



저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2012년 8월

석사학위 논문

대면적 OLED 조명소자의
보조전극 전산모사

조선대학교 대학원

첨단부품소재공학과(소재공학전공)

이 건 웅

대면적 OLED 조명소자의
보조전극 전산모사

Computer Simulation on Auxiliary Electrode
for Large Area OLED Lighting Devices

2012년 8월 24일

조선대학교 대학원

첨단부품소재공학과(소재공학전공)

이 건 웅

대면적 OLED 조명소자의 보조전극 전산모사

지도교수 신 동 찬

이 논문을 공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2012년 4월

조선대학교 대학원

첨단부품소재공학과(소재공학전공)

이 건 웅

이건웅의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교 수 박진성 (인)

위 원 조선대학교 조교수 강현철 (인)

위 원 조선대학교 부교수 신동찬 (인)

2012년 5 월

조선대학교 대학원

목 차

List of Tables	iv
List of Figures	v
ABSTRACT	vii
제 1 장 서론	1
제 2 장 이론적 배경	3
제 2.1절 유기발광 소자(OLED)	3
2.1.1 OLED조명의 정의	3
2.1.2 OLED조명의 특징	3
제 2.2절 OLED구조 및 동작원리	6
2.2.1 OLED의 원리	6
2.2.2 OLED의 구조	10
2.2.3 IR-drop	12
2.2.4 OLED의 소자의 전류-전압(I-V) 특성	12
제 2.3절 OLED의 분류	21
2.3.1 발광재료	21
2.3.2 발광방식	21
2.3.3 구동방식	22
제 2.4절 OLED의 제조공정	26
2.4.1 기본적인 OLED 제조공정	26

2.4.2 OLED 증착기술	26
2.4.3 전산모사 방법	28
제 3 장 실험방법	31
제 3.1절 OLED 소자 제조	31
제 3.2절 소자측정	35
제 3.3절 전산모사 모듈제작	35
제 4 장 결과 및 고찰	39
제 4.1절 시뮬레이터 검증	39
제 4.2절 보조전극간 거리에 따른 전류-전압 특성	41
제 4.3절 보조전극간 거리에 따른 Total current density 특성	42
제 4.4절 Alq3 두께에 따른 전류-전압 곡선 및 Total current density 특성	48
제 4.5절 NPB 두께에 따른 전류-전압 곡선 및 Total current density 특성	51
제 4.6절 Alq3와 NPB의 두께에 따른 전류-전압 곡선 및 Total current density 특성	54
제 5 장 결론	57
참고문헌	58

감사의 글	61
-------------	----

List of Table

Table 1. OLED structure according to the driving method	24
Table 2. Material parameter used simulation of the OLED lighting device	38

List of Figures

Fig. 1. Driving methods of OLED lighting	6
Fig. 2. Charge carrier injection process at the Mater-organic layer interface	14
Fig. 3. Log current log voltage plot	15
Fig. 4. Exciton formation process OLED	16
Fig. 5. Structure and the light emitting principles of OLED	17
Fig. 6. (a)structural diagram of OLED lighting (b)Diagram of OLED lighting	18
Fig. 7. Diode to conduct (a)equilibrium (b)forward-biased (c)reverse-biased	19
Fig. 8. I-V curve of PN junction	20
Fig. 9. Structure of PMOLED and AMOLED	25
Fig. 10. Fabrication process of OLED lighting device	30
Fig. 11. Thermal evaporator for fabrication of device	32
Fig. 12. Structure of OLED thermal evaporator chamber	33
Fig. 13. Manufacture OLED lighting test device	34
Fig. 14. Input and output of ATLAS system	36
Fig. 15. Base structure of OLED lighting devices for simulation	37
Fig. 16. I-V characteristics of simulation model and measure model	40
Fig. 17. I-V curve by auxiliary electrode space	44

Fig. 18. Total current density by auxiliary electrode space	45
Fig. 19. Total current density rate of 20% point from edge with auxiliary electrode space	46
Fig. 20. Current uniformity 50×50 mm ² simulation device	47
Fig. 21. I-V curve by thickness of Alq3 layer	49
Fig. 22. Current density by thickness of Alq3 layer	50
Fig. 23. I-V curve by thickness of NPB layer	52
Fig. 24. Total current density by thickness of NPB layer	53
Fig. 25. I-V curve by thickness of NPB and Alq3 layer	55
Fig. 26. Total current density by thickness of Alq3and NPB	56

ABSTRACT

Computer Simulation on Auxiliary Electrode for Large Area OLED Lighting Devices

Keon Ung Lee

Advisor : Dong Chan Shin, Ph.D.

Department of Advanced Parts and Materials Engineering

Graduate School of Chosun University

As much attention has been focused on green growth and energy industry, illumination industry also demands high efficiency illumination devices. OLED(organic light emitting diode) lighting is promising next generation lighting device due to thin, light weight, and diffuse lighting source. As the area of OLED lighting device increases, the device however may have non-uniform brightness due to high resistance of ITO layer. In this dissertation, the effects of auxiliary electrode distance and organic layer thickness on total current density and I-V curve of OLED are studied. The basic structure of OLED lighting device is Al(150 nm)/Alq3(50 nm)/NPB(50 nm)/ITO(100 nm)/Glass. The distances between the auxiliary electrodes of the OLED lighting device are varied with 1,000 μm , 2,000 μm , 4,000 μm , and 8,000 μm while the thicknesses of the Alq3 and NPB are 50 nm, 100 nm, and 200 nm. Driving voltage of I-V curves shows no change according to the distance between auxiliary electrodes. The turn-on voltage of each device shows exactly same value of 2.0 V at all conditions. When the distance between auxiliary electrodes increases, IR-drop phenomenon is much enhanced due to high resistance of ITO layer. The IR-drop is more affected by thickness of the Alq3 layer than by thickness of NPB or by the distance of the auxiliary electrodes. When the thickness of organic layer

increases, the IR-drop decreases. To reduce IR-drop and to realize uniform brightness, the resistance of organic layer should be adjusted to the total resistance of cathode and anode.

초 록

대면적 OLED 조명소자의 보조전극 전산모사

이건웅

지도교수 : 신 동 찬

첨단부품소재공학과

조선대학교 대학원

최근 녹색성장 및 에너지 산업에 대한 관심이 높아지면서 조명 산업에도 저전력 친환경의 새로운 조명용 광원의 필요성이 높아지고 있다. 특별히 OLED 조명은 얇고, 가벼운 차세대 면광원으로 주목받고 있다. 조명이 대면적화 됨에 따라 ITO의 높은 저항 때문에 불균일 발광이 일어난다. 본 연구에서는 보조전극간 간격과 유기물 층의 두께가 OLED소자의 total current density와 전류-전압 곡선에 미치는 영향을 조사하였다. OLED소자의 기본구조는 Al(150 nm)/Alq3(50 nm)/NPB(50 nm)/ITO(100 nm)/Glass로 설계되었다. 전산모사 변수로써 OLED소자의 기본구조 중 보조전극의 간격을 1,000 μm , 2,000 μm , 4,000 μm , 8,000 μm 으로 변화시켰으며 또한 유기물 층인 NPB와 Alq3의 두께를 50 nm, 100 nm, 200 nm 로 변화시켰다. OLED소자에서 보조전극의 간격이 변화하여도 모든 소자에서 구동전압이 2.0 V 로 동일하였으며 전류-전압 곡선도 거의 영향을 받지 않았다. 하지만 보조전극간 거리가 증가함에 따라 ITO의 높은 저항으로 인하여 IR-drop현상도 크게 증가하였다. Alq3층의 두께증가는 NPB층의 두께증가와 보조전극간 거리보다 IR-drop에 큰 영향을 주었다. 모든 소자에서 유기물 층의 두께가 증가할 때 IR-drop는 감소하였다. IR-drop을 감소시켜 균일한 발광을 하기 위해서는 유기층, 양극, 음극의 저항을 조절 하여야한다.

제 1 장 서 론

최근 녹색성장 및 에너지 산업에 대한 관심이 높아지면서 조명 산업에도 저전력 친환경의 새로운 조명용 광원의 필요성이 높아지고 있다. 조명은 전 세계 전력소모의 약 19%를 점유하고 있으며 이로 인해 CO₂ 배출량이 연간 17억 톤인 주요한 에너지 소비원으로서 고효율화를 위한 광원의 필요성이 대두되고 있다.¹⁾²⁾³⁾ 1879년 에디슨에 의하여 발명되어 현재까지 사용되고 있는 백열등은 저렴한 비용과 다양한 용도로 인하여 일반조명용 광원으로 가장 많이 사용되고 있다. 그러나 효율 특성이 20 lm/W에 불과해 세계 각국에서 사용규제를 논의하거나 의결하고 있다. 이에 반해 1938년에 개발되어 효율은 백열등의 7~8배인 형광등은 적은 열발생과 저전력 인하여 꾸준히 사용되고 있지만 수은을 사용한다는 문제점을 가지고 있어 이를 대체할 수 있는 환경 친화적인 신규 광원이 필요하다. 이러한 필요성에 부합되는 신규 광원으로서 LED, OLED와 같은 반도체조명 개발이 높은 관심을 받고 있다.⁴⁾ LED와 OLED는 이름자체에서는 큰 차이가 없다. 하지만 제조방법 및 특성 등에서는 큰 차이점이 나타난다. LED 조명은 차세대 조명으로 손색이 없다. 그 이유로는 첫째 고효율 저전력 이라는 점이다. 현재 LED 광원은 백열등 전력 소비량의 20% 수준에 불과하다. 둘째 친환경적이다. LED는 수은을 비롯한 다른 환경오염 물질을 포함하고 있지 않다. 셋째 LED 조명의 수명이 매우 길다. LED 업계에 따르면 LED 조명은 백열등보다 약 80~100배, 형광등보다 약 10배의 긴 수명을 가진다고 한다. 넷째 공간의 효율성을 들 수 있다. LED BLU(Back Light Unit)의 두께가 이미 1cm 벽을 넘어 선지 오래이다. 반면 백열등은 주먹만한 크기이고, 형광등도 LED 광원 두께의 4배가 넘는다.⁵⁾ 이러한 장점에도 불구하고 OLED 조명이 더 각광받는 데는 LED는 점광원이므로 면광원을 만들기 위해서는 도광판이나 확산판이 필요하며 열이 많이 발생하므로 방열판이 필요해 두께가 두꺼워지고 소량의 자외선이 나온다. 반면 OLED 는 두께가 매우 얇은 면광원으로 얇은 면조명으로 제작이 가능하며 자극적이지 않는 감성조명으로써 LED 조명보다 조명으로 더 적합하다고 할 수 있다. 또 OLED 조명소자는 LED 소자에 비해 응용범위가 넓고 구조와 제조 공정이 간단하여 공정 시간 단축 및 공정 장비 단순화가 가능하다는 장점을 가지고 있다.⁶⁾ 최근, OLED는 조명용 소자(lighting devices)로서의 가능성에 대해서도 큰 관심을 모으고 있다. 그러나 상용화를 위해 소자 수명을 2~3만 시간 이상으로 향상시켜야 하며, 발광 효율을 높

