

교통 전광판의 성능 개선에 관한연구

A study on the improvement of the traffic display board

전현성

(건국대학교, 박사과정)

정진하

(건국대학교, 석사과정)

오환술

(건국대학교, 교수)

Key Words : OLED, traffic display board

목 차

I. 서론

1. OLED의 기본 구조 및 발광 메커니즘

II. 이론 및 제작

1. 이론

2. OLED 제작

III. 결과 및 고찰

참고 문헌

I. 서론

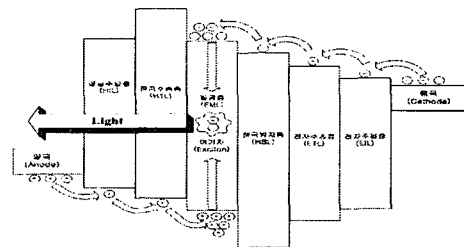
지능형 첨단교통시스템 (ITS : Intelligent Transport Systems)이란 우리의 삶을 쾌적하고 풍요하게 하는 출발점이다. ITS는 도로, 자동차, 철도, 항공, 해운 등 기존의 교통시스템에 전자, 통신, 제어 등 첨단기술을 접목시켜 신속, 저렴하고 안전한 교통 환경을 확보하고 운영의 효율화를 기한 새로운 교통시스템이다.

이러한 기술들을 복합적으로 이용 운전자나 보행자에게 교통 및 사고 다발지역 혹은 사고 지역과 같은 도로환경 정보, 또한 최적경로유도 등과 같은 서비스를 실시간 또는 보조적인 정보통용이 가능하게 되었다. 본 연구에서는 그중 최근 이슈가 되고 있는 OLED(Organic Light Emitting Diodes)소자를 이용한 옥외 전광판을 최적화하는 것이 본 연구의 목적이다.

OLED는 유기물(저분자 또는 고분자) 박막에 음극과 양극을 통하여 주입된 전자와 정공에 의해 여기자가 형성 되고, 형성된 여기자로부터 특정한 파장의 빛이 발생하는 현상으로 1987년 Kodak사의 Van Slyke와 Tang이 발광층과 전자수송층으로 각각 Alq_3 와 TPD라는 이중층 저분자 유기물 박막을 형성하여 효율과 안정성이 개선된 녹색 발광 현상을 발견한 이후로 저분자를 이용한 OLED 디스플레이를 개발하려는 노력이 본격화되었다.[1,2,3] 따라서 본 연구에서는 기존의 LED소자 방식의 옥외 교통 전광판을 OLED소자 방식으로 전환하였을 때의 장점 밝고, 고 콘트라스트, 자발광, 컬러화, 저소비전력, 박형, 경량, 고속 응답, 광 시야각 등의 장점 중에서 LED의 최대 단점인 다양한 컬러화와 저소비전력, 쉘당 밝기의 한정성, 안정성에 관하여 인가된 전압과 도핑 농도 변화 따른 결과에 관하여 언급하겠다.[4]

1. OLED(Organic Light Emitting Diodes)의 기본구조 및 발광메커니즘

유기 발광소자의 구조는 그림 1과 같은 양극과 음극 사이에 수 백 nm 정도의 얇은 유기 박막층이 있다. 양극 재료는 투과율이 높은 투명한 ITO(Indium Tin Oxide)전극을 주로 사용하고, 음극 재료로는 일함수가 낮은 금속(Al, Ca, Mg:Ag, LiF, CsF 등)을 사용한다[5]. 유기 박막층은 단일 물질로 제작할 수 있지만 일반적으로 여러 유기물질의 다층 구조를 사용한다. 즉 정공수송층(hole-transport layer; HTL)과 전자수송층(electron-transport layer; ETL)을 사용하면 정공과 전자가 발광층(emission layer; EML) 내로 효과적으로 전달될 수 있기 때문이다. 이렇게 하여 발광층에서 정공과 전자의 밀도가 균형을 이루도록 하면 발광효율을 높일 수 있다. 전자수송층의 두께를 약 수십 nm 정도로하면 재결합 영역이 음극으로부터 여기자의 확산거리(약 10~20nm) 이상으로 떨어지게 되어 여기자의 음극에 의한 소멸을 방지하여 발광 효율을 개선하는 효과도 얻을 수 있다.



