

발광형 교통안전표지용 청색 OLED의 특성분석에 관한 연구

A Study on the Characteristic Analysis of Blue OLED for the Luminous Traffic Safety Mark

강명구* 김중연** 오환술***
(Myung-Goo Kang) (Jung-Yeoun Kim) (Hwan-Sool Oh)

요 약

발광형 교통안전표지는 안개가 잦은 곳, 야간 교통사고가 많이 발생하거나 발생가능성이 높은 곳, 도로의 구조로 인하여 가시거리가 충분히 확보되지 않은 곳 등과 같은 장소에서 제한적으로 사용하도록 규정 되었다. 현재 발광형 교통안전표지는 LED가 사용되고 있으나, 향후 새로운 교통안전표지용으로 유기발광다이오드를 제안하였다. 소자의 구조는 ITO/2-TNATA(500 Å)/α-NPD(200 Å)/DPVBi(300 Å)/BCP(10 Å)/Alq3(200 Å)/LiF(10 Å)/Al:Li(1000 Å)로 하였다. 인가전압 10 V에서 전류밀도는 240.71mA/cm², 휘도는 10,550cd/m², 발광효율은 3.53cd/A이었다. N₂ 가스가 주입된 플라즈마로 전처리한 ITO 표면을 갖는 소자가 플라즈마 전처리되지 않은 ITO 표면을 갖는 소자보다 특성이 향상되었다. EL 스펙트럼의 최대 발광 파장은 456nm이었고 색좌표값은 x=0.1449, y=0.1633으로 NTSC 색좌표 Deep blue 영역(x=0.14, y=0.08)에 근접한 순수한 청색에 가까운 값을 얻었다.

Abstract

Luminous traffic safety mark is restricted to use only the place that has a thick fog, many night traffic accidents, limited field of view due to structure of road. Recently, LEDs are used for luminous traffic safety mark, but we propose an organic LED for a novel luminous traffic safety mark in the near future. The device structure was ITO/2-TNATA(500 Å)/α-NPD(200 Å)/DPVBi(300 Å)/BCP(10 Å)/Alq3(200 Å)/LiF(10 Å)/Al:Li(1000 Å). The characteristics of the device are most efficient on occasion of using N₂ gas plasma treatment. Current density is 240.71mA/cm², luminance 10,550cd/m², and current efficiency 3.53cd/A at an applied voltage of 10V. The maximum EL wavelength of the fabricated blue organic light-emitting device is 456nm. CIE color coordinates are x=0.1449 and y=0.1633, which is similar to NTSC deep-blue color with CIE color coordinates of x=0.14 and y=0.08.

Key Words : Traffic safety mark, Blue OLED, CIE, ITO, Traffic accident

* 주저자 : 극동정보대학 정보통신과 교수
** 공저자 : 건국대학교 전자공학과 공학박사
*** 공저자 : 건국대학교 전자공학과 교수 (교신저자)
논문접수일 : 2007년 4월 30일

I. 서 론

경찰청은 발광형 교통안전표지에 대한 표준지침을 2005년 발표하였다. 그러나 발광형 교통안전표지의 설치에 기술상 및 예산상의 문제로 인하여 많이 사용되지 않고 있다. 지금까지의 교통안전표지는 반사지를 이용한 비발광형 교통안전표지였다. 이로 인한 야간의 가시성 문제는 야간 교통사고 시 피해를 크게 만드는 요인이 되어, 발광형 교통안전표지의 필요성이 대두되고 있다. 교통안전표지의 조명방식에는 내부와 외부 조명방식으로 구분된다. 본 논문에서 주목하는 부분은 내부 조명방식의 발광형 교통안전표지이다.

