

사파장 백색 발광 다이오드의 발광 특성

허영덕* · 임수미
단국대학교 화학과
(2003. 4. 11 접수)

Luminescent Properties of Four-Band White Light Emitting Diodes

Young-Duk Huh* and Su-Mi Lim

Department of Chemistry, Dankook University, Seoul 140-714, Korea
(Received April 11, 2003)

요약. 보라색 발광 다이오드에 의해 여기되어 청색, 녹색, 적색을 발광하는 형광체로 각각 $\text{BaMg}_2\text{Al}_6\text{O}_7:\text{Eu}$, $\text{SrGa}_2\text{S}_4:\text{Eu}$, $\text{ZnCdS}:\text{Ag,Cl}$ 형광체를 선택하였다. 보라색 발광 다이오드의 발광에서 형광체에 의해서 완전히 흡수되지 않고 나오는 보라색 발광과 $\text{BaMg}_2\text{Al}_6\text{O}_7:\text{Eu}$, $\text{SrGa}_2\text{S}_4:\text{Eu}$, $\text{ZnCdS}:\text{Ag,Cl}$ 형광체에서 나오는 청색, 녹색, 적색 발광을 조합하여 사파장 백색 발광 다이오드를 만들었다. 사파장 백색 발광 다이오드의 발광 특성을 확인하였다.

주제어: 백색 발광 다이오드, 발광 특성

ABSTRACT. $\text{BaMg}_2\text{Al}_6\text{O}_7:\text{Eu}$, $\text{SrGa}_2\text{S}_4:\text{Eu}$, and $\text{ZnCdS}:\text{Ag,Cl}$ phosphors were chosen to produce blue, green, and red emissions, respectively, under excitation from a violet light emitting diode (LED). A four-band white LED was obtained by a combination of nonabsorbed violet emission from a violet LED and blue, green, and red emissions from $\text{BaMg}_2\text{Al}_6\text{O}_7:\text{Eu}$, $\text{SrGa}_2\text{S}_4:\text{Eu}$, and $\text{ZnCdS}:\text{Ag,Cl}$ phosphors. The luminescent properties of the four-band white LED were also discussed.

Keywords: White LED, Luminescent property

서론

발광 다이오드(LED, light emitting diode)는 반도체의 특성을 이용해 전기 신호를 적외선 또는 가시광선과 같은 빛으로 전환시킨다. 발광 다이오드는 가정용 가전 제품, 리모콘, 전광판, 표시기, 교통신호등, 각종 자동화 기기 등에 널리 사용되고 있다. 일본의 Nichia사의 Nakamura 등은 InGaN 반도체를 이용하여 고효율의 청색과 녹색의 발광 다이오드를 만들었다.^{1,2} 또한 고효율 청색 발광 다이오드에 $\text{YAG}:\text{Ce}(\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce})$ 형광체를 도핑하여 백색 발광 다이오드(white LED)를 만들었다. 백색 발광 다이오드는 기존의 형광등이나 백열 전구를 대체할 수 있는 가장 좋은 광원으로 손꼽히고 있다. 백열 전구의 수명은 약 1,000 시간인 반면에 발광 다이오

드의 수명은 100,000 시간이므로 빈영구적으로 사용될 수 있다. 뿐만 아니라 형광등과 같이 사용후 폐수는 때문에 발생하는 환경오염을 걱정하지 않아도 된다. 백색 발광 다이오드의 또 다른 장점은 사용 소비 전력이 백열 전구의 20% 정도이므로 에너지를 크게 절약할 수 있게 된다. 백색 발광 다이오드가 백열 전구와 형광등을 대체하게 된다면 이것은 일종의 에너지 혁명이라고 할 수 있다. 따라서 백색 발광 다이오드의 제작 및 백색 발광 다이오드에 사용되는 형광체의 특성에 관한 연구가 국내외에서 활발히 진행되고 있다. 그러나 현재까지 백색 발광 다이오드는 백열 전구보다 휘도가 떨어지는 단점 때문에 백열 전구를 대체하지 못하고 있다. 반면에 백색 발광 다이오드는 LED칩이나 PDA와 같은 소형 화면의 백라이트 광원으로 주로 사용되고 있다. 이

와 같이 모든 색의 재현이 가능한 디스플레이 장치의 백라이트 광원으로 백색 발광 다이오드를 사용하고자 하려면 자연광에 가까운 백색광을 요구하게 된다.