여야 하고, IR-drop문제를 해결함으로써 균일한 발광을 할 수 있어야 한다. OLED 조명에서의 IR-drop은 기존에는 없었던 문제로써 조명이 대면적화 됨에 따라 TCO의 높은 저항 때문에 전압강하가 발생하여 그에 따라 불균일 발광이 일어나는 한다.⁷⁾ 이러한 전압강하를 줄이기 위하여 TCO의 표면 저항을 줄이거나 유기물층과 TCO의 저항 비를 조절하는 등의 방법이 연구되고 있다.⁸⁾ 그러나 반복되는 공정을 통해 물질 및 구조에 따른 소자 성능을 확인하는 것은 시간과 비용의 문제가 크기 때문에 본 연구에서는 전산모사 프로그램인 ATLAS Tool을 이용하여 대면적 OLED 조명소자를 설계하였으며 보조전극의 간격과 유기물 층의 두께가 전류-전압 곡선과 total current density에 미치는 영향을 조사하였다.

제 2 장 이론적 배경

제 2.1절 유기발광 소자(OLED)

2.1.1 OLED 조명의 정의

OLED조명소자는 전기에너지를 광에너지로 전환하는 반도체 자발광소자로서, 기존의 광원에 비해 에너지 효율이 높고 친환경적이며 면조명으로 이상적인 광원으로 각광받고 있다. 조명용 OLED 소자의 기본구조는 Fig.1 에 나타내었다. 조명용 OLED는 유리판 등의 기판위에 여러층으로 된 유기물을 음극(cathode)과 양극(anode)이 감싸고 있는 샌드위치 구조이다. 이러한 조명용 OLED소자에 수 볼트의 전압을 인가하여 전류를 흘릴 경우 유기박막 내에서 발광하게 된다. 즉, 전류주입에 의해 유기 분자를 여기상태로 올릴 경우 원래의 기저 상태로 돌아올 때 여분의 에너지를 빛으로 방출한다. 또한 OLED 조명소자는 경량, 고휘도, 높은 시야각 등의 장점을 기반으로 일반조명, 자동차 및 의료용 조명, 백라이트 등의 다양한 활용이 가능하다.

2.1.3 OLED의 특징

조명용 OLED는 기존의 OLED 공정을 그대로 사용할 수 있을 뿐 아니라 구조가 단순하여, 미세하고 정밀한 패턴이 필요치 않고 공정이 단순하여 대형 투자를 필요로 하지 않는다. 디스플레이와 조명용 OLED는 공통적인 기술 요소를 갖는 동시에 각각의 특징적 요소를 갖고 있다.⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾ 유기발광 다이오드의 특징을 열거하면 다음과 같다.

- ① 자발광형이므로 콘트라스트(contrast)가 높다
- ② 시야각 의존성이 없어서 시인성이 우수하다.
- ③ 응답 속도가 매우 빠르다.
- ④ 패널 구조가 간단하기 때문에 매우 가볍고 얇게 만들 수 있다.
- ⑤ 패널 구조가 간단하여 제조 공정을 단순화시킬 수 있어서 저가격화가 가능하다.
- ⑥ 완전 고체 구조이므로 견고하다.
- ⑦ 플라스틱 필름 등을 사용한 경우 플렉서블 조명이 가능하다.

유기 발광다이오드 소자의 발광은 외부로 전압을 인가할 경우 전자와 정공의 주입이 일어나며 유기물이 여기 상태가 된다. 이때 여기된 캐리어가 원래의 안정한 에너지 상

태로 돌아올 때 여분의 에너지를 그 재료의 고유한 빛으로 방출하게 된다. 이러한 유기발광다이오드는 디스플레이 이외에 조명기기 등의 광원으로 기대된다. 발광층에 여러 층의 발광 영역을 만들거나 또는 여러 발광 재료를 혼합함으로써 복수의 발광을 동시에 얻을 수 있는 백색 발광이 가능하다. 따라서 매우 얇고 가벼우며 안전한 값싼 광원을 만들 수 있어 조명 세계를 크게 변화시킬 수 있다.¹²⁾

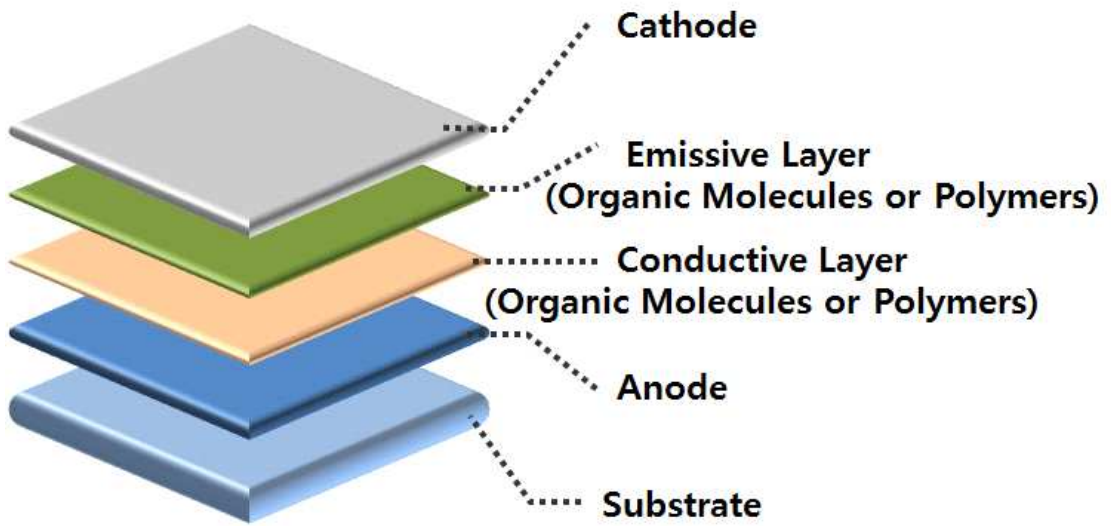


Fig. 1. Structure of OLED lighting device

제 2.2절 OLED 구조 및 동작원리

2.2.1 OLED의 원리

OLED는 유기물에서 전자가 낮은 에너지 상태로 천이하면서 발광하게 되는데 이 때 천이하는 에너지의 차이를 조절하여 색을 구현한다. 에너지 차이는 빛의 파장과 관련되어 있기 때문에 밴드갭을 조절하여 원하는 파장의 빛을 구현할 수 있다. 음극(Cathode)과 양극(anode)에 전압을 걸어 각각 전자와 정공을 주입하여, 양극은 정공의 주입이 용이하도록 일함수가 작은 금속을 주로 사용한다. 두 개의 전극 사이에 유기물을 배열하고 전기를 가하면 전자는 전자수송층(ETL: Electron Transport Layer)을 통하여 발광층(EMI: Emission layer)으로 이동하고, 정공은 정공 수송층(HTL: Hole Transport Layer)을 통하여 발광층으로 이동한다. 유기물인 발광층 내에서 재결합 할 때 형성되는 높은 에너지의 여기자가 기저 상태로 떨어지면서 빛을 발생한다. 이로 인해 발광층을 구성하고 있는 유기 물질의 종류에 따라 빛의 색이 달라지게 되며 적색, 녹색, 청색 빛을 내는 각각의 유기 물질을 이용하여 모든색의 구현이 가능하다.