발광형 교통안전표지는 시인성(Visibility)이 좋아야 하며, 휘도, 조도, 광원의 균일성 및 색도가 좋아야 한다. 현재 LED (Luminescent Diode)와 광섬유를 이용한 모델들이 사용되고 있다. 그러나 LED와 광섬유를 이용한 모델들은 LDP(LDM Display Panel) 형식으로 LDM(LED Dot Matrix) 등의 점발광소자를 광원으로 이용하고 있다. 이런 점발광소자의 단점은 FLD(Flat Luminescence Device) 등의 면발광 소자에 비해 광원의 균일성이 떨어진다는 단점이 있다. 실제로 이러한 단점 때문에 LED와 광섬유로 만들어진 모델의 경우 교통안전표지의 내용을 선과 점으로만 표현할 수 있어 시인성을 더욱 향상시킬 수 있는 연구가 필요하다.

FLD 방식의 광원으로는 무기 EL(Electroluminescence)과 OLED(Organic Light Emitting Diodes)가 대표적이며 현재 차세대 디스플레이라 불리며 활발한 연구가 진행되고 있다. 이 중 무기 EL의 경우 OLED에 비해 휘도가 낮고 다양한 색 구현이 힘들다는 단점이 있고, OLED는 무기 EL에 비해 수명이 짧다는 단점이 있으나 현재 활발한 연구로 빠르게 개선이 되고 있다.

유기발광소자는 유리기판 위에 투명전극인 ITO로부터 공급된 정공이 정공 수송층을 통해 발광물질에 공급되고 음극으로부터는 전자가 전자 수송층을 통해 발광물질로 공급되어 발광물질 내에서 주입된 정

공과 전자들이 재결합하여 발광물질의 고유파장에 해당하는 빛을 발하게 되며, 발광층에 색소를 도포하여 다양한 발광색을 구현할 수 있다[1-4].

양극재료로 사용되는 ITO는 LCD 산업에서 일반적으로 쓰이고 있는 재료이며 550 nm에서 90 % 이상 높은 투과율을 가지고 있다. 낮은 저항과 패터닝 공정성이 용이한 장점을 가지고 있으며 높은 일함수를 가지고 있다. ITO는 In_2O_3 와 SnO_2 가 90 % 대 10 %의 비율로 이루어져 있다. 이로 인해 ITO의 일함수는 4.7eV에서 5.1eV까지 표면처리에 의해 변화가 가능하다[5,6]. 또한 표면처리에 의해 소자의 장수명화를 이루었다는 보고도 있다[7]. 유기물/금속 계면에서 정공 주입을 증가시키기 위해서는 ITO의 일함수가 유기물이 HOMO(Highest Occupied Molecular Orbital) 레벨보다 클수록 좋다. 플라즈마 처리에 의해서 일함수가 변하게 되고 일함수의 변화에 따라 전기적인 특성도 변하게 된다.

본 논문에서는 ITO 박막에 질소(N_2) 가스를 주입한 RF 플라즈마로 전처리하여 양극전극과 정공 주입층 간의 에너지 장벽을 낮추어 정공 주입을 원활하게 하여 유기발광소자의 발광효율을 높였다. 본 실험에서 연구한 청색유기발광소자의 구조는 양극전극으로는 ITO 박막 위에 정공 주입층으로는 2-TNATA, 정공 수송층으로는 α -NPD, 발광층으로는 DPVBi, 정공 저지층으로는 BCP, 전자 수송층으로는 Bebq_2 , 전자 주입층으로는 LiF, 음극전극으로는 Al을 사용하여, 청색 유기발광소자를 진공증착법으로 제작하였다[8-10]. 그리고 양극전극으로 질소 플라즈마로 전처리한 ITO와 전처리되지 않은 ITO를 사용한 소자의 특성을 비교하였다.

II. 본 론

발광형 교통안전표지는 안개가 잦은 곳, 야간 교통사고가 많이 발생하거나 발생가능성이 높은 곳, 도로의 구조로 인하여 가시거리가 충분히 확보되지 않은 곳 등과 같은 장소에서 제한적으로 사용하도록 규정 되어 있다[11]. 발광형 교통안전표지는 주의표

<표 1> 발광형 교통안전표지의 종류
 <Table 1> A kind of luminous traffic safety mark

구분	종류
주의 표지	좌로 굽은도로, 우로 굽은도로 등
규제 표지	최고 속도제한 등

지와 규제표지로 구분하며, 그 종류는 <표 1>과 같다.