<그림 1> 유기 발광 소자의 기본구조

<Fig 1> Basic structure of Organic Light emitting Diode

OLED는 무기 반도체를 사용한 pn-접합 발광소자와 달리 큰 에너지 밴드갭(E_g)을 갖는 유기 박막층을 사용하기 때문에 소자 내부에서 열평형 상태로 존재하는 전하 밀도는 아주 작고, 발광 기여하고 있는 전하는 대부분 외부 전극으로부터 주입된 것이다.

11. 이론 및 제작

1. 이론

도핑은 발광효율을 높일 뿐만 아니라 발광색의 변조나 혼색에도 이용할 수 있다. 도핑효과에 대한 많은 연구가 여전히 진행 중이다[5,6,7]. 도핑된 층은 다음과 같은 네 가지 특성으로 설명할 수 있다. ① 도핑된 층은 host에 비해 더 높은 trap 농도를 갖는다. ② 도핑된 층은 trap 분포를 변화시킨다. ③ 도핑된 층은 host의 에너지 gap 내에 분리된 trap level을 형성한다. ④ 도핑된 층은 host보다 더 빠른 재결합속도를 가진다. 이러한 특성 외의 다른 효과들을 보면 에너지 밴드, 전하의 농도와 전계에 변화를 가져오고 또한 재결합영역의 위치를 이동한다. 즉 도핑된 층에서 증가된 trap 전하는 양극과 음극 영역의 전하의 불평형을 초래하여 넘쳐난 전하를 재분배하여 재결합영역의 위치 이동을 초래한다.

그리고 발광 메커니즘에 근거해 발광 성능을 고찰하고자 한다면, EL 소자의 발광양자효율을 이용한다. 양자효율은 소자에 흐르는 전자 또는 정공 1개당 광자(photon)가 몇 개 방출되었는지 정의된다.

외부양자효율은 외부전극으로부터 주입된 전하수에 대해 소자내부에서 발생하여 최종적으로 밖으로 튀어나온 광자수의 비율이며 (1)식으로 얻을 수 있다.

$$\eta_{ext} = 100 \times \frac{N_{ph}}{N_e} [\%] \quad (1)$$

$$N_{ph} = \frac{L}{hv} = \frac{L \cdot \lambda_{max}}{h \cdot c}$$

$$N_e = \frac{I}{e}$$

$$\eta_{ext} = 100 \times \frac{L \cdot \lambda_{max} \cdot e}{h \cdot c \cdot I} [\%]$$

여기서,

η_{ext} : 외부 양자효율

N_{ph} : 광자수

N_e : 전하수

$h = 6.6 \times 10^{-34} [J \cdot s]$: 플랑크 상수

$v [Hz]$: 진동수

$c = 3 \times 10^8 [m/s]$: 광속

$e = 1.6 \times 10^{-19} [C]$: 전하량

$\lambda_{max} [nm]$: EL 최대발광파장

따라서, 외부양자효율은 측정된 전류밀도 및 광출력과 EL 스펙트럼으로부터 얻어진 EL 최대발광파장의 함수로서 광출력 값을 전류밀도 값으로 나누어서 계산되어지는 값이며 (2)식으로 나타낸다.

$$\eta_{ext} [\%] \cong \frac{L}{I} \times 0.0000008067 \times \lambda_{max} \quad (2)$$

2. OLED의 제작

1) OLED의 재료선택

(1) 정공 주입층 (HIL) 재료 및 정공 수송층 (HTL)

정공주입층은 양극인 ITO로부터 정공의 주입을 용이하게 하는데 사용된다. 정공주입재료로 사용하기 위해서는 ITO와 비슷한 이온화포텐셜(ionization potential, I_p)을 가지고 ITO와 높은 계면 접촉력과 가시광 영역에서의 비흡수성이 필요하다. 초기에는 가장 안정한 구조인 CuPc가 사용되었다. 하지만 CuPc의 박막은 투명한 색이 아닌 짙은 보라색을 띄므로 적색 영역에서의 흡수가 있기 때문에 풀컬러(full-color) 디스플레이에 적합하지 않으므로 최근에는 스타버스트(starburst)형의 아민(amine)계의 유기물인 유리전이온도가 높고 박막 색이 투명한 TCTA, 1-TNATA, 2-TNATA등이 주로 사용된다.