1) 운반자 주입단계

전극으로부터 운반자들이 주입되는 과정에는 운반자가 금속과 유기물 사이의 에너지 장벽을 넘거나 관통하는 세 가지 과정의 모델이 있다. 첫째는 Fig. 2 (a)와 같이 낮은 전기장에서 열적으로 활성화되는 과정이고 둘째는 Fig. 2 (b)와 같이 높은 전기장에서 관통하는 과정이며 마지막 셋째는 Fig. 2 (c)와 같이 구조상의 결함이나 불순물에 의해 발생한 국소적인 에너지 준위를 매개로 하는 주입이 있다. 열전자 방출 모델은 에너지 장벽의 높이보다 큰 에너지를 갖는 운반자들이 열 에너지를 통해 장벽을 넘어 유기물로 주입되는 과정으로 운반자의 주입에 에너지 장벽이 있다는 명백한 증거는 전류 밀도가 소자에 가해지는 전기장에 선형적으로 좌우되지 않고 비선형적으로 좌우 된다는 것이다. 열전자 방출에서 전하가 주입될 때의 에너지 장벽의 높이 ϕ_b 를 갖는 삼각형 모양으로 가정하면 (2-1)과 (2-2) 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$J = J_s \left[\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2-1)$$

$$J_S = \frac{4\pi k^2 m^*}{h^3} T^2 \exp\left(-\frac{\Phi_b}{kT}\right) = A^* T^2 \exp\left(\frac{\Phi_b}{kT}\right) \quad (2-2)$$

여기서 J_S 는 포화 전류 밀도, A^* 는 Richardson상수, m^* 는 전자의 유효질량, k 는 볼츠만 상수, T 는 온도, h 는 프랑크 상수, 그리고 Φ_b 는 에너지 장벽이다. 열전자 방출의 경우 전류밀도가 절대 온도 제곱에 비례하므로 온도의 영향이 매우 크다고 할 수 있다. 운반자 주입에 대한 또 하나의 가능성인 파울러 노르드하임형 터널 주입은 (2-3)과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$J = \left(\frac{q^3 V^2 m_0}{8\pi h \Phi_{Bn} m^*}\right) \exp\left(-\frac{4(2m^*)^{0.5} \Phi_{Bn}^{1.5}}{3hqV}\right) \quad (2-3)$$

여기서 m_0 는 자유전자의 질량, m^* 는 유효질량 그리고 V 는 인가전압이다. 위의 식에 있어서 $\sim 10^6 \text{V/cm}$ 정도의 전계 강도가 인가된 경우 추정되는 터널 거리는 약 10 nm를 넘게 되어 이는 현실적인 값이 될 수 없다. 따라서 1nm 정도의 터널 거리를 가정할 때 유기층 분자/금속 전극 계면에는 약 10^7V/cm 의 극소적인 고전계를 발생시켜야 한다. 분명히 터널 주입 기구에서 전류밀도-전압 특성을 설명할 수 있는 경우도 다수 있으나 온도 특성을 측정하면 터널 기구로는 설명하기가 어려운 경우가 많다. 이와 같이 유기 반도체의 전류밀도-전압 특성의 온도 의존성은 캐리어 주입과 수송현상에 복잡하게 연관되어 있으며 온도에 의해 변화하는 현상이다.¹³⁾¹⁴⁾

2) 운반자 이동 단계

전하 운반자가 유기물 내에 주입되면 정공은 음극 쪽으로, 전자는 양극 쪽으로 이동하게 된다. 물질 내에 트랩이 없거나, 있어도 전하 수송층에 크게 영향을 끼치지 않는 상태라면 전하의 운송은 단위 인가 전압에 대해 전하의 평균 표류 속도를 나타내는 mobility μ 로 나타낸다. 이때에 나타나는 표류 전류는 J_μ 는 (2-4)와 같은 식으로 나타낼 수 있다. 이는 ohmic 전도에 해당한다. 여기서 n 은 자유 전하와 Trap 준위의 수밀도 n_f , n_t 의 합이고 μ_e 는 유효 mobility이다. 캐리어 이동도를 나타내는 μ_{eff} 는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$J\mu = q\mu_e n \frac{V}{d} \quad (2-4)$$

이는 ohmic 전도에 해당한다. 여기서 n 은 자유 전하와 Trap 준위의 수밀도 n_f , n_t 의 합이고 μ_e 는 유효 mobility이다. 캐리어 이동도를 나타내는 μ_{eff} 는 (2-5)와 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\mu_{eff} = \frac{\mu_0 n_0}{n_f + n_t} \quad (2-5)$$

이러한 Ohmic 전도는 낮은 전압에서 금속으로부터 전하 운반자가 과도하게 주입되지 않을 때 관찰할 수 있다. 전극을 통하여 외부로부터 전압이 가해져서 전하가 주입되면 모든 전하가 유기물 내부로 흐를 수 없게 되는 데, 이것은 공간전하가 형성되기 때문이다. 유기물은 낮은 전하 운반자 이동도 때문에 주입된 전하 운반자가 쉽게 반대쪽 전극으로 흐르지 못하고 공간적으로 정체되어 있는 형상을 보이는데 이를 Space Charge라고 한다. 이러한 상태에서 유기물을 통하여 흐르는 전류는 Space Charge에 의해 영향을 받으며, 이것을 공간 전하 제한 전류(Space Charge Limited Current: SCLC)라고 한다. 유기 반도체 내에 트랩이 없는 경우 SCLC는 (2-6)과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$J = \frac{9}{8} \epsilon \epsilon_0 \mu_{eff} \frac{V^2}{L^3} \quad (2-6)$$

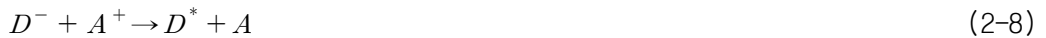
여기서 μ_{eff} 는 캐리어 이동도, ϵ_0 는 진공의 유전율, ϵ 유기박막의 유전율, V 는 인가 전압, L 은 박막두께를 나타낸다. 위의 식에서 SCLC로 전류 밀도를 결정하는 재료 물성 값의 유기물의 유전율과 이동도이다. 또한 전류 값은 전압의 제곱에 비례하여 박막 두께에 3제곱에 반비례함을 알 수 있다. 실제로 유기반도체 내에 많은 트랩이 존재하며 캐리어 이동에 큰 영향을 미친다. 주입된 전자는 트랩에 갇혀서 전류 값은 감소하게 된다. 이 경우 흐르는 전류 값은 J 에 θ 를 곱한 값과 같다.

$$\theta = \frac{n_e}{n_t} = \frac{N_c}{N_t} \exp\left(\frac{E_t - E_c}{k_B T}\right) \quad (2-7)$$

여기서 n_e 는 트랩되지 않은 전자 밀도, n_t 는 트랩된 전자 밀도, N_c 는 전도대 하단의 유효 상태 밀도, N_t 는 트랩에너지준위, E_c 는 전도대 하단의 에너지, k_B 는 볼츠만 상수이다. 얇은 트랩이 존재할 때 SCLC에 의한 전류-전압 특성은 Fig. 3의 실선으로 표시한 곡선을 가리킨다. 그리고 임계 전압 V_{th} 는 전극으로부터 캐리어 주입이 내부 캐리어를 초과할 경우 거의 수직하게 전류값이 증가한 후 전압의 제곱에 비례하는 전류가 흐르게 된다. 전류의 급격한 증가는 주입된 전자에 의해 얇은 트랩이 채워지는 상황을 반영하는 것으로 볼 수 있다. 모든 트랩이 채워지면 다음에 주입된 전자는 실제 트랩이 없는 상태와 같은 상황이 되기 때문에 트랩이 없는 SCLC의 관계식으로 표현될 수 있다.¹⁵⁾

3) 엑시톤 형성 단계

양극과 음극에서 주입된 정공과 전자는 유기물을 통하여 발광층 쪽으로 이동한다. 이동하던 정공과 전자는 발광층의 발광 영역에서 재결합하여 정공-전자 쌍 극 엑시톤을 형성한다. 엑시톤의 형성은 OLED의 발광 현상을 설명하는데 있어 필수적이며 그 형성 과정은 다음과 같다. 첫 번째 모델에서 발광 물질을 D, 정공수송물질을 A로 표현하면, 정공 수송 물질의 라디칼 양이온에 의한 발광 물질의 라디칼 음이온의 직접적인 여기가 가능하다.



또 다른 모델은 서로 다른 두 운반자의 반응에 의한 정공 수송물질의 여기 과정을 포함한다. 이 경우는 정공 수송 물질의 여기 에너지가 전의를 통하여 발광물질로 전이 되는 과정으로 설명하는 방법이다.¹⁶⁾



4) 발광 단계

OLED의 발광에는 Fig. 4과 같이 형광과 인광 2종류가 있다. 일반적으로, 형광이란 백색광이나 자외선 등이 조사된 시간만큼 발광하고 조사가 멈추면 즉시 발광이 없어지는 현상을 말한다. 전자와 정공의 재결합에 의한 여기상태에서 기저 상태로 돌아갈 때 꼭 발광이 일어나는 것이 아니라 전이 정도에 따라서 발광이 일어나지 않고 열에너지로 방출되는 경우도 많다. 일반적으로 전자 에너지가 여기 상태에서 기저 상태로 돌아가는 방법은 2가지가 있다 첫 번째는 일중항 여기상태에서 직접 기저 상태로 돌아가는 방법으로, 이때 방출되는 빛을 형광이라 한다. 두 번째 방법은, 불안정한 일중항 상태에서 직접 기저 상태로 돌아가지 않고, 에너지가 약간 안정된 상태인 삼중항 여기자상태를 한번 경유하여 기저 상태로 돌아가는 방법이다. 그리고 삼중항 상태에서 기저 상태로 돌아갈 때 방출되는 빛을 인광이라고 한다.¹⁷⁾