발광형 교통안전표지의 효과를 알아보기 위해서는 야간 및 안개, 비 등의 시계에 제한을 받는 상황에서 사고 내역을 알아볼 필요가 있다.

첫째, 2005년 주야별 사고 통계내역(인피사고)을 <표 2>에 나타내었다[12]. <표 2>에서처럼 전체사고의 61.0%인 30,250건이 주간에 발생하여 야간의 39.0%인 19,376건 보다 1.5배가 많이 발생하였으나, 치사율의 경우 주간이 3.6인데 비해 야간이 7.5로써 주간 사고에 비해 야간 사고 시 치사율이 2배가 높은 것으로 나타났다.

둘째, 발광형 교통안전표지를 먼저 도입한 다른 나라들과의 주야별 교통사고 통계내역을 <표 3>에 나타내었다[13]. 국가별로 보면 우리나라의 경우 야간 시간대의 사고 구성비가 다른 나라에 비해 높은 것으로 나타났다. 사고 건수는 일본에 비해 낮았지만, 야간 사고 구성비를 비교하면 우리나라가 48.2%인데 반해 일본은 28.2%, 프랑스 35.4%, 노르웨이 33.5%로 나타났으며, 우리나라는 일본에 비해 약 2배의 높은 것으로 나타났다.

<표 2> 2005년 주야별 교통사고
 <Table 2> A statistical table of traffic accident at day and night

구분	발생건수		사망자			부상자	
	(건)	구성비	(명)	구성비	치사율	(명)	구성비
계	49,626	100	2,543	100	5.1	50,247	100
주간	30,250	61.0	1,095	43.1	3.6	30,821	61.3
야간	19,376	39.0	1,448	56.9	7.5	19,426	38.7

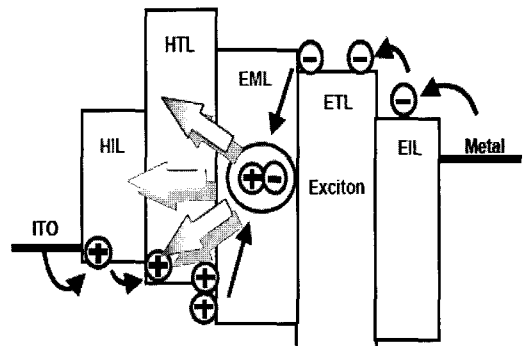
<표 3> 2003년 국가별 교통사고 발생건수
 <Table 3> A statistical table of regional traffic accident

국가	대한민국		일본		프랑스		노르웨이	
	(건)	(%)	(건)	(%)	(건)	(%)	(건)	(%)
계	240,832	100	947,993	100	90,220	100	8,034	100
주간	124,728	51.8	680,302	71.8	58,321	64.6	5,343	66.5
야간	116,107	48.2	267,691	28.2	31,899	35.4	2,691	33.5

교통사고 통계를 통해 알아본 바와 같이 사고건수는 주간이 많지만, 치사율은 야간이 더 높은 것을 알 수 있었다. 또한, 국가별 교통사고 발생 건수를 비교하면 발광형 교통안전표지를 사용하는 일본과 유럽 국가에 비해 야간 교통사고 비율이 높은 것을 알 수 있다. 이러한 이유로 고효율의 발광형 교통안전표지의 필요성이 대두되는 것이다.

OLED는 유기물 박막에 음극과 양극을 통하여 주입된 전자(Electronic)와 정공(Hole)이 유기 물질 안에서 재결합(Recombination)하여 여기자(Exciton)를 형성하고, 형성된 여기자로부터의 에너지에 의해 특정 파장의 빛이 발생하는 현상을 이용한다. <그림 1>에 유기발광소자의 발광 메커니즘을 나타내었다.

본 논문에서 OLED에 주목한 것은 OLED만의 장점에서 비롯한다. 가장 두드러진 특징은 자체 발광형이라는 것이다. 소스 자체가 스스로 빛을 내기 때



<그림 1> OLED 발광 메커니즘
 <Fig. 1> Emission mechanism of OLED

문에 어두운 곳이나 외부의 빛이 들어 올 때도 시인성이 좋다. 또한 다른 면발광 소자에 비해서 저 소비전력과 초박형이 가능하다. 뿐만 아니라 시야각, 대비 등이 우수하다. 그리고 구조적인 특성상 유연성 있는 기판을 사용할 수 있고, 얇고 가벼우며 내구성이 강하며, 제조공정이 상대적으로 간단하고 저렴한 양산이 쉽다는 장점도 가지고 있다.