정공수송재료는 정공 이동도가 빨라야 하며, 발광층과 접하여 계면을 형성하기 때문에 HTL/EML 계면의 여기자 발생을 억제하기 위해서 이온화포텐셜이 정공주입층과 발광층 사이의 적절한 값을 가지는 것이 매우 중요하다. 높은 LUMO 준위로 발광층을 통과하는 전자를 적절히 제어하는 능력이 필요하다. 따라서, 전자친화도(electron affinity, E_a)가 작은 것일수록 특성이 좋다. 또한 열적 안정성을 위하여 높은 유리전이온도와 열분해 온도를 가져야 하고, 우수한 계면 특성을 가져야 하며 진공증착이 가능하여야 한다. 본 실험에서는 작은 전자친화도와 높은 유리전이온도를 갖는 α -NPD(또는 NPB)를 정공수송 재료로 사용하였다.[8]

(2) 발광층(EML) 재료

발광층은 OLED 중에서도 대단히 핵심이 되는 부분이고, 여기에 사용되는 재료로 인해 발광효율이 결정된다. 발광층으로 지금까지 저분자 형광색소, 고분자 또는 금속착체 등 여러 유기화합물이 평가되어 왔다. 그 평가기준으로는 높은 발광양자효율을 발휘할 수 있을 것, 성막성이 좋을 것, 캐리어 수송성이 높을 것 등을 들 수 있다.

발광재료에는 다음과 같이 2종류가 있다. ① 자체는 발광 능력이 낮지만 성막성이 높고 발광 능력이 높은 것을 혼합 이용하는 재료(Host). ② 자체는 발광 능력이 높지만 단독으로는 성막할 수 없는 발광 재료(Guest재료).

이 2종류 중에서 본 연구에서는 Alq_3 를 Host로 사용하고, Coumarine6, Quinacridone과 같은 물질을 도펀트로 사용했다.

(3) 정공 방지층 (HBL) 재료

정공방지층 재료는 발광층에 넘어온 정공이 전자수송층으로 넘어가지 못하게 제어하는 기능을 가져야 하므로 이온화포텐셜이 발광층보다 최소한 0.5 eV 정도 큰 것이 바람직하다. 또한 전자수송층으로부터 전자를 받아서 발광층에 전달해야 하므로 전자친화도 역시 발광층과 전자수송층의 중간 값을 가지는 것이 좋다. BALq, TAZ, BCP등이 사용되고 있다. 본 실험에서는 정공방지층 재료로 이온화 포텐셜이 충분한

히 크고 전자친화도가 발광층 및 전자수송층과 비슷한 BCP를 사용하였다.[9]

(4) 전자 수송층(ETL)재료와 전자 주입층 (EIL)재료

전자수송용 재료로는 전자 이동도가 우수한 유기금속착체가 주로 사용되고 있다. 그 중에서 안정성이 우수하고 전자친화도가 큰 Alq3가 가장 좋은 것으로 보고 되었으나 청색 발광 소자에 사용할 경우 여기자 확산에 의한 발광 때문에 색순도가 떨어지는 단점으로 구동 시 수명에 영향을 주게 되어 현재는 Beq2 등과 같은 대체 재료가 사용되고 있다.

전자주입용 재료로서의 유기 단분자 물질은 특별히 없으나 주로 전자수송재료와 음극용 금속(LiF, CsF)을 혼합하여 사용하는 방법이 있다.

본 실험에서 사용한 전자수송용 재료는 Alq3이다. 녹색 발광 소자에서의 엑시톤 확산을 방지하기 위해 충분히 두꺼운 BCP를 발광층과 전자 수송층 사이에 삽입하여 발광층 재료의 색순도를 그대로 유지하고자 하였다.

(5) 전극 재료

양극 전극은 일반적으로 ITO(indium tin oxide), IZO(indium zinc oxide) 등의 투명한 산화복합박막을 사용하는데 그 이유는 일함수(work function)가 커서 정공주입을 용이하게 하며 무엇보다도 가시광선범위에서 투명하기 때문이다. 그 중에서 ITO를 주로 사용하며 일정한 모양으로 식각(etching)한 후 습식 세척과 건식 세척인 UV-ozone 또는 산소 플라즈마를 처리하여 사용한다.