2.2.2 OLED의 구조

OLED는 Fig. 5 번과 같이 양극과 음극사이에 유기 박막 층이 있는 구조를 기본으로 하고 있다. 양극으로는 ITO(indium Tin Oxide)와 같은 투명 전극을 음극에는 Ca, Al, Au 와 같은 금속을 사용한다. 일반적으로 기판은 유리를 사용하지만 유연성이 있는 플라스틱이나 PET 필름 등을 사용할 수 있다.¹⁰⁾ 유기 박막층의 재료는 저분자 또는 고분자 물질로 구분하는 것이 일반적이다. 저분자 물질은 진공증착법으로, 고분자 물질은 스피코팅방법으로 박막을 형성 한다. 유기 박막층은 발광층을 위하여 단층으로도 제작이 가능하나, 주로 여러 유기 물질의 다층구조로 사용하여 발광효율을 높인다. OLED를 다층 박막구조로 제작 하는 이유는 유기 물질의 경우 정공과 전자의 이동도가 크게 차이 나므로, 정공수송층과 전자수송층을 사용하여 정공과 전자가 발광층에 효과적으로 전달되고, 밀도가 균형을 이루어야 발광효율이 높아지기 때문이다. 또한 음극에서 발광층으로 주입된 전자가 정공수송층/발광층 계면에 존재하는 에너지 장벽에 의해 유기 발광층에 갇히게 되면 재결합 효율이 향상된다.¹⁹⁾ 엑시톤의 확산되는 길이는 10~20nm 정도인데, 음극 바로 앞에 사용되는 ETL 의 두께가 20~30nm 정도가 되게 하면 발광층이 음극으로부터 엑시톤 확산 길이 이상으로 떨어지게 되어 엑시톤이 음극에 의해 소멸되는 것을 방지 할 수 있어 발광효율이 개선되는 효과를 얻을 수 있다.¹⁸⁾ 유기발광다이오드의 외부양자(η_{ext})는 (2-8)과 같이 나타낼 수 있다. ①전하균형(Charge balance) ②여기자 생성 효율(η_r) ③여기 상태에서부터 내부 발광 양자 수율(Φ_p) ④광

방출 효율(η_p)의 4개 항의 곱으로 표현한다. 여기서 전하 균형 γ 은 전자와 정공의 주입 수송 비율(γ_{it})과 전자와 정공의 재결합 확률(γ_r)로 분리 할 수 있다. 최고의 유기 발광소자의 발광 효율을 실현하기 위해서는 이들 4개의 인자가 모두 100%에 가까운 값을 얻을 수 있다.

$$\eta_{ext} = \Upsilon \times \eta_r \times \Phi_p \times \eta_p \quad (2-11)$$

$$\gamma = \gamma \times \gamma_r \quad (2-12)$$

여기서, γ 는 정공 수송층과 전자 수송층의 적층 구조를 형성하고 Φ_p 는 내부 발광 양자 수율이 높은 재료를 사용함으로써 비교적 쉽게 100% 그러나 유기발광다이오드의 양자 효율을 개선하기 위한 제 1과제는 η_r 을 향상시키는 것이다. 전자와 정공이 재결합할 때 분자 내외로부터 커다란 자극이 없는 경우 스핀 배열 통계 원칙에 따라 일중항 여기자와 삼중항 여기자는 1:3의 비율로 형성된다.¹⁵⁾¹⁹⁾ 따라서 형광 재료를 사용한 경우 η_r 는 최대 25%의 낮은 발광 효율에 머무르게 된다. 또한 제 2의 과제는 굴절률이 높은 유기층에서 빛을 방출하는 효율을 들 수 있다. 보통 소자의 경우 η_p 는 약 20%의 낮은 값을 나타내며 이것이 유기발광다이오드의 효율을 크게 떨어뜨리는 원인중의 하나가 되고 있다.²⁰⁾ 따라서 형광 재료를 발광분자로 사용하는 한 최대 외부 양자 효율은 각각의 요소를 곱하여 계산하면 된다. 즉,

$$\eta_{ext} = \gamma(100\%) \times \eta_r(25\%) \times \Phi_p(100\%) \times \eta_p(20\%) = 5\% \quad (2-13)$$

로 계산할 수 있다. 만일 삼중항 여기자를 발광 천이 분자로서 이용할 수 있다면 원리적으로는 3배 이상 특히 일중항에서 삼중항으로 항간교차(ISC: Inter system Crossing)의 확률이 100%이면 형광 재료보다 약 4배의 발광 효율을 향상시킬 수 있다. 형광 재료에 있어서도 삼중항 여기자와 삼중항 여기자의 충돌에 의해 일중항 여기자가 생성되어 전체 일중항 여기자의 생성 확률로서 이론적으로는 최대 40%까지 η_r 를 증가시킬 수 있다고 보고되어져 있다.¹⁵⁾²¹⁾ 고분자 재료에 대해서는 저분자 재료와 달리 여기자 생성 비율이 1:3으로 나타나지 않고 일중항 여기자가 높은 비율로 생성되는 것으로 알려져 있다. 그럼에도 현재의 고분자계 유기발광다이오드 효율은 5%정도로 매우 낮다.

2.2.3 IR-Drop

단위 테스트 소자에서의 효율과 수명에 대한 연구는 활발하게 이루어지고 있지만 OLED가 주조명으로 사용되기 위해서는 대면적화가 가능해야한다. 하지만 소자에 사용되는 투명전극(TCO: Transparent conducting oxide)의 저항 때문에 밝기의 균일도가 급격히 감소하는 현상 IR-drop가 일어나 소자의 수명 및 성능을 감소시킨다. 일반적으로 전자에서 말하는 IR-drop 는 power distribution network 의 RC 성분과 회로가 소모하는 전류에 의해서 발생한다. 이것은 회로의 소자들에 전달되는 공급 전압을 떨어트려서 회로의 timing 불확실성을 증가시키고 slew rate를 느리게 하여 결과적으로 회로의 성능 저하와 회로에서 소모하는 전력은 증가시킨다. IR-drop는 은 평균 전류 또는 평균 전력과 저항에 의해서 발생하는 Static IR-drop 과 시간에 따라서 변하는 전류에 의해서 발생하는 dynamic IR drop 으로 구분할 수 있다. 조명용 OLED 에서는 static IR-drop이 발생한다. 대면적 OLED의 IR-drop를 막는 방법으로는 첫째 TCO의 저항을 줄여 전공이 멀리 갈수 있게 하는 방법. 둘째 Fig. 6과 같이 투명전극 저항(R_{TCO}) 소자저항(R_{DEV}) 보다 상대적으로 높으면 전류는 패널 가장자리 부근에서 소자로 흐르게 되어 발광균일도는 저하된다. 그러므로 대면적 패널 발광균일도를 향상하기 위해 R_{TCO} 와 R_{DEV} 의 비율을 고려하여 소자구조를 설계하는 방법. 셋째 금속의 보조전극과 인슐레이터를 사용하여 TCO의 투과도를 유지한 채 저항을 줄이는 방법 등이 연구 사용되어지고 있다.²²⁾

2.2.4 OLED의 소자의 전류-전압(I-V) 특성

OLED는 p형과 n형 반도체를 붙여놓은 pn접합 다이오드이다. 저항이나 코일등과 같이 pn접합 다이오드는 인가된 전압의 극성에 따라 다이오드를 통해 흐르는 전류의 크기가 크게 달라진다. 다이오드에서 p쪽에 높은 전위를 가진 전압을 거는 것을 순방향 전압(forward bias)를 건다고 하고, 반대로 n쪽에 높은 전위를 가진 전압을 거는 것을 역방향 전압(reverse bias)를 건다고 한다. 먼저 순방향 전압을 걸어주었을 때는 Fig. 7 (b)같이 p쪽의 양전하를 띤 정공이 n쪽으로 넘어가게 되고, n쪽에서 p 쪽으로 넘어가는 전자도 이와 같다. 따라서 순방향 전압이 걸린 경우 다이오드는 도체의 성질을 가진다. 반대로 Fig. 7 (c)와 같이 역방향 전압을 걸어주었을 경우 공핍영역이 커짐에 따라 전류가 흐르지 않게 된다. 다이오드에서의 전류-전압 특성은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$I(V) = I_s(e^{qV/kT} - 1) \quad (2-14)$$

여기서 T는 절대온도, I_s 는 역방향 포화전류(reverse saturation current), V는 전압이다. 따라서 OLED는 (2-10)식에 따라 Fig. 8과 같이 비선형 전압특성을 갖는다.²³⁾

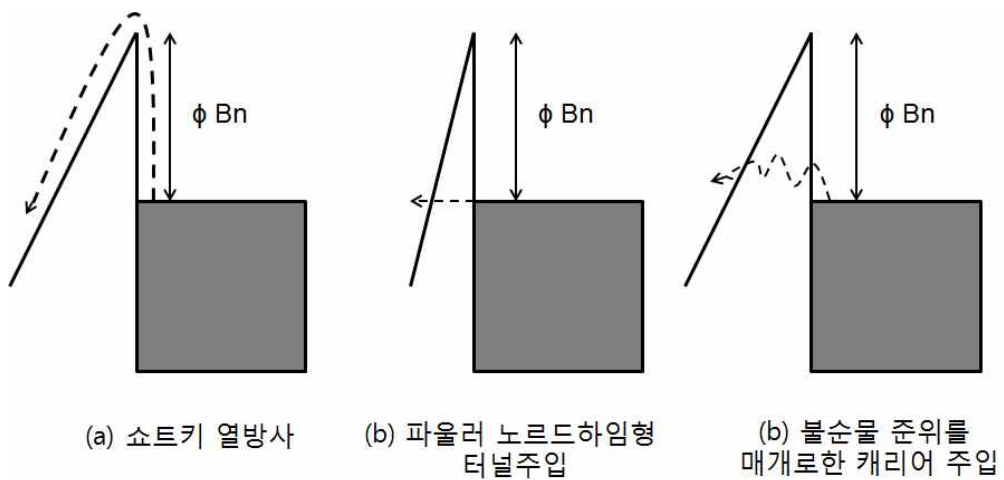


Fig. 2. Charge Carrier injection processes at the Metal-organic layer interface¹⁵⁾