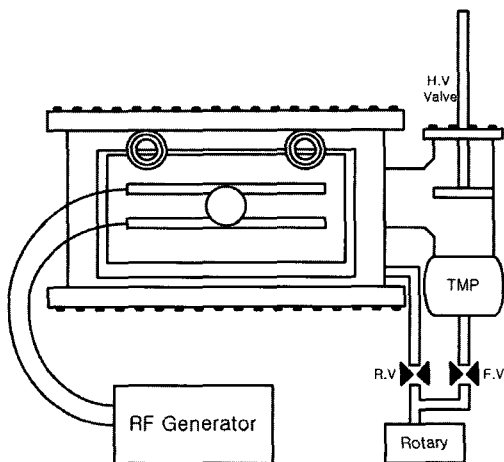
III. 실험

1. ITO 박막의 RF 플라즈마 전처리 공정

실험에 사용된 양극기판 ITO의 두께는 $1000 \text{ \AA} \pm 10\%$ 이며, 면저항(Sheet resistance)은 $14 \Omega/\text{square}$ 인 한화종합화학(주) 제품을 사용하였으며, 면저항 측정은 MM200W인 4 탐침법(Four point probe) 장비를 사용하였다.

플라즈마 처리를 하기 전에 ITO 패턴 형성 및 식각을 위하여 ITO 유리기판의 크기를 $2.5\text{cm} \times 2.5\text{cm}$ 절단하여 사용하였으며 양극으로 사용되는 ITO 패턴의 크기는 $9\text{mm} \times 18\text{mm}$ 으로 일정한 패턴에 따라 식각하였다.

세척된 ITO 박막의 표면처리를 위한 RF 플라즈마 처리공정을 수행하기 위하여 <그림 2>와 같이



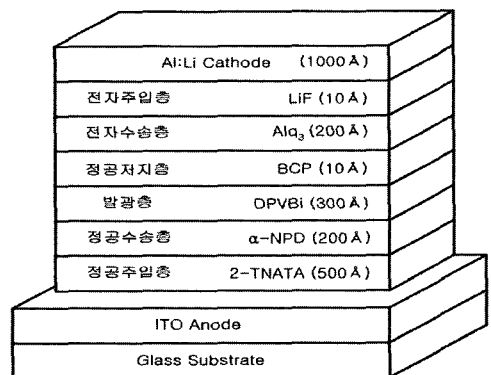
<그림 2> 플라즈마 챔버 구성도

<Fig. 2> Block diagram of plasma chamber

진공증착기의 로딩 챔버(Loading chamber)에 극판을 설치하고 외부에 RF 제너레이터 및 매칭 박스를 설치하여 플라즈마 챔버를 구성하였다. 로딩 챔버 내에 양극과 음극 기판이 있어 처리할 유리기판을 양 전극 사이에 넣고 진공을 잡은 후 $5 \times 10^{-7} \text{ Torr}$ 고진공으로 진공을 유지하여 챔버 내부에 있는 다양한 종류의 기체를 제거한 후 플라즈마 처리를 하였다.

2. 청색 유기발광소자 제작

양극전극으로 질소 플라즈마로 전처리한 ITO와 전처리되지 않은 ITO 박막 위에 정공 주입층으로는 소자의 작동시 줄(Joule) 열손실에 의한 소자열화 및 수명감소를 방지할 수 있도록 높은 온도에서도 변화가 적은 유리전이온도(T_g)가 112.4°C 인 2-TNATA를 사용하였고, 정공 수송층으로는 낮은 이온화에너지를 가지는 α -NPD를 사용하여 ITO와 유기물층과의 에너지 준위차를 감소시켰으며, 발광층으로는 청색 발광 유기물인 DPVBi를 사용하였다. 정공 저지층으로는 이온화포텐셜이 충분히 크고 전자친화도가 발광층 및 전자 전송층과 비슷한 BCP를 사용하였고, 전자 수송층으로는 발광층 안으로 전자의 주입을 원활히 하기 위하여 높은 전자 친화도를 갖는 Alq_3 를 사용하였다. 전자 주입층으로 LiF 를 10 \AA 정도 매우 얇게 증착한 후에 음극전극으로는 낮은 일함수를 갖고 있는 Al을 사용하였다.