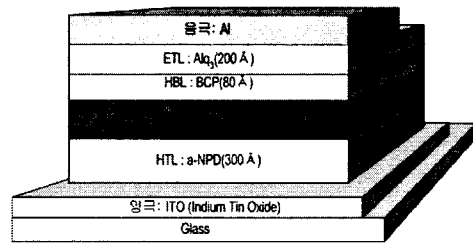
음극 전극은 일함수가 낮은 세슘(Cs), 리튬(Li), 칼슘(Ca) 등과 같은 금속과 일함수는 높지만 안정하고 증착이 용이한 알루미늄(Al), 구리(Cu), 은(Ag) 등과 같은 금속 및 금속 합금을 주로 사용한다. 그러나 합금의 경우 정확한 조성 제어가 어렵기 때문에 재현성에 문제가 있다. 따라서 상업적으로 바람직한 것은 LiF 등과 같은 무기 전자주입층을 약 1nm 정도로 매우 얇게 증착한 후에 알루미늄과 같이 안정한 금속을 증착하는 것이 바람직하다.

본 실험에서는 양극 전극으로 면저항 10Ω/□이고, 두께가 1200Å인 ITO를 사용하였다. 사용된 ITO의 일함수는 4.9 eV이다. 또한 음극 재료로는 대기 중의 산소와 수분에 대해 가장 안정적이고 일함수도 적당한 Al을 사용하였고 사용된 Al의 일함수는 4.2 eV이다. [10]

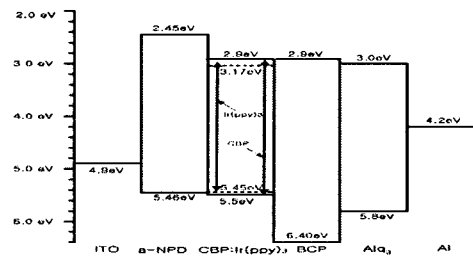
2) 녹색 OLED 제작

본 논문에서는 OLED의 RGB중 형광 물질을 사용하여 녹색 유기발광 소자를 제작해보았다. 녹색 형광물질 Alq3에 유기물색소를 도핑함으로써 초록색부터 빨간색까지 빛을 낼 수 있다. 본 논문에서는 Alq3를 host재료로 사용하고, 효율과 수명 면에서 뛰어난 특성을 보이는 녹색 계열의 C6를 Guest재료로 사용하여 발광층소자를 제작하였다. 또한 정공수송능력이 뛰어나고 유리전이온도가 높을 뿐만 아니라, 이

온화포텐셜이 낮은 α-NPD를 정공수송층으로 사용하여 양극전극 ITO와 발광층 간의 에너지준위차를 줄였다. 그리고 전자를 발광층으로 원활하게 주입하기 위해 높은 전자친화도를 갖는 Alq3를 전자수송층으로 사용하였고 발광층에 정공을 구속하여 전자-정공의 재결합확률을 높이기 위하여 발광층과 전자수송층 사이에 정공방지층 BCP를 삽입하였다. 마지막으로 음극전극으로 수분에 안정적인 Al을 사용하여 녹색 유기발광소자를 제작하였다. 제작된 녹색 형광 유기발광소자의 기본구조는 glass/ITO/α-NPD(300Å)/Alq3: C6(300Å)/BCP(80Å)/Alq3(200Å)/Al이며, 그림 2와 그림 3은 제작한 형광 녹색 유기발광소자의 기본 설계구조와 에너지대역도이다.



<그림 2> 녹색 형광 유기발광소자의 기본구조
<Fig 4> Basic structure of Green Fluorescent OLEDs



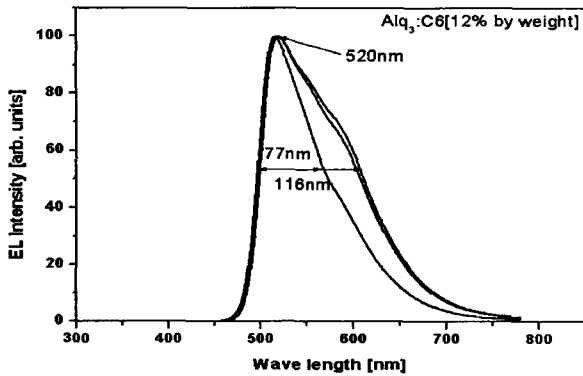
<그림 3> 제작된 인광 유기발광소자의 에너지대역도
<Fig 5> Energy band of fabricated Phosphorescent OLED