현재 상용화 되고 있는 백색 발광 다이오드는 청색 발광 다이오드에 YAG:Ce 형광체를 도핑하여 백색광을 얻는 방법을 이용하였다.^{4,5} 청색 발광 다이오드의 칩위에 YAG:Ce 형광체를 도핑하면 청색광의 여기에 의해서 YAG:Ce 형광체는 노랑색을 발광하게 된다. 따라서 완전히 형광체에 흡수되고 않고 나오는 청색 발광다이오드의 청색과 형광체에서 나오는 노랑색이 조합되어서 우리 육안으로 백색이 보이게 된다. 백색 발광 다이오드에 관한 연구가 국내외에서 활발히 진행되고 있다. 국내에서는 YAG:Ce 형광체를 균일하고 적절한 두께의 막을 만드는 기술을 개발하고 있다.⁶ 본 연구진은 $Y_3Al_5O_{12}:Ce$ 형광체에 Gd과 Ga을 일부 치환시킨 $(Y_{1-x}Gd_x)(Al_xGa_{3-x})O_{12}:Ce$ 형광체를 사용하여 백색 발광 다이오드의 색 온도(color temperature)를 조절하는 방법을 연구하였다.⁷ 또한 청색 발광 다이오드위에 녹색과 적색 발광 형광체를 코팅하여 사파장의 조합에 의한 백색 발광 다이오드에 관한 연구도 하였다.⁸

현재까지는 고휘도의 청색 발광 다이오드가 널리 보급되어 있는 반면에 보라색 발광 다이오드는 덜 보급되고 있는 상태이다. 이것은 보라색 발광 다이오드의 휘도가 상대적으로 약하기 때문이다. 그러나 최근의 발광 다이오드의 기술 개발 속도로 미루어 보면 향후 몇 년 내에 고휘도의 보라색 발광 다이오드가 상용화 될 것이라고 전망된다. 따라서 본 논문에서는 사파장 백색 발광 다이오드의 제작에 필요한 청색, 녹색, 적색 형광체를 미리 찾아서 보라색 발광 다이오드를 이용한 사파장 백색 발광 다이오드의 광 특성을 확인하고자 한다.

실 험

형광체의 광 특성은 형광 분광 광도계(photoluminescence spectroscopy)를 사용하여 확인하였다. 여기에 사용된 광원은 500 W의 Xe 램프이다. 시료의 표면에 수직으로 여기 광을 쬐어 주었으며, 검출 위치는 여기 광에 대해서 45°로 하였다. 사용된 단색화장치는 0.275 m의 단색화 장치(triple grating monochromator, Acton Research Co)를 사용하였고, 광증배관(photomultiplier tube)은 P11V 400을 사용하였다. 보라색 발광 다이오드($\lambda_{em}=405\text{ nm}$)는 시중에서 상용되고 있는 것을 구입하여 사용하였다. 청

색, 녹색, 적색 형광체로 각각 $BaMg_2Al_{16}O_{27}:Eu$, $SrGa_2S_4:Eu$, $ZnCdS:Ag,Cl$ 형광체를 사용하였다. $BaMg_2Al_{16}O_{27}:Eu$ 와 $ZnCdS:Ag,Cl$ 형광체는 Kasei사 제품을 사용하였으며, $SrGa_2S_4:Eu$ 형광체는 직접 합성하여 사용하였다.⁹

백색 발광 다이오드를 만드는 공정은 먼저 반도체 웨이퍼에서 청색 발광 다이오드 칩 한 개를 진공으로 뽑아낸 후, 반사 컵(reflector cup)에 다이 결합(die bonding)을 하고, 반사 컵 아래 부분에는 에폭시(silver epoxy) 시킨다. 그리고 양극과 음극을 연결하는 백금으로 와이어 결합(wire bonding)을 한 다음, 고분자 수지와 함께 있는 형광체를 적절히 올리는 도핑 과정을 한다. 최종적으로 에폭시 수지로 렌즈 형태를 만드는 후에 오븐에서 말려 성형을 뜬다.

