색으로 나타난다.

표 1. LED 램프의 CIE 색도 좌표.

LED LAMP	CIE Index (x, y)
LEDlamp(0.38)	(0.303, 0.347)
LEDlamp(0.50)	(0.329, 0.405)
LEDlamp(0.58)	(0.348, 0.437)
LEDlamp(0.64)	(0.341, 0.458)
LEDlamp(0.69)	(0.337, 0.475)
LEDlamp(0.72)	(0.330, 0.483)

이는 적색, 녹색, 청색의 혼합형광체와 짧은 파장의 LED를 여기광원으로 이용한 백색 LED 램프의 가능성을 보이고 있다. 반면에 형광체의 농도가 진해짐에 따라 황록색으로 이동하는 것이 보인다. 형광체의 농도가 높은 경우에는 형광체와 반응하지 않고 투과되는 408 nm의 광이 줄어들게 된다. 따라서 사용한 혼합형광체에서 청색형광체의 양이 부족하다고 가정하면, 형광체의 농도가 낮은 경우에는 투과되는 408 nm의 광의 기여로 백색을 나타내지만, 형광체의 농도가 증가할 경우에는 투과되는 408 nm의 광이 줄어들게 되어 황록색으로 이동하게 된다. 이는 그림 5와 표 1의 결과와 일치한다. 앞으로 적색, 녹색, 청색형광체 및 이들을 다양한 비율로 혼합한 형광체를 이용하여 체계적인 연구가 진행된다면 백색 LED 램프는 물론 진정한 full color display LED의 가능성이 더욱 증대할 것이다.

4. 결 론

InGaN를 활성층으로 이용하여 짧은 파장을 갖는 자색 LED 칩을 성공적으로 제작하였다. 자색 LED 칩의 중심파장은 408 nm, FWHM은 13 nm이며, CIE 색도좌표는 (0.198, 0.087)이다.

형광체와 에폭시를 혼합하여 여기광원으로 제작한 자색 LED 칩 위에 도포하여 백색 LED 램프를 구현하고, 형광체와 에폭시의 혼합비에 따른 LED 램프의 빛의 변화를 확인하였다. 이를 응용하면 서로 다른 구동전압과 열화특성을 갖는 적색, 녹색, 청색 LED로 구성된 픽셀을 이용하는 기존 LED display에서 나타나는 단점을 피할 수 있다. 앞으로 적색, 녹색, 청색형광체의 혼합비와 에폭시의 첨가량에 따른 광특성과 램프의 열화특성에 대한 정밀

한 실험을 통하여 백색 및 full color display LED 램프에의 응용이 기대된다.

감사의 글

본 연구는 2003학년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었음.

참 고 문 헌

- [1] M. D. Bremser, W. G. Perry, T. Zheleva, N. V. Edwards, O. H. Nam, N. Parikh, D. E. Aspnes, and R. F. Daviset, *J. Nitr. Semi. Res.* **1**, 8 (1996).
- [2] D. Brunner, H. Angerer, E. Bustarret, F. Freudenberg, R. Hopler, R. Dimitrov, O. Ambacher, and M. Stutzmann, *J. Appl. Phys.* **82**, 5090 (1997).
- [3] K. Osamura, S. Naka, and Y. Murakami, *J. Appl. Phys.* **46**, 3432 (1975).
- [4] Q. Guo, H. Ogawa, and A. Yoshida, *Crystal Growth* **146**, 462 (1995).
- [5] K. S. Kim, A. Saxler, P. Kung, M. Razeghi, and K. Y. Lim, *Appl. Phys. Lett.* **71**, 800 (1997).
- [6] Y. J. Koide, H. Itoh, M. R. H. Khan, K. Hiramoto, N. Sawaki, and I. Akasaki, *J. Appl. Phys.* **61**, 4540 (1987).
- [7] P. Goldberg, *Luminescence of Inorganic Solids*, (Academic Press, 1996).
- [8] R. C. Ropp, *Luminescence and the Solid State*, (Elsevier, 1991).
- [9] 형광체 연구회, *형광체 Handbook*, (오음사, 1994).
- [10] 모선일, *화학세계* **32**, 6 (1992).
- [11] R. W. Boyd, *Radiometry and the Detection of Optical Radiation*, (John Wiley & Sons, 1983).
- [12] R. M. Boynton, *Human Color Vision*, (John Wiley & Sons, 1994).
- [13] Kurt Nassau, *The Physics and Chemistry of Color*, (John Wiley & Sons, 1983).
- [14] W. D. Wright, *The Measurement of Colour*, (Textile Book, 1969).
- [15] G. Wyszecki and W. Stiles, *Color Science*, 2nd ed., (John Wiley & Sons, 1982).