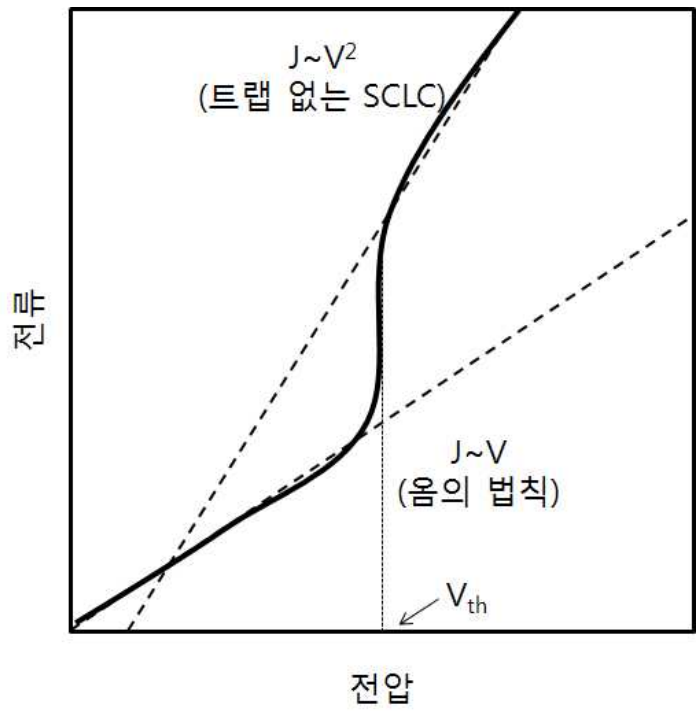
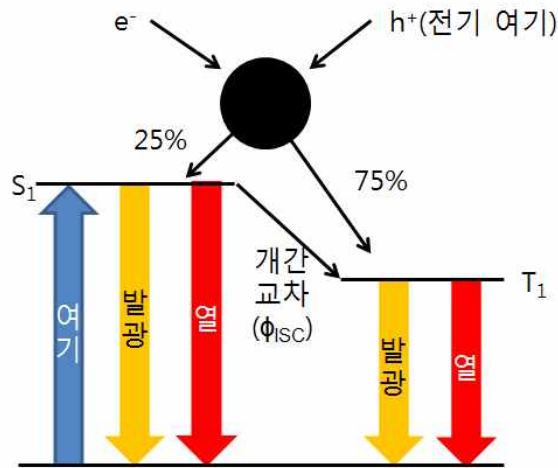
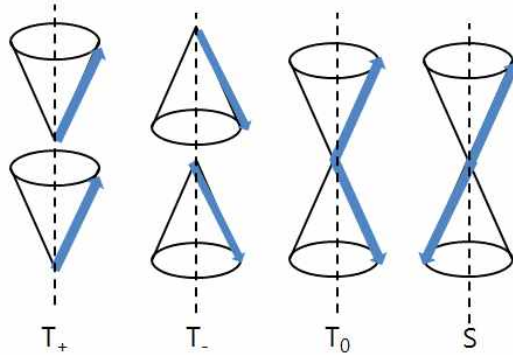
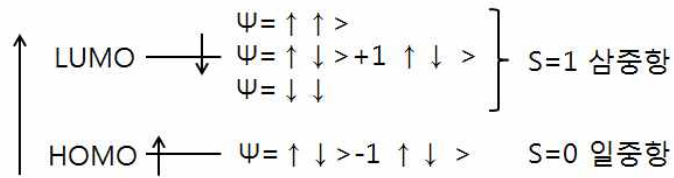


Fig. 3. Current and voltage plot by trapped charge limited current.¹⁵⁾



(a) 유기 분자의 에너지 상태도



(b) 전자와 정공의 재결합에 의해 생성되는 4가지 고유 상태

Fig. 4. Exciton formation process in OLED

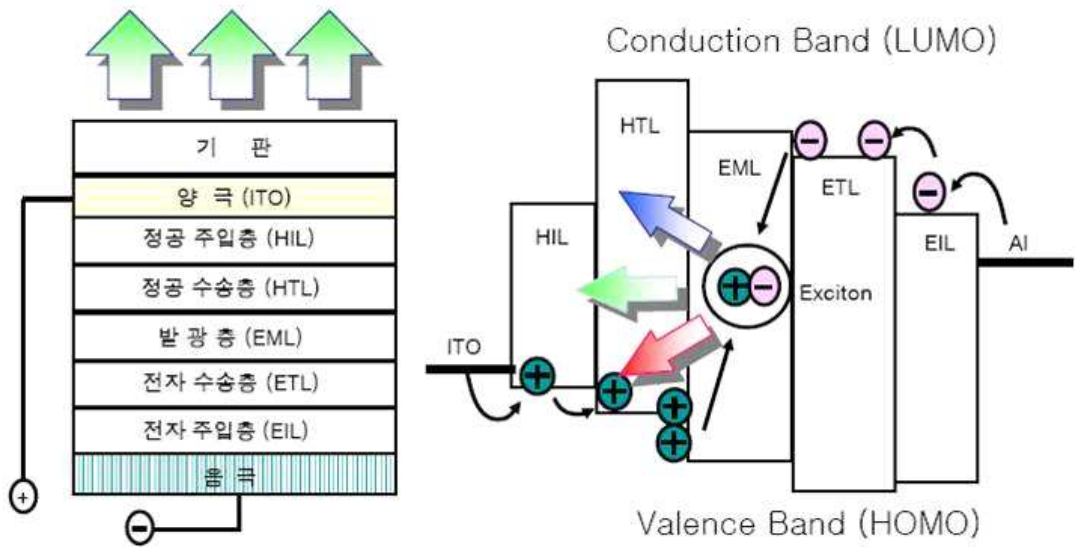
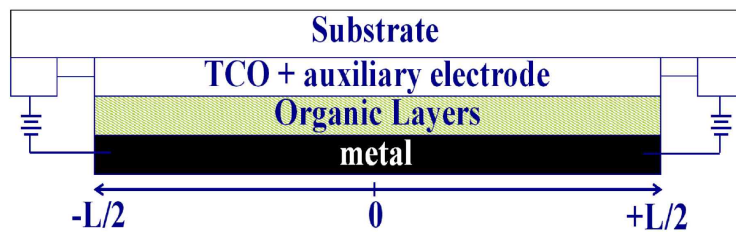
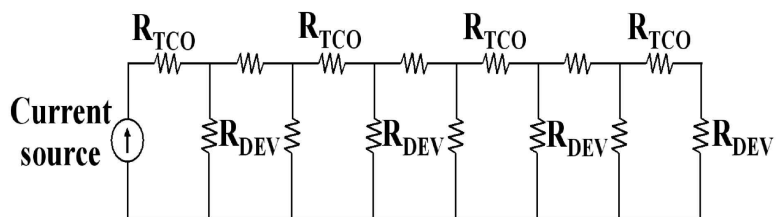


Fig. 5. Structure and the light emitting principles of OLED device¹⁵⁾



(a)



(b)

Fig. 6. (a) Structural diagram of OLED light (b) diagram of OLED lighting

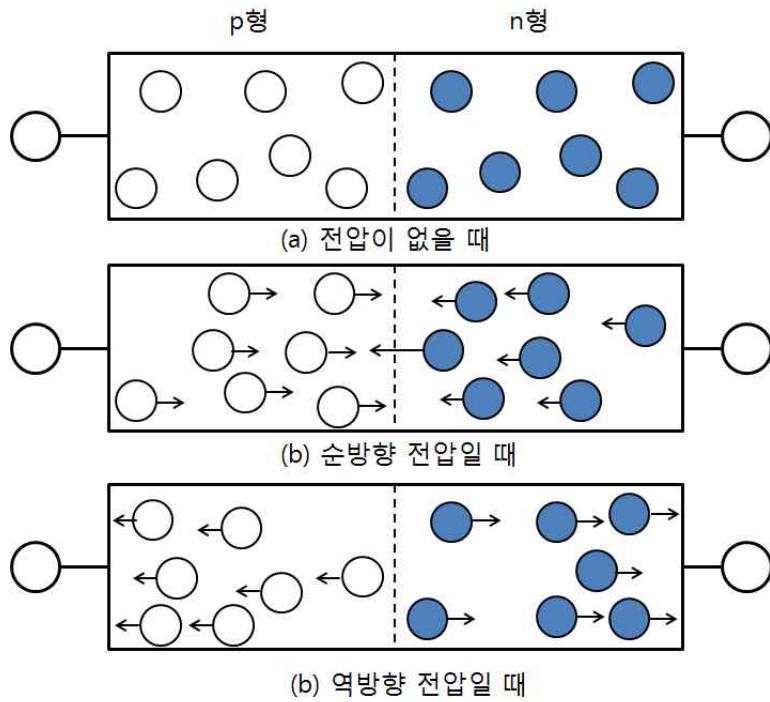


Fig. 7. Diode to conduct (a) equilibrium (b) forward-biased (c) reverse-biased

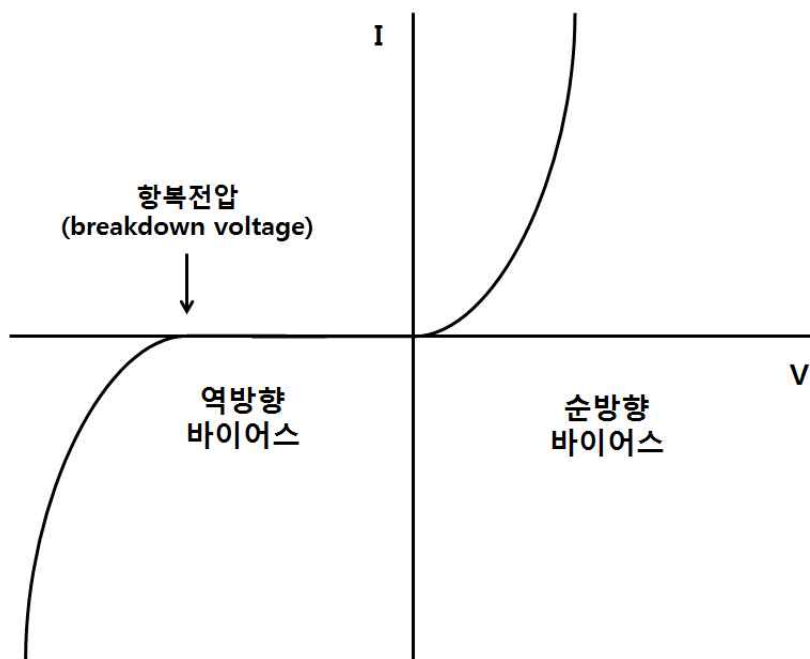


Fig. 8. I-V curve of PN junction

제 2.3절 OLED의 분류

2.3.1 발광재료

OLED는 유기물 층의 발광재료에 따라 분류하는데, 유기물질의 분자 수가 10만 이하인 것은 저분자로, 그 이상인 것은 고분자라고 한다.