본 연구팀은 이와 같이 발광 다이오드를 만드는 공정을 할 수 있는 실험 여건을 가지고 있지 못하기 때문에 Fig. 1과 같이 보라색 발광 다이오드의 렌즈 표면에 청색, 녹색, 적색 형광체를 코팅하는 방법을 택하였다. 본 실험에서는 각각의 형광체를 PVA[poly(vinyl alcohol)] 수용액에 1:4의 무게비로 혼합하였다. 이것을 PET[ethylene terephthalate] 필름에 얇게 코팅하였다. 형광체의 농도는 코팅된 두께에 비례하게 된다. 또한 코팅된 필름을 여러장 사용하면 형광체의 양을 증가시킬 수 있다. 따라서 본 연구에서는 사용된 정확한 형광체의 양을 알 수는 없지만 코팅된 필름을 여러장 사용하여 형광체의 양을 조절하였다. 본 연구에서는 형광체의 양에 따른 백색 발광 다이오드의 발광 특성 및 색 좌표의 특성을 확인하였다. 비록 백색 발광 다이오드를 제작하는 공정 장치가 없어서 발광 다이오드의 표면에 형광체를 코팅하는 방법을 사용하였지만, 이러한 방법으로 만든 백색 발광 다이오드의 광 특성을 연구하는데는 큰 문제가 없다고 생각된다. 뿐만 아니라, 이와 같이 얻은

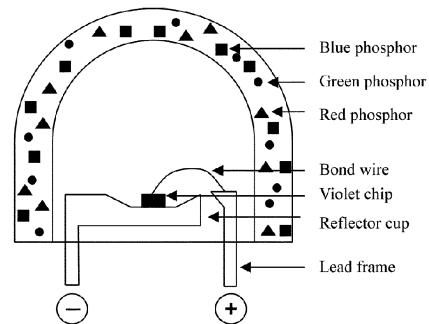


Fig. 1. Schematic structure of four-band LED.

결과는 실제로 백색 발광 다이오드의 제작 공정에 필요한 중요한 자료가 될 것이다.

결과 및 고찰

본 실험은 405 nm의 보라색 발광 다이오드의 렌즈의 표면에 청색, 녹색, 적색 형광체를 코팅하여 사과장의 다이오드를 만들었다. 따라서 405 nm에 의해서 여기되어서 청색, 녹색, 적색을 발광하는 형광체를 사용해야 한다. 청색, 녹색, 적색을 발광하는 형광체로 각각 $\text{BaMg}_2\text{Al}_6\text{O}_7\text{:Eu}$, $\text{SrGa}_2\text{S}_4\text{:Eu}$, ZnCdS:Ag,Cl 형광체를 선택하였다. $\text{BaMg}_2\text{Al}_6\text{O}_7\text{:Eu}$, $\text{SrGa}_2\text{S}_4\text{:Eu}$, ZnCdS:Ag,Cl 형광체의 여기 및 발광 스펙트럼을 Fig. 2에 나타내었다. 여기 스펙트럼을 보면 $\text{BaMg}_2\text{Al}_6\text{O}_7\text{:Eu}$, $\text{SrGa}_2\text{S}_4\text{:Eu}$, ZnCdS:Ag,Cl 형광체 모두 405 nm에서 강한 흡수가 있다. 그리고 발광 스펙트럼으로부터 $\text{BaMg}_2\text{Al}_6\text{O}_7\text{:Eu}$, $\text{SrGa}_2\text{S}_4\text{:Eu}$, ZnCdS:Ag,Cl 형광체는 각각 455 nm, 535 nm, 620 nm에서 최대 발광 파장임을 확인하였다. 따라서 $\text{BaMg}_2\text{Al}_6\text{O}_7\text{:Eu}$, $\text{SrGa}_2\text{S}_4\text{:Eu}$, ZnCdS:Ag,Cl 형광체는 각각 405 nm의 여기에 의한 청색, 녹색, 적색 발광을 하는 형광체로 적당하다. 즉, 보라색 발광 다이오드의 렌즈 표면에 $\text{BaMg}_2\text{Al}_6\text{O}_7\text{:Eu}$, $\text{SrGa}_2\text{S}_4\text{:Eu}$ 와 ZnCdS:Ag,Cl

형광체 양을 각각 적절히 조절하여 만든 필름을 코팅하면 완전히 흡수되지 않은 보라색과 형광체에서 나오는 청색, 녹색, 적색을 모두 얻을 수 있게 된다. 그리고 형광체의 양을 조절하면 보라색, 청색, 녹색, 적색이 모두 있는 사과장의 백색 발광 다이오드를 만들 수 있게 된다.