(1) 인가전압에 따른 녹색 형광 유기발광소자

제작한 소자의 같은 도핑 농도에서의 인가전압에 따른 변화를 보기 위하여 Host 재료 Alq3에 Guest 형광색소 C6를 각각 8%, 12%, 16%, 20% 중량비로 도핑하여 소자 제작 후 같은 도핑농도에서 서로 다른 전압일 때의 그 발광특성을 분석하였다.

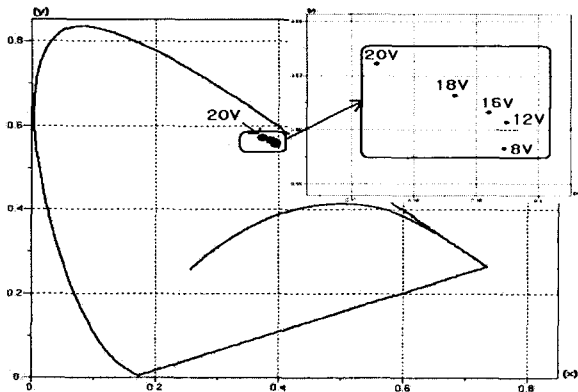
그림 4과 그림 5은 형광색소 C6를 12% 도핑농도로 고정하고 인가전압에 따른 정규화 된 EL 스펙트럼과 CIE 색좌표이다. EL 최대발광파장은 520nm로서 인가전압의 변화에 따라 변함이 없는 파장을 보여주었다. 인가전압에 따라 반치폭(FWHM)의 변화도 조금 나타났는데 인가전압이 20V일 때 77 nm이고 인가전압이 8V에서 116 nm로서 인가전압의 증가에 따라 반치폭은 줄어들었다. 단색발광에서 반치폭이 줄어드는 것은 순수한 단색을 표시함을 설명한다. 즉 인가전압의 증가에 따라 더욱 순수한 녹색을 나타냈다. CIE 색좌표를 보

면 역시 인가전압의 증가에 따라 더 순수한 녹색계열 방향으로 접근함을 알 수 있다. 휘도는 20V에서 제일 큰 휘도 99.02 cd/m²를 보여주었으며 20V이상에서는 점차 소자가 열화 되어 약 22V에서부터 유기물층이 타버려 소자가 파괴되는 현상을 보였다.



<그림 4> 도핑농도 12%에서의 인가전압에 따른 형광 유기발광소자

<Fig 6> Fluorescent OLEDs at 12% doping concentration by alternating input voltage



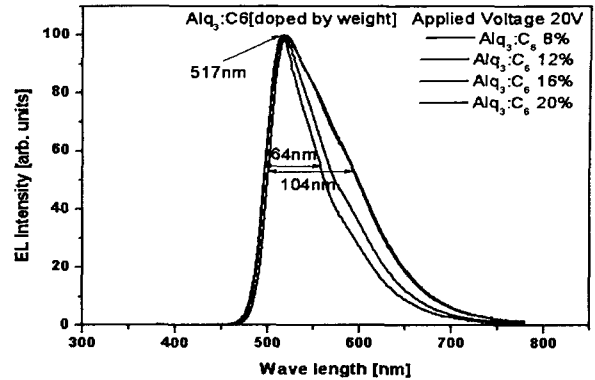
<그림 5> 도핑농도 12%에서의 인가전압변화에 따른 CIE 좌표
<Fig 7> CIE coordination at 12% doping concentration by alternating input voltage

(2) 도핑 농도에 따른 녹색 형광 유기발광소자

제작한 소자의 같은 인가전압에서의 도핑농도에 따른 변화를 보기 위하여 Host 재료 Alq3에 Guest 형광색소 C6를 각각 8%, 12%, 16%, 20% 중량비로 도핑하여 소자 제작 후 같은 전압에서의 서로 다른 도핑농도에 따른 그 발광특성을 분석하였다.