1) 저분자 재료

저분자 OLED는 저분자량의 형광색소를 사용하여, 긴 수명과 발광효율 면에서 고분자 OLED보다 유리하나, 솔벤트 등에 녹지 않아 가루 형태의 형광물질을 진공 증착하는 공정 때문에 대형화 및 균일도의 유지가 어려운 단점을 가진다.

2) 고분자 재료

고분자 OLED는 낮은 구동 전압 및 제조공정이 간단하고 솔벤트 등을 이용해 녹인 용액상태로 스프인코팅이나 잉크젯방법을 사용하여 성막하며 고해상도와 대면적 화면 구현에서 저분자 OLED보다 유리하다. 하지만 아직 기술이 검증되지 않았고 수명이 짧아 장수명 기술을 개발 중이다. 또한 색 순도와 발광효율 면에서 저분자 방식보다 기술이 떨어진다.

2.3.2 발광방식

전자가 전류에 의해 여기되어 생성된 엑시톤은 그 전자쌍의 스핀 방향에 따라 단일항 엑시톤과 삼중항 엑시톤으로 나뉜다. 단일항 엑시톤의 경우 전자의 스핀 방향이 쌍을 이루어 있으며, 삼중항 엑시톤은 전자의 스핀방향이 나란히 놓이게 된다. 스핀 통계 법칙에 따라 단일항 엑시톤은 25%의 비율로 생성되면 삼중항 엑시톤의 경우 75%의 비율로 생성된다.

1) 형광

형광은 재결합된 여기자의 25%만을 발광에 이용할 수 있기 때문에, 내부양자효율이 최대 25%이며, 외부양자효율은 이론적으로 약 5%정도 밖에 도달하지 못해 저조하지만, 짧은 여기수명으로 인해 수명으로 인해 손실이 거의 발생하지 않고 기저상태로 천이하

며 발광하기 때문에 높은 효율을 기대할 수 있다.

2) 인광

인광은 전체 엑시톤 75%를 사용함으로써 양자효율은 높일 수 있으나, 엑시톤의 여기 수명이 길고 이로 인한 삼중항-삼중항 소광현상으로 인해 에너지가 열로 손실되어 높은 발광 효율을 기대할 수 없게 된다. 또한 상온에서 높은 인광 효율을 갖는 물질을 찾아내는 것 또한 쉽지 않다. 이러한 문제를 해결하기 위해 중금속에 리간드를 결합하여 분자내의 강한 스핀궤도 상호작용을 일으켜 전이를 빠르게 하여 삼중항 엑시톤의 방사 손실을 줄인다.²⁴⁾

3)하이브리드

형광소재를 사용하는 경우에는 소자 안정성 면에서는 우수하지만 고효율을 얻는데 한계를 가지고 있으며, 인광소재를 사용하는 경우에는 고효율을 얻을 수 있지만 안정적인 청색 소재가 없다는 문제점이 있다. 이러한 두 가지 소재의 문제점을 상호 보완하고자 하는 노력으로 청색은 형광소재를 사용하고 그 외의 색상은 인광소재를 사용하는 하이브리드 방식의 연구가 활발하게 진행되고 있다.²⁵⁾

2.3.3 구동방식²⁶⁾

구동방식에 따라 Fig. 9과 같이 분류할 수 있다. 하나 이상의 TFT를 사용하여 픽셀을 동작 시키는 능동구동 방식과 구동 소자 없이 양극과 음극을 매트릭스 방식으로 교차 배열하여 전압을 인가할 때 양극과 음극이 교차되는 픽셀에서 빛이 발생하도록 하는 수동구동방식으로 분류된다.

1) 수동구동방식(PMOLED; Passive Matrix OLED)

수동형 OLED의 경우 화면표시영역에 양극과 음극이 교차되는 부분인 화소에서 빛이 발생하여 화상을 표시하는 형태이다. 능동형에 비해 제조방법이 간단하나 유기 재료의 열화가 빨리 진행되어 수명이 짧으며, 화면이 커지면서 화소간 간섭이 발생, 응답 속도의 지연, 전력 소모량의 급증 등의 문제가 있으나 제어가 용이하며, 저가의 생산이 가능하고 리드타임이 짧으며 디자인 설계변경이 비교적 간단하여 현재 사용이 많이 줄었으나 저해상도, 소형OLED의 제조 및 조명에 사용되고 있다.

2) 능동구동방식(AMOLED; Active Matrix OLED)

OLED의 경우 화소마다 낮은 전류로 TFT(Thin Film Transistor)구동이 가능하여 소비 전력, 해상도 및 대면적화 측면에서 유리하나 수동형 방식에 비해 제조 공정이 복잡하고 TFT회로 구성이 어렵다는 단점이 있으나 수동형 방식에 비하여 비효율적인 “순차 발광” 단점이 해결가능하기 때문에 전체적으로 동시에 구동이 가능하다.

Table 1. OLED structure according to the driving method

	Passive Matrix		Active Matrix	
구동법	Duty 구동 (Row line 선택시 점등)		Static 구동 (시 점등)	
고휘도 고정세화	△	Row line수 증가에 따라 높은 순간 휘도 요구 Row line수의 한계	◎	Row line 수에 관계없이 고휘도 실현가능
저소비 전력	△	순간휘도=Row line X 휘도 고 전압 구동	○	요구 휘도의 구동전압 구동 저 전압 구동
소형화	○	구동 IC 외장	◎	구동회로 Panel 내부 내장
소자구조	◎	Simple process Low cost	△	저온 poly Si TFT+유기띠 복잡한 Process
*PM의 경우 높은 순간휘도(Lp)가 요구됨 - 수명, 소비전력에 불리				

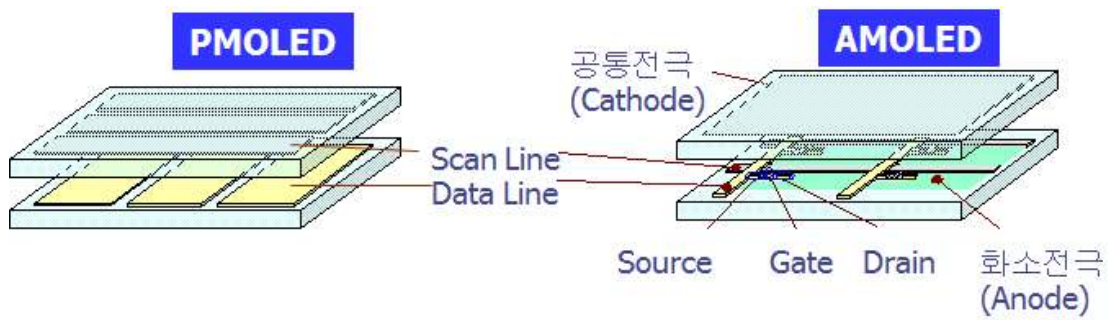


Fig. 9. Structure of PMOLED and AMOLED device

제 2.4절 OLED의 제조공정

2.4.1 기본적인 OLED 제조공정

기본적인 구조를 지닌 OLED의 제조공정은 순서에 따라 패턴 형성공정, 박막증착 공정, 봉지 공정 및 모듈 조립 공정 등으로 크게 분류한다. Fig. 10 은 OLED 조명 소자의 제조과정을 나타낸다. 전형적인 기본 OLED 소자의 제조과정을 나타낸다. 먼저 그림에서의 제조공정과 같이 기판 위에 양극 전극인 IT0를 증착한 후에 photo 공정을 이용하여 patterning을 하게 된다. 기판의 표면에 돌기나 이물질 등은 소자의 단락 및 쇼트를 초래할 수 있기 때문에 반드시 제거되어야 한다. 보통 IT0의 면저항은 약 $10\Omega/\square$ 정도이며, 일함수는 대략 5.0 eV 정도이다. 이후, 세정된 IT0/Glass 기판은 약 100°C 로 열처리하여 진공 증착을 하게 되는데, 이는 기판 상에 존재할 수 있는 수분을 제거하기 위한 것이다. 수분은 전극의 부식시키거나 화면의 흑점을 야기할 수 있으므로 없애야 한다. 다음 공정부터는 진공이나 질소 등의 기체 분위기 하에서 진행하게 되는데, 유기 발광층을 형성한 후에 음극 전극을 증착하고 매트릭스를 구성하기 위해 다시 전극을 패터닝하게 된다. 일반적으로 유기물 증착은 다층으로 도핑(doping)이 필요하기 때문에 여러 개의 증착원이 필요하며, 동일한 증착장비에서 다른 증착원에 의한 오염의 문제를 방지하기 위해 셔터(shutter)을 반드시 설치하여야 한다. 음극 재료로서 Si 이 많이 사용되는데 이는 Ca, Li, Cs 등과 같은 알칼리 금속의 전극보다 산화에 강하며 타 금속에 비하여 일함수가 낮고 전기전도도가 우수하다. 그리고 소자의 봉지공정으로는 cover Glass, 금속 케이스나 보호막을 이용하여 소자를 감싸게 되며, 미량의 수분이라도 침투하지 않도록 건조제로서 산화바륨(BaO_2)을 함께 봉입하게 된다. 다음 단계로 외부 구동 회로부와 접속하여 모듈조립 공정으로 마무리한다. 이상과 같이 제조공정은 매우 간단하여, 제조 온도가 낮아 생산성 등에서 많은 장점을 가진다.²⁶⁾