Fig. 2와 같이 대부분의 무기 형광체의 여기 및 발광 스펙트럼의 영역은 넓게 퍼져있다. Fig. 2(B)의 $\text{SrGa}_2\text{S}_4\text{:Eu}$ 형광체의 여기 영역은 $\text{BaMg}_2\text{Al}_6\text{O}_7\text{:Eu}$ 형광체의 최대 발광 파장인 455 nm를 포함한다. 즉, 보라색 발광 다이오드의 렌즈 표면에 $\text{BaMg}_2\text{Al}_6\text{O}_7\text{:Eu}$, $\text{SrGa}_2\text{S}_4\text{:Eu}$ 와 ZnCdS:Ag,Cl 형광체를 동시에 코팅하면 $\text{BaMg}_2\text{Al}_6\text{O}_7\text{:Eu}$ 에 의해서 나오는 청색의 일부를 $\text{SrGa}_2\text{S}_4\text{:Eu}$ 형광체가 흡수하여 다시 녹색을 발광할 수 있게 된다. Fig. 2(C)의 ZnCdS:Ag,Cl 형광체의 여기 영역은 510 nm까지 넓게 퍼져 있으므로 $\text{BaMg}_2\text{Al}_6\text{O}_7\text{:Eu}$ 에서 나오는 청색과 $\text{SrGa}_2\text{S}_4\text{:Eu}$ 에서 나오는 녹색의 일부분을 다시 흡수하게 된다. 이러한 현상을 최소화하려면 405 nm 근처에서 신폭이 좁은 강한 흡수와 동시에 각각 청색, 녹색, 적색 영역에서 신폭이 좁은 강한 발광이 있는 이상적인 형광체가 필요하다. 그러나 이와 같이 신폭이 좁은 무기 형광체는 거의 존재하지 않는다. 비록 본 연구에서는 형광체의 반복되는 흡수에 의한 백색 발광 세기는 감소하지만 백색 발광 다이오드의 발광 특성을 연구하는데는 큰 지장이 없다. 따라서 $\text{BaMg}_2\text{Al}_6\text{O}_7\text{:Eu}$, $\text{SrGa}_2\text{S}_4\text{:Eu}$ 와 ZnCdS:Ag,Cl 형광체를 각각 405 nm의 여기에 의한 청색, 녹색, 적색 발광을 하는 형광체로 사용하였다.

Fig. 3은 각각 $\text{BaMg}_2\text{Al}_6\text{O}_7\text{:Eu}$, $\text{SrGa}_2\text{S}_4\text{:Eu}$ 와 ZnCdS:Ag,Cl 형광체를 보라색 발광 다이오드의 렌즈 표면에 코팅하여 얻은 두 개의 파장이 발광되는 다이오드의 스펙트럼과 $\text{BaMg}_2\text{Al}_6\text{O}_7\text{:Eu}$, $\text{SrGa}_2\text{S}_4\text{:Eu}$, ZnCdS:Ag,Cl 형광체를 모두 적절하게 혼합한 것을 보라색 발광 다이오드의 렌즈 표면에 코팅하여 얻은 백색 발광 다이오드의 스펙트럼이다. Fig. 3(A)는 보라색 발광 다이오드의 렌즈 표면에 $\text{BaMg}_2\text{Al}_6\text{O}_7\text{:Eu}$ 형광체를 코팅하여 얻은 발광 스펙트럼이다. 형광체가 코팅되지 않은 경우는 보라색 발광 다이오드의 발광 스펙트럼과 동일하다. 즉, 405 nm에서만 봉우리가 있다. 보라색 발광 다이오드의 렌즈 부분에 $\text{BaMg}_2\text{Al}_6\text{O}_7\text{:Eu}$ 형광체가 코팅됨에 따라서 보라색광의 일부를 $\text{BaMg}_2\text{Al}_6\text{O}_7\text{:Eu}$ 형광체가 흡수하여 청색을 발광하기 때문에, 405 nm에서의 발광 세기는 감소됨과 동시에 455 nm에서의 새로운 봉우리가