그림 6는 인가전압이 20V일 때 서로 다른 도핑농도에서의 정규화 된 EL 스펙트럼이다. EL 최대발광파장은 도핑농도가 8%일 때 517 nm이고 도핑농도를 조금씩 증가함에 따라 장파장대로 이동(shift)하는 것을 살펴볼 수 있다. 반치폭은 도핑농도가 8%일 때 제일 작은 64 nm를 보여주어 제일 순수한 녹색을 나타냈고 20%일 때 반치폭이 104 nm로서 색순도가 낮게

나타났다. 휘도는 C6를 12% 중량비로 도핑 하였을 때 제일 높은 휘도 99.02 cd/cm²를 보여주었다.

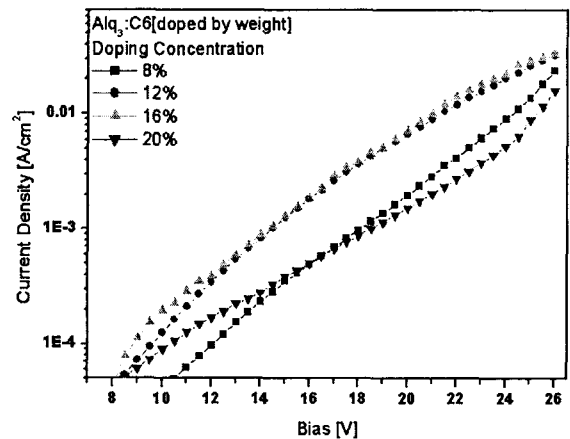


<그림 6> 인가전압 20V에서의 도핑농도에 따른 형광 유기발광소자

<Fig 6> Fluorescent OLEDs at 20V by alternating doping concentration

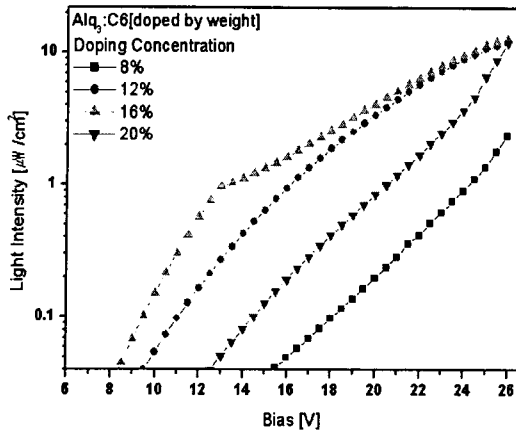
3) 녹색 형광 유기발광소자의 전압-전류-광출력 및 효율

그림 7 와 그림 8을 통해서 소자의 동작개시전압과 발광개시전압을 얻었다. 동작개시전압은 16% 도핑농도일 때 가장 낮은 8V를 나타냈고 발광개시전압 역시 16% 도핑농도에서 제일 낮은 8.5V로 나타남을 알 수 있다. 도핑농도가 8% 도핑농도일 때 제일 높은 동작개시전압 10.5V를 나타냈고 발광개시전압 역시 8% 도핑농도일 때 제일 높은 15.2V를 나타내었다. 광출력은 C6를 16% 도핑농도로 하였을 때 가장 높은 값을 보여주었다. 하지만 16%보다 작은 8%, 12%일 때는 다시 휘도가 작아졌는데 이는 삼중항-삼중항 소멸의 영향에서는 벗어났지만 발광에 참여하는 인광 색소 자체가 줄어들어 광출력이 감소하는 현상을 보이는 것을 알 수 있다.



<그림 7> ITO/Alq3:C6/BCP/Alq3/AI 구조의 전류-전압특성

<Fig 7> Electricity-Voltage characteristic of ITO/Alq3:C6/BCP/Alq3/AI structure



<그림 8> ITO/Alq3:C6/BCP/Alq3/Al 구조의 전압-광출력 특성
 <Fig 8> Voltage-Optical Power characteristic of ITO/Alq3:C6/BCP/Alq3/Al structure