2.4.3 OLED 증착기술

OLED는 이미 기술한 바와 같이 발광재료, 적층 방법 및 구동 방식 등에 따라 여러 종류로 분류할 수 있다. 따라서 증착장비도 매우 다양하지만, 저분자 OLED의 제조장비는 진공 열증착 장비(thermal evaporation system)를 주로 사용한다. 증발 증착으로

박막을 형성하는 방법은 1857년 Faraday가 처음 개발하였는데, 불활성 기체 내에서 금속 wire를 폭발시키는 방식으로 박막을 증착하였다. 이후 1887년 Nahrwold는 백금 wire를 Joule heating 시키는 방법으로 박막을 형성하였다. 유기 재료는 무기 재료와 달리 높은 증기압을 가진 물질이 많고, 증발이 가능한 온도도 100~500℃ 까지 폭넓게 분포한다. OLED에서 사용하는 재료는 다음과 같은 특성을 갖는다. ①높은 증기압을 가지며, ②고온에서 분해 및 변성이 용이하지 않고, ③분말 상태에서 열전도도가 낮다. 또한, Full color를 위해 host 재료에 첨가되는 도펀트(dopant) 재료의 비율은 0.5~2 mol% 정도로 조절이 가능하여야 한다. 박막 증착의 원리는 진공 중에 금속이나 합금 등을 가열하여 증발하는 입자들이 기판의 표면에 박막을 형성하는 방법으로, 이를 진공 증착 박막법이라 한다. 증착되는 재료의 형성 단계를 살펴보면, 고체나 액체 상태의 재료가 기상으로 천이하여 소스(source)로부터 기판으로 이동하고, 기판에 도달한 기상의 재료가 응축하면서 박막을 형성한다. 이러한 증착법은 장치의 구성이 비교적 간단하고, 다양한 물질을 적용할 수 있으며, 박막의 형성 원리가 용이하기 때문에 박막 성장이나 핵 생성이론 및 박막의 물성에 대한 분석이 쉽다는 등의 특징이 있다. 박막을 증착하기 위해 증착 물질은 충분히 기상이 되어 vapor하도록 가열하여야 하며, 이를 위해 증발원(evaporation source)이 필요하다. 이때, 증발원이 갖추어야 할 요건으로는 먼저 증착 물질과 반응이 없어야 하고, 가열하였을 때에 자체 증기압이 낮아야 하며, 산소나 질소 등의 분해가스가 발생하지 않고, 가공성 및 열적인 순응성이 우수하여야 한다. 만일, 증착 물질과 증발원의 재료가 화학적으로 반응을 일으키게 되면, 오염 물질을 방출하거나 녹는점이 변할 수 있다. 증발원의 소재로 가장 적합한 재료로는 녹는점이 높은 내화성 금속, 산화물, BN(boron nitride) 및 carbon 등이 있으며, 저분자용 OLED에서는 텅스텐(W) wire 열선으로 사용한다. 기존에는 텅스텐 재질의 boat가 장착된 저저항 가열방식의 증발원을 이용하여 유기 재료를 증착시켰지만, 가열시에 발생하는 열분포의 불균형으로 인하여 유기 재료와 금속 증발원의 접촉부분에 변성이 일어날 가능성이 있어 큰 문제가 될 수 있다. 따라서 열전도가 양호하고 증발속도에 대해 조절이 용이한 구조를 가진 증발원의 개발이 매우 중요하다. OLED에는 여러 종류의 재료가 적층 구조로 박막을 구성되어 만일 동일한 진공 챔버 내에서 증착할 경우, 유기 증발원 상호 간의 영향이 불가피하며, 더욱이 도펀트를 사용하게 되면 상호 오염의 정도가 한층 심각하게 소자에 영향을 미칠 것이다. 그러므로 full color소자를 제작하기 위해 기판 상의 고정세화 증착 패턴을 형성할 수 있는 metal shadow mask에 관련한 기술도 갖추어야 할 것이다. OLED 소자는 일반적으로 투명 전도성의 양

극과 음극 전극 사이에 여러 층의 유기층을 포함하여 구성하는데, 즉 ITO, 절연층, HIL, HTL, EML, ETL, HBL 및 음극을 차례로 적층한 구조이다. 이상 기술한 OLED의 각 공정은 순차적으로 수행하게 되는데, 다음과 같은 특성을 잘 고려하여야 한다.

- ① 대화면 기판에 균일한 표면 특성을 가진 박막의 증착이 가능하여야 한다.
- ② 봉지공정에서 지연되는 TCAT time이 단축되어 일광공정에서 생산 효율이 극대화 되어야 한다.
- ③ Full color 소자의 생산이 가능한 미세 alignment 기술을 확보하여야 한다.
- ④ 재료의 안정적인 공급과 관련된 주변 기술의 개선이 필요하다.
- ⑤ shadow mask에 의한 유기막의 오염을 방지하여야 한다.

이와 같은 OLED의 특징을 고려하여 지속적인 개선이 이루어져야 할 것이다.¹⁵⁾²⁶⁾

2.4.4 전산모사 방법

유기 화합물 박막층에서의 전하 이동도를 전산 전산모사를 해석하기 위한 방법으로 Poole-Frenkel 모델이나 W.G. Gill 모델이 일반적으로 적용되어지고 있다.

1) Poole-Frenkel 모델

Poole-Frenkel mobility 모델은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\mu_{nPF}(E) = \mu_{n0} \exp\left(-\frac{DELTAEN.PFMOB}{kT_{peff}} + \left(\frac{BETAN.PFMOB}{kT_{peff}} - GAMMAN.PFMOB\right)\sqrt{|E|}\right) \quad (2-15)$$

$$\mu_{pPF}(E) = \mu_{p0} \exp\left(-\frac{DELTAEP.PFMOB}{kT_{peff}} + \left(\frac{BERAN.PFMOB}{kT_{peff}} - GAMMAP.PFMOB\right)\sqrt{|E|}\right) \quad (2-16)$$

여기서 μ_{nPF} 와 μ_{pPF} 는 각각 Poole-Frenkel의 전자와 정공의 이동도를 나타낸다. 또 μ_{n0} 와 μ_{p0} 은 각각 전자와 정공의 zero field mobility 이고 E는 electron field 이다. DELTAEN.PFMOB 와 DELTAEP.PFMOB는 각각 정공과 전자의 zero electric field 활성화 에너지 이다. BETAN.PFMOB와 BETAP.PFMOB는 각각 전자와 정공의 Poole-Frenkel 인자이다. T_{neff} 는 전자의 유효온도로 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$T_{neff} = \frac{T0N.PFMOB T_L}{T0N.PFMOB - T_L} \quad (2-17)$$

T_{peff} 는 전자의 유효온도로 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$T_{peff} = \frac{T_0 P.PFMOB T_L}{T_0 P.PFMOB - T_L} \quad (2-18)$$

만약 EON,PFMOB, EOP.PFMOB, EONauto.PFMOB, EOPauto.PFMOB등을 사용할 경우 단순화된 poole-Frenkel 공식을 사용할 수 있다.²⁷⁾

$$\mu_{n_{PF}}(E) = \mu_{n0} \exp\left(-\frac{DELTAEN.PFMOB}{kT_{neff}} + \sqrt{\frac{|E|}{EON.PFMOB}}\right) \quad (2-19)$$

$$\mu_{p_{PF}}(E) = \mu_{p0} \exp\left(-\frac{DELTAEN.PFMOB}{kT_{neff}} + \sqrt{\frac{|E|}{EOP.PFMOB}}\right) \quad (2-20)$$

2) W.G.Gill 모델

W.G.Gill 모델은 전계 효과와 온도의 영향을 동시에 고려한 것으로 (2-21)로 나타내어진다.

$$\mu(T,E) = \mu_{01} \exp\left[-\frac{\Delta E - \beta_{PF} \sqrt{E}}{K_B T_{eff}}\right] \quad (2-21)$$

$$\frac{1}{T_{eff}} = \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \quad (2-22)$$

여기에서 μ_{01} , β_{PF} , T_0 는 실험 데이터 곡선으로부터 구할 수 있는 상수들이고, ΔE 는 무전계시의 활성화 에너지(activation energy)이며 T는 유기 박막층의 온도이고 K_B 는 볼츠만 상수를 각각 나타낸다.²⁸⁾

그러나 위의 2-17와 같은 온도 인자를 고려하는 경우는 많은 실험을 통하여 각각의 유기물 재료에 대한 온도별로 전하 이동도의 전계 의존성 그래프를 구하여 상수 인자들을 도출해야함 하는 어려움이 있다.²⁸⁾²⁹⁾

그래서 본 논문에서는 IV-curve와 total current density를 구하기 위하여 상기 Poole-Frenkel 관계식에서 필요로 하는 전자 정공의 이동도와 band gap등을 기초데이터로 적용였다.