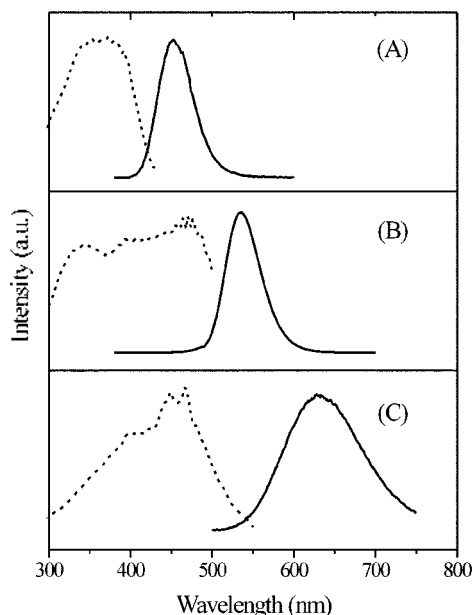


Fig. 2. Excitation and emission spectra of (A) $\text{BaMg}_2\text{Al}_6\text{O}_7\text{:Eu}$, (B) $\text{SrGa}_2\text{S}_4\text{:Eu}$, and (C) ZnCdS:Ag,Cl phosphors.

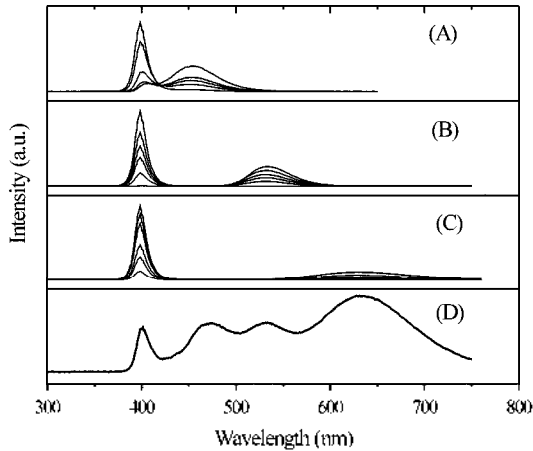


Fig. 3. The photoluminescence spectra of (A) violet and blue emitting LEDs, (B) violet and green emitting LEDs, and (C) violet and red emitting LEDs, where $BaMg_2Al_{16}O_{27}:Eu$, $SrGa_2S_4:Eu$, and $ZnCdS:Ag,Cl$ phosphors film are coated onto the outer sphere of a violet LED, respectively. (D) The photoluminescence spectra of four-band white LED.

나오게 된다. $BaMg_2Al_{16}O_{27}:Eu$ 형광체의 양이 증가함에 따라서 405 nm의 봉우리의 크기는 감소됨과 동시에 455 nm에서의 봉우리의 크기는 증가함을 확인하였다. 이것은 일종의 Beer-Lambert 법칙과 같은 원리이다. Fig. 3(A)은 두 개의 봉우리의 면적의 합이 일정하게 되도록 표준화시킨 것이다. 405 nm에서 생기는 봉우리는 보라색 발광 다이오드에서 직접 발생하는 것이므로 봉우리의 선포이 좁다. 이에 반하여 455 nm에서 나오는 봉우리는 형광체의 발광 스펙트럼과 같으므로 상대적으로 봉우리의 선포이 넓다. 따라서 $BaMg_2Al_{16}O_{27}:Eu$ 형광체의 양이 증가할수록 405 nm의 봉우리 크기가 감소하는 정도에 비해서 상대적으로 455 nm에서 봉우리의 크기가 증가하는 정도가 작아 보인다.