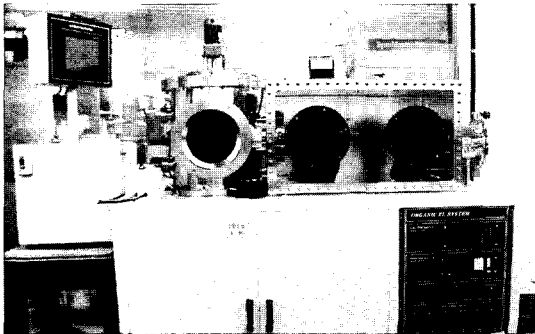
<그림 3> 청색 유기발광소자의 구조

<Fig. 3> Structure of blue OLEDs

제작을 위해 설계된 청색 유기발광소자의 구조는 ITO/2-TNATA(500 Å)/α-NPD(200 Å)/DPVBi(300 Å)/BCP(10 Å)/Alq₃(200 Å)/LiF(10 Å)/Al:Li(1000 Å)이다. <그림 3>에 소자의 구조를 나타내었다.

일반적으로 유기발광소자의 제작을 위하여 열증착 원리를 이용한 진공증착기 (Evaporator)를 사용한다. 유기물 진공증착에 사용한 유기 EL 시스템은 단분자 유기물질을 진공상태에서 열을 가해 증발 시키거나 승화시켜 원하는 시료에 박막을 형성시키는 장비이다. 본 실험에서는 유기물과 금속 사이의 오염문제 때문에 유기물 증착에 사용하는 유기 EL 시스템과 금속 증착에 사용하는 진공증착기를 따로 사용하여 청색 유기발광소자를 제작하였다.

유기박막의 증착은 10⁻⁶ Torr의 고진공 상태에서 다단계 진공증착 방식을 이용하여 기판의 표면에 순차적으로 형성하였다. 증착되는 유기박막의 두께는 매우 얇아서 일반적인 두께 측정 장치로는 그 오차가 매우 크기 때문에 측정이 불가능하다. 따라서 유기박막의 두께 제어를 위해서는 분해능(Resolution)이 뛰어난 센서 시스템이 필요하다. 본 실험의 유기박막 두께 측정 장비로는 금(Au)이 코팅된 6MHz 크리스탈 센서가 장착되어 0.01 Å의 분해능을 갖는 INFICON 社의 XTM/2 Thickness Monitoring 시스템을 사용하였다. 증착하는 유기물의 두께를 균일하게 하기 위하여 본 장비에는 시편 회전모터가 장착되어 있어 시편을 최대 15RPM까지 회전시켜 준다. <그림 4>는 유기 박막 증착에 사용된 유기 EL



<그림 4> 유기 EL 시스템 사진
<Fig 4> Photograph of organic EL system

시스템 사진을 보여주고 있다.

IV. 측정 및 고찰

제작된 청색 유기발광소자의 전류-전압-광출력(I-V-L) 특성은 Newport optical powermeter 1830-C Keithley 2400 Sourcemeter로 구성된 시스템을 이용하여 측정하였고, EL 스펙트럼과 색좌표는 Minolta 社의 CS-1000 Spectroradiometer를 이용하여 측정하였다.