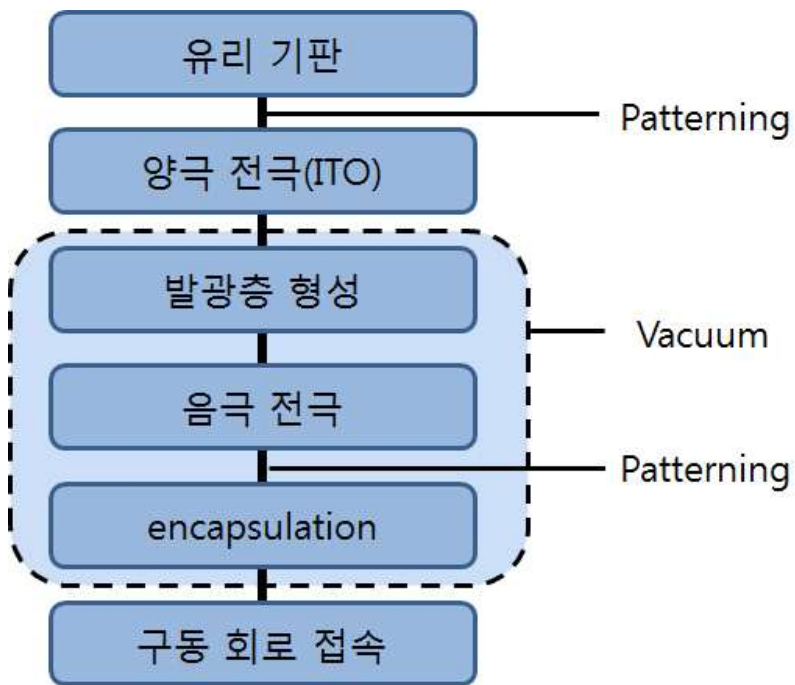


Fig. 10. Fabrication process of OLED lighting device

제 3 장 실험 방법

제 3.1절 OLED 소자 제조

유기물 층을 증착하기 전에 기판의 표면 상태가 증착된 박막의 특성에 커다란 영향을 미치기 때문에 본 실험에서는 OLED소자를 제작을 위하여 150 nm두께로 패터닝된 30×30 mm² ITO(Indium Tin Oxide, 신한)glass를 Cleaning Station을 이용하여 30분간 soap처리를 하였으며 QDR(Quick Dump Rinse)과 SRD(Spin Rinse Dry)은 각각 15분간 세척하여 준비하였다. Fig. 11의 유기 증착 장비를 사용하여 세척된 ITO 기판을 Load Lock Chamber에 넣고 진공을 만든 후 로봇암 으로 Plasma Treatment Chamber에서 플라즈마 처리를 하였다. 플라즈마의 발생조건은 O₂ 가스를 50 SCCM 유량을 주입하며 RF power를 150W로 설정한 뒤 90초간 플라즈마 처리를 하였다. 발생된 Plasma는 ITO를 세정할 뿐만 아니라 ITO표면에 산소를 추가하여 일함수를 높이는 역할을 한다. Alq₃과 NPB층은 thermal evaporation법을 사용하여 Mask를 이용하여 기판을 회전시키면서 증착하였고 증착 두께는 각각 40 nm이었다. 양극으로써는 Si 증착하였으며 두께는 100 nm 이었다. 증착이 완료된 OLED 소자는 수분과 산소에 매우 취약하기 때문에 진공이나 불활성 기체 내에서 밀봉 패키징을 하여 테스트소자를 제조하였다.

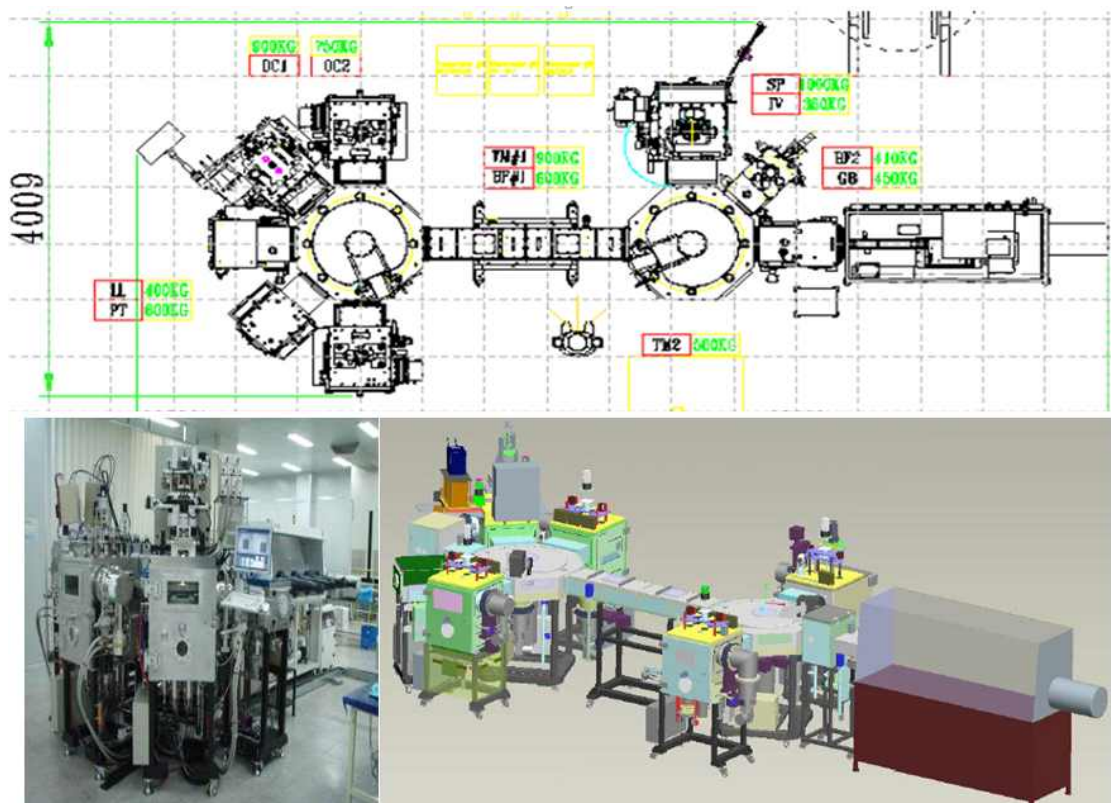


Fig. 11. Thermal evaporator for fabrication of devices

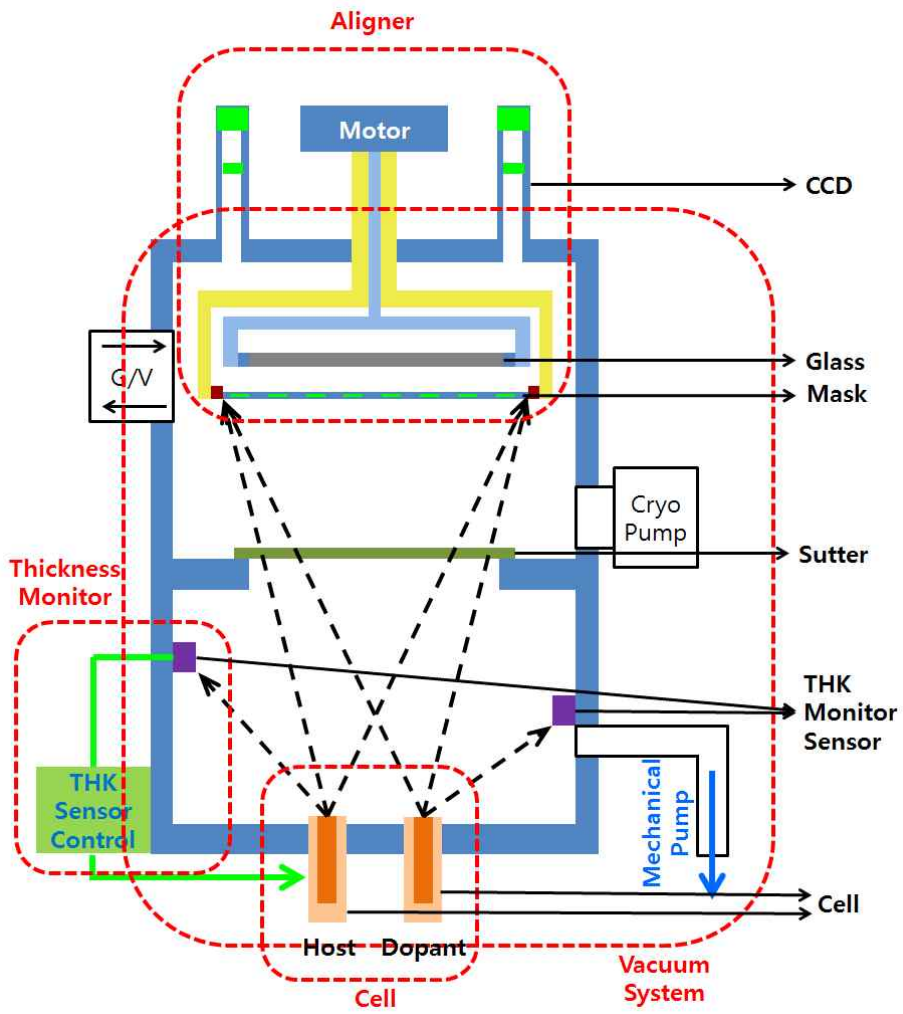


Fig. 12. Structure of OLED thermal evaporator chamber



Fig. 13. manufactured OLED lighting test device

제 3.2절 소자측정

테스트 소자로 제조된 2 mm x 2 mm 크기의 OLED 소자는 Source meter(Kiethley 2440)을 사용하여 전류-전압 특성과 휘도를 chromameter(Minolta CS-1000)에 의해 평가하였다. 전류-전압과 휘도는 1 V에서 5 V까지 step 0.1 V단위로 전기적 특성을 비교 분석하였다.

제 3.3절 전산모사 모듈제작

대면적 OLED 조명 소자제작을 하기 위한 전산모사 프로그램은 silvaco(제조사)의 ATLAS Tool을 사용하였다. ATLAS는 물리학 기반의 2D와 3D 전산모사 프로그램으로 VWF(Virtual Wafer Fab) INTERACTIVE TOOLS로 제작되었다. VWF로는 DECKBUILD, TONYPLOT, DEVEDIT, MASKVIEWS, OPTIMIZER 가 포함된다. ATLAS의 전기적 특성으로는 UTMOST device적 