비찬가지로 Fig. 3(B)와 3(C)는 보라색 발광 다이오드의 렌즈 표면에 각각 $SrGa_2S_4:Eu$ 와 $ZnCdS:Ag,Cl$ 형광체를 코팅한 것이다. 이 경우도 $SrGa_2S_4:Eu$ 와 $ZnCdS:Ag,Cl$ 형광체를 코팅됨에 따라서 535 nm와 620 nm에서 새로운 봉우리가 생기고, 형광체의 양이 증가함에 따라서 405 nm의 봉우리의 크기는 감소됨과 동시에 535 nm와 620 nm에서의 봉우리의 크기는 증가함을 확인하였다. 특히, 적색 형광체인 $ZnCdS:Ag,Cl$ 의 발광 스펙트럼의 선포이 매우 넓으므로 Fig. 3(C)에서는 405 nm의 봉우리 크기가 감소하는 것에 비해서 상대적으로 620

nm에서 봉우리의 크기가 증가하는 정도가 매우 작아 보인다. 그러나 실제로 형광체의 양을 조절하여 405 nm 봉우리의 크기와 620 nm의 봉우리의 크기를 임의적으로 조절하는 것은 어려운 일이 아니다. Fig. 3(D)는 보라색 발광 다이오드의 렌즈 표면에 $BaMg_2Al_{16}O_{27}:Eu$, $SrGa_2S_4:Eu$ 와 $ZnCdS:Ag,Cl$ 형광체 양을 각각 적절히 조절하여 만든 필름을 코팅하여 얻은 백색 발광 스펙트럼이다. Fig. 3(D)에서 확인할 수 있듯이 405 nm, 455 nm, 535 nm, 그리고 620 nm의 4개의 봉우리가 있다. 이것은 각각 보라색 발광 다이오드의 발광 파장과 $BaMg_2Al_{16}O_{27}:Eu$, $SrGa_2S_4:Eu$ 와 $ZnCdS:Ag,Cl$ 형광체의 각각의 발광 스펙트럼에 해당된다. 따라서 이들의 봉우리의 세기를 조절하면 가시광선의 모든 색상을 얻을 수 있게 된다. 뿐만 아니라, 4개의 봉우리의 세기를 조절하면 Fig. 3(D)과 같이 백색광을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 4는 Fig. 3의 발광 스펙트럼을 색좌표로 나타내었다. 보라색 발광 다이오드에 코팅된 $BaMg_2Al_{16}O_{27}:Eu$ 형광체 양이 증가할수록 405 nm에서의 발광 세기는 감소됨과 동시에 455 nm의 발광 세기가 증가하였다. 형광체를 사용하지 않은 원래의 보라색 발광 다이오드의 발광 스펙트럼의 색좌표는 $x=0.17$, $y=0.01$ 이다. Fig. 4(A)에서 코팅된 $BaMg_2Al_{16}O_{27}:Eu$ 형광체 양이 증가할수록 색좌표는 $x=0.14$, $y=0.08$ 으로 이동됨을 알 수 있다. 따라서 색좌표가 보라색 영역에서 청색 영역에 해당되는 위치로 이동됨을 알 수 있다. 마찬가지로 Fig. 4(B)와 4(C)에서는 각각 코팅된 $SrGa_2S_4:Eu$ 와 $ZnCdS:Ag,Cl$ 형광체 양이 증가할수록 색좌표는 각각 $x=0.28$, $y=0.68$ 와

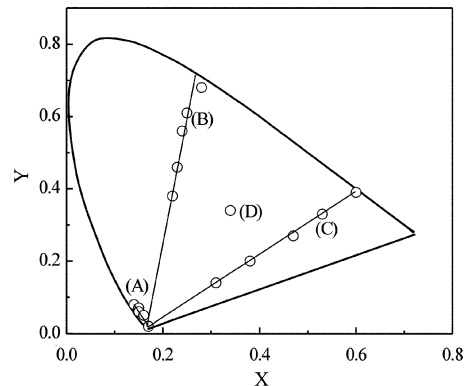


Fig. 4. The CIE chromaticity coordinates of (A) violet and blue emitting LEDs, (B) violet and green emitting LEDs, (C) violet and red emitting LEDs, and (D) four-band white LED.