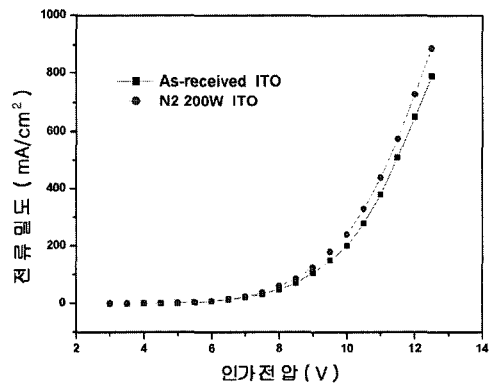
Type I 소자는 플라즈마 전처리되지 않은 ITO 표면을 가지는 소자이고, Type II 소자는 N₂ 가스가 주입된 플라즈마로 전처리한 ITO 표면을 가지는 소자로 되어있다.

<표 4>는 Type I 소자와 Type II 소자의 특성을 나타낸 것이며 평가에 사용된 인가전압은 10V로 하였다.

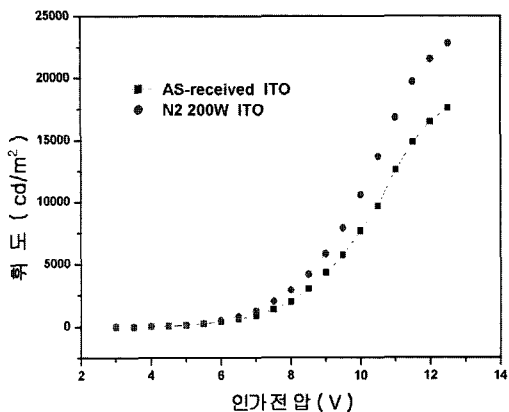
<그림 5>에서 Type I 소자의 전류밀도는 200.27

<표 4> Blue OLED 소자의 특성
<Table 4> Characteristics of blue OLEDs

소자 구분	전류밀도 (mA/cm ²)	휘도 (cd/m ²)	발광효율 (cd/A)
I As-received ITO	200.27	7,650	2.83
II N ₂ 200W ITO	240.71	10,550	3.53

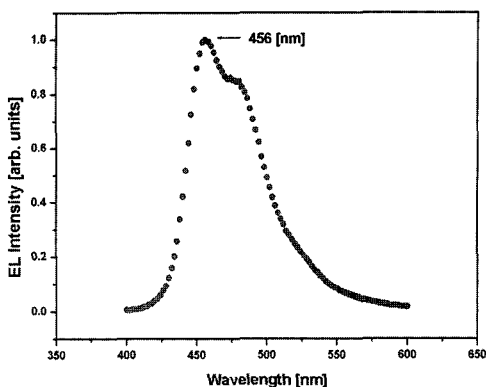


<그림 5> 소자의 전류밀도
<Fig. 5> Current density of blue OLEDs



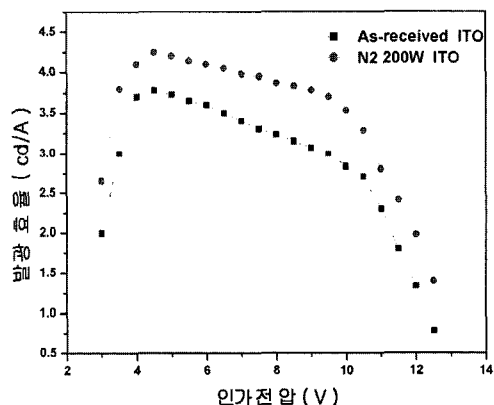
<그림 6> 소자의 휘도

<Fig. 6> Brightness of blue OLEDs



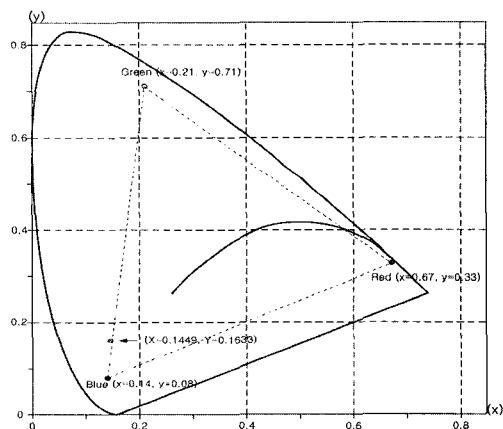
<그림 8> 소자의 EL 스펙트럼

<Fig. 8> EL spectra of blue OLEDs



<그림 7> 소자의 발광효율

<Fig. 7> Current efficiency of blue OLEDs



<그림 9> 소자의 색좌표

<Fig. 9> CIE coordinates of blue OLEDs

mA/cm²이고, Type II 소자의 전류밀도는 240.71 mA/cm²로 Type I 소자보다 20% 증가되었다.