III. 결론

본 연구에서는 고통 전광판의 LED소자의 효율 한계를 극복하고자, OLED소자에 형광 물질을 이용한 소자를 제작하여 효율을 향상 시키고자하였다. 이에 녹색 형광 발광 물질인 host 재료 Alq₃에 guest로 C6를 사용하여 광학적, 전기적 특성을 보고, 진공 증착 방법에 의한 유기 발광 소자를 제작하여 도핑 농도에 변화를 주었다. 형광재료를 사용한 소자 ITO/NPB(300 Å)/Alq₃:C6(300 Å)/BCP(80 Å)/Alq₃(200 Å)/Al의 같은 도핑농도에서 서로 다른 전압일 때의 발광효율 및 전기적 특성을 평가 및 분석하였다. C6의 도핑농도가 8%, 12%, 16%, 20%일 때 휘도 특성을 보면 전압이 높아짐에 따라 휘도가 증가함을 알 수 있다. 휘도가 가장 높을 때의 전압인 20V에서 비교해보면, 휘도는 도핑 농도가 12%일 때 가장 높았으며 그 휘도는 99.02 cd/cm²이다. 동작개시전압은 도핑농도가 16%일 때 가장 낮은 8V를 나타냈고 발광개시전압 역시 도핑농도가 16%에서 제일 낮은 8.5V로 나타남을 알 수 있다. 광출력 역시 C6 도핑농도를 16% 하였을 때 가장 높은 값을 보여주었다. C6를 16% 도핑농도로 도핑하였을 때 휘도, 광출력, 발광개시전압 등 면에서 비교적 우수하다. 본 논문은 기존의 고통 전 광판의 문제인 색상이 다양하지 못한 점과 셀당의 밝기 한정성, 저소비전력을 OLED의 녹색 발광 물질을 사용했을 때 장점을 보았다. 물론 이 연구에서는 기존 LED소자와 같은 단색으로 소자제작을 하였으나 RGB를 이용하여 백색발광 까지 가능하며, 현재 기업에서도 OLED를 이용한 여러 제품들이 시판 되고 있다. 또한 구동전압, 과 휘도 역시 개선이 용이하다. 이러한 장점을 볼 때 기존의 고통 전광판의 미래지향적인 모델이 될 것이다.

참고문헌

1. M. Morimoto and H. Watanabe, "Flat Panel Displays", NEC Technical Journal, Vol. 49, No. 1, pp.82-86, 1996.
2. W. Conard Holton, "Light-emitting polymers: Increasing promise", Solid State Technology, Vol. 40, No. 5, pp.163-167, 1997.
3. 정호균, 김광남, "유기EL(Electroluminescence)", 광문각, 2004.
4. C.W. Tang and S.A. VanSlyke, "Organic electroluminescent diodes", Appl. Phys. Lett., Vol. 51, No. 12, pp. 913-915, 1987
5. C. Charton, N. Schiller, M. Fahland, A. Holländer, A. Wedel, and K. Noller, "Development of high barrier films on flexible polymer substrates", Thin Solid Films, In Press, Corrected Proof, 2005.
6. J.G. Basturo, and Z. Burshtein, Mol., Cryst. Cryst., No. 31, p.211, 1975.
7. 기전자재료학회 논문집 Vol. 17, No. 2, pp.217-222, 2004.
8. D. F. O'Brien, M. A. Baldo, M. R. Thompson, S. R. Forrest, Appl. Phys. Lett., 74, 442, (1999)
9. M. A. Baldo, D. F. O'Brien, Y. You, A. Shoustikov, S. Sibley, M. R. Thompson, S. R. Forrest, Nature, 395, 151, (1998)
10. Andrei Shoustikov, Yujian You, Paul E. Burrows, Mark E. Thompson, and Stephen R. Forrest, "Orange and red organic light-emitting devices using aluminum tris(5-hydroxyquinoxaline)", synthetic Metals, Vol. 91, Issues 1-3, pp217-221, 1997
11. Soo-Woong Hwang, Hwansool Oh, and Seong-Jong Kang, "A Study of the Fabrication and the Characteristics of an Organic Light-Emitting Devices Using BCP", Journal of the Korean Physical Society(SCI), Vol. 47, No. 1, pp.34-36, 2005.
12. L. S. Hung, C. W. Tang, and M. G. Mason, "Enhanced electron injection in organic electroluminescence devices using an Al/LiF electrode", Appl. Phys. Lett., Vol. 70, No. 2, pp.152-154, 1997.