$x=0.61$, $y=0.39$ 방향으로 이동된다. 보라색 발광 다이오드에 코팅된 각각의 $\text{SrGa}_2\text{S}_4:\text{Eu}$, $\text{ZnCdS}:\text{Ag,Cl}$ 형광체의 양이 증가할수록 보라색에 해당되는 색좌표의 위치에서 녹색과 적색에 해당되는 색좌표로 각각 이동하게 된다. Fig. 3(D)에서 보라색 발광 다이오드에 $\text{BaMg}_2\text{Al}_4\text{O}_7:\text{Eu}$, $\text{SrGa}_2\text{S}_4:\text{Eu}$, $\text{ZnCdS}:\text{Ag,Cl}$ 형광체를 함께 코팅하면 405 nm, 455 nm, 535 nm, 그리고 620 nm의 4개의 발광 봉우리를 얻을 수 있음을 확인했다. Fig. 4(D)는 Fig. 3(D)의 발광 스펙트럼의 색좌표이다. 이때 색좌표는 $x=0.34$, $y=0.34$ 이므로 백색에 해당되며, 색온도는 5190 °C이다.

현재 상용화 되고 있는 백색 발광 다이오드는 470 nm(또는 450 nm)의 청색 발광 다이오드에 YAG:Ce 형광체를 도핑하여 백색광을 얻는 방법을 이용한다. 이것은 발광 다이오드의 청색과 형광체에서 나오는 노랑색이 조합되어서 우리 육안으로 백색이 보이게 되는 것이다. Fig. 5(A): 470 nm의 청색 발광 다이오드에 도핑된 YAG:Ce 형광체의 양에 따라서 변하는 발광 스펙트럼의 색좌표를 나타내었다. 색좌표는 청색 위치와 노랑색의 위치의 일직선 상에 있음을 알 수 있다. 그리고 일직선 중에 $x=0.31$, $y=0.31$ 에 해당되는 백색광을 얻을 수 있다. 470 nm의 청색 발광 다이오드에 YAG:Ce 형광체를 도핑하여 백색광을 얻는 방법은 일종의 두가지 색을 조합하여 백색을 얻는 경우이다. 이와 같은 방법으로 만들어진 백색 발광 다이오드를 단순한 백색 광원으로 사용할 경우에는 문제가 없다. 그러나, 핸드폰의 백라이트 광원으로 사용되어서 가시광선의 모든 색의 재현이 불가능하며, 특히 적색영역이 깨끗하게 얻을 수 없게 된다. 또 다른 어려움 점은 색온도가 다른 백색광을 얻고자 한다면 $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}$ 형광체에 Gd과 Ga을 일부 치환시킨 $(\text{Y}_{1-x}\text{Gd}_x)_3(\text{Al}_{1-y}\text{Ga}_y)_5\text{O}_{12}:\text{Ce}$ 새로운 조성의 형광체를 사용해야만 한다. 따라서 서로 다른 색온도의 백색광을 위한 여러 조성의 형광체를 합성해야 하는 단점이 있다.

이러한 단점을 보완하기 위한 삼파장 백색 발광 다이오드에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.^{8,10-12} 대부분의 삼파장 백색 발광 다이오드는 470 nm의 청색 발광 다이오드에 녹색과 적색 형광체를 도핑시켜서 얻는 경우이다. 이 경우는 청색, 녹색, 적색이 혼합되므로 색좌표로 표현하면 Fig. 5(B)와 같이 된다. 즉 청색, 녹색, 적색에 해당되는 색좌표의 위치를 이어서 만든 삼각형이 된다. 이 경우에는 청색광, 녹색광, 적색광들의 세기

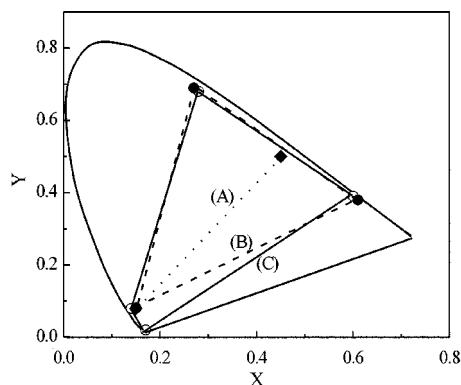


Fig. 5. The CIE chromaticity coordinates for (A) blue LED with $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}$ phosphor for two-band white LED, (B) blue LED with $\text{SrGa}_2\text{S}_4:\text{Eu}$ and $\text{ZnCdS}:\text{Ag,Cl}$ phosphors for three-band white LED, and (C) violet LED with $\text{BaMg}_2\text{Al}_4\text{O}_7:\text{Eu}$, $\text{SrGa}_2\text{S}_4:\text{Eu}$, $\text{ZnCdS}:\text{Ag,Cl}$ phosphors for four-band white LED.