<그림 6>에서 Type I 소자의 휘도는 7,650cd/m²이고 Type II 소자의 휘도는 10,550cd/m²로 Type I 소자보다 38% 증가하였다. <그림 7>에서 Type I 소자의 발광효율은 2.83cd/A이고 Type II 소자의 발광효율은 3.53cd/A로 Type I 소자보다 25% 증가하였다.

ITO 표면 처리는 질소 가스에서 플라즈마 출력은 200W, 가스압력은 120mTorr에서 실험하였고, 플라즈마 전처리된 ITO를 가지는 소자에서 전류밀도, 휘도, 발광효율 등이 높게 나타났다. 이는 양극전극과

정공 주입층 간의 에너지 장벽을 낮추어 정공 주입을 원활하게 하여 유기발광소자의 특성이 향상됨을 의미한다.

<그림 8>에서 소자의 최대 발광파장은 456nm로 나타났으며, <그림 9>는 소자의 색좌표를 나타낸 것으로 소자의 색좌표 값은 x=0.1449, y=0.1633으로 NTSC 삼각좌표 Deep Blue 영역(x=0.14, y=0.08)에 가깝게 위치하여 청색 발광을 하고 있음을 알 수 있다.

V. 결 론

발광형 교통안전표지는 안개가 잦은 곳, 야간 교

통사고가 많이 발생하거나 발생가능성이 높은 곳, 도로의 구조로 인하여 가시거리가 충분히 확보되지 않은 곳 등과 같은 장소에서 제한적으로 사용하도록 규정 되어있으며, 도로교통 안전에 큰 역할을 하고 있다.

현재는 LED와 광섬유를 이용한 발광형 교통안전표지로, 태양전지를 이용하여 별도의 전원 연결 없이 사용되고 있다. 이러한 발광형 교통안전표지의 효율을 향상시키기 위해 유기 발광소자를 제안하였다. 유기 발광소자는 저 전력 구동이 가능해 현재 사용되는 발광형 교통안전표지의 전원 시스템에 적용하기에도 쉽다.

본 연구에서는 플라즈마 전처리되지 않은 ITO 표면을 가지는 소자와 N₂ 가스가 주입된 플라즈마로 전처리한 ITO 표면을 가지는 청색 유기발광소자를 제작하여 소자의 특성을 분석, 비교하였다. 소자 구조는 ITO/2-TNATA/ α -NPD/DPVBi/BCP/Alq₃/LiF/Al:Li로 제작하였고, 인가전압 10V에서 N₂ 가스가 주입된 플라즈마로 전처리한 ITO 표면을 가지는 소자의 전류밀도는 240.71mA/cm², 휘도는 10,550cd/m², 발광효율은 3.53cd/A로 플라즈마 전처리되지 않은 ITO 표면을 가지는 소자보다 특성이 20~30% 향상되었다. EL 스펙트럼의 최대 발광 파장은 456nm이었고 색좌표값은 x=0.1449, y=0.1633으로 NTSC 색좌표 Deep blue 영역(x=0.014, y=0.08)에 근접한 순수한 청색에 가까운 값을 얻었다.

유기발광소자의 단점은 제작단가가 아직은 높다는 것이다. 하지만 현재 새로운 유기 발광물질이 개발되면서 디스플레이 분야에 OLED 패널이 사용되고 있다. 제작단가는 현재 연구가 활발히 진행되고 있는 Roll-to-Roll, 잉크젯 방식 등의 소자 제작 방식이 결실을 거둔다면 낮은 공정비용으로 제작이 가능하다. 이러한 이유로 향후 OLED를 사용한 상업적인 발광형 교통안전표지가 가능하리라 사료된다.