를 조절하여 백색광을 얻을 수 있다. 또한 새로운 조성의 형광체를 합성할 필요가 없이 녹색 형광체와 적색 형광체 양을 적절하게 조절하여 서로 다른 색온도의 백색광도 쉽게 얻을 수 있다. 이에 반하여 본 연구에서는 보라색, 청색, 녹색, 적색의 사파장을 이용하여 백색을 얻었다. 보라색, 청색, 녹색, 적색의 사파장을 색좌표 그림으로 나타내면 Fig. 5(C)와 같이 된다. 색좌표 그림에서 사파장 백색 발광 다이오드는 더 넓은 색좌표를 포함하고 있으므로 삼파장 백색 발광 다이오드보다 좋은 백색광을 얻을 수 있다. 따라서 향후 고휘도의 보라색 발광 다이오드가 상용화 되면 본 연구 결과를 이용하여 사파장 백색 발광 다이오드를 제작 가능하게 될 것이다.

결론

보라색 발광 다이오드에 의해서 여기되어 청색, 녹색, 적색을 발광하는 형광체로 각각 $\text{BaMg}_2\text{Al}_4\text{O}_7:\text{Eu}$, $\text{SrGa}_2\text{S}_4:\text{Eu}$, $\text{ZnCdS}:\text{Ag,Cl}$ 형광체를 선택하였다. 형광체에 의해서 완전히 흡수되지 않은 보라색 발광과 형광체에서 나오는 청색, 녹색, 적색 발광을 합쳐서 사파장의 백색광을 얻었다. 사파장 백색 발광 다이오드보다 기존의 백색 발광 다이오드보다 광 특성이 더 좋은 백색을 얻을 수 있음을 확인하였다.

이 연구는 2003학년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 이루어졌음.

인용 문헌

1. Nakamura, S.; Senob, M.; Iwasa, N.; Nagahama, S.; Yamada, T.; Mukai, T. *Jpn. J. Appl. Phys.* **1995**, *34*, I,1332.
2. Nakamura, S.; Senob, M.; Iwasa, N.; Nagahama, S. *Appl. Phys. Lett.* **1995**, *67*, 1868.
3. Nakamura, S.; Mukai, T.; Senob, M. *Appl. Phys. Lett.* **1994**, *64*, 1687.
4. Shimizu, Y.; Sakano, K.; Noguchi, Y.; Moriguchi, T. *U.S. Pat.* **1997**, 5,998,925.
5. Tamura, T.; Setomo, T.; Taguchi, T. *J. Lumin.* **2000**, *87*, 1180.
6. Yum, J. H.; Seo, S. Y.; Lee, S.; Sung, Y. E. *J. Electrochem. Soc.* **2003**, *150*, H47.
7. Huh, Y. D.; Cho, Y. S.; Do, Y. R. *Bull. Kor. Chem. Soc.* **2002**, *23*, 1435.
8. Huh, Y. D.; Shim, J. H.; Kim, Y.; Do, Y. R. *J. Electrochem. Soc.* **2003**, *150*, H157.
9. Huh, Y. D.; Shim, J. H.; Do, Y. R. *J. Kor. Chem. Soc.* **2002**, *46*, 164.
10. Schlotter, P.; Schmidt, R.; Schneider, J. *Appl. Phys.* **1997**, *A64*, 417.
11. Sato, Y.; Takahashi, N.; Sato, S. *Jpn. J. Appl. Phys.* **1996**, *35*, L838.
12. Sato, Y.; Takahashi, N.; Sato, S. *Jpn. J. Appl. Phys.* **1998**, *37*, L129.