참고문헌

[1] H. Baessler and G. Vaubel, "Photoemission of

electrons from alkali-metals into anthracene," *Solid State Communications*, vol. 6, pp. 97-99, July 1968.

- [2] C. W. Tang, S. A. VanSlyke, and C. H. Chen, "Electroluminescence of doped organic thin films," *J. Appl. Phys.*, vol. 65, no. 9, pp. 3610-3616, Sept. 1989.
- [3] S. Miyata and H. S. Nalwa, *Organic Electroluminescent Materials and Devices*, pp. 31-33, 1997.
- [4] F. Pschenitzka and J. C. Sturm, "Three-color organic light-emitting diodes patterned by masked dye diffusion," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 74, pp. 13-18, July 1999.
- [5] J. S. Kim, M. Grandtrm, and R. H. Friend, "Indium-tin oxide treatments for single- and double-layer polymeric light-emitting diodes," *J. Appl. Phys.*, vol. 84, no. 12, pp. 6859-6870, Dec. 1998.
- [6] 김중연, *ITO 표면의 N₂ 플라즈마 전처리에 의한 청색 유기발광소자의 특성 분석*, 건국대학교 박사학위 논문, 2006.
- [7] J. S. Kim, F. Cacialli, R. H. Friend, R. Daik, and W. J. Feast, "Electro-luminescence lifetime and efficiency of polymer LEDs with surface-treated anodes," *Synthetic Metals*, vol. 102, pp. 1065-1066, Sept. 1999.
- [8] R. M. Montoreali, S. Gambino, S. Loreti, S. Gagliardi, A. Pace, G. Baldacchini, and F. Michelotti, "Morphological, electrical and optical properties of organic light-emitting diodes with a LiF/Al cathode and an Al-hydroxyquinoline/ diamine junction," *Synthetic Metals*, vol. 143, pp. 171-174, April 2004.
- [9] M. Ben Khalifa, D. Vaufrey, and J. Tardy, "Opposing influence of hole blocking layer and a doped transport layer on the per-

formance of heterostructure OLEDs," *Organic Electronics*, vol. 5, pp. 187-198, June 2004.

[10] Y. B. Yoon, H. W. Yang, D. C. Choo, T. W. Kim, and H. S. Oh, "Luminescence mechanisms of green and blue organic light-emitting devices utilizing hole-blocking

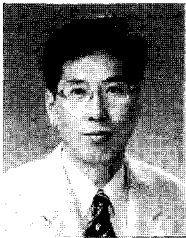
layers," *Solid State Communications*, vol. 134, pp. 367-372, month 2005.

[11] 경찰청, "발광형 교통안전표지표준지침," 2005.

[12] 경찰청, "교통사고통계," 2004~2005.

[13] 도로교통안전관리공단, "OECD 교통사고통계," 2005.

저자소개

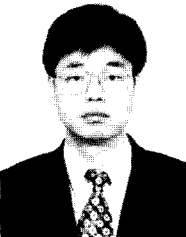


강 명 구 (Kang, Myung-Goo)

1989년 ~ 1990년 : 한국과학기술연구원 반도체물성센터 위촉연구원

1991년 ~ 1995년 : 현대전자반도체연구소

1995년 ~ 현재 : 극동정보대학 정보통신과 교수



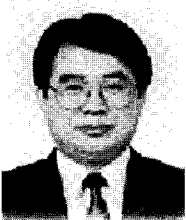
김 중 연 (Kim, Jung-Yeoun)

1988년~1993년: 나우정밀중앙연구소

1993년~1996년: 현대전자산전연구소

1999년~2000년: 동원대학 정보통신과 겸임교수

1996년~현재: SK텔레콤 근무



오 환 술 (Oh, Hwan-Sool)

1979년 ~ 현재 : 건국대학교 전자공학과 교수

1984년 ~ 1985년 : Southern Methodist Univ 방문교수

1999년 ~ 2000년 : Cornell Univ 방문교수

2004년 ~ 2004년 : 대한전자공학회 협동[운영]이사

2005년 ~ 2005년 : 한국 ITS 학회 이사

2006년 ~ 현재 : 한국 ITS학회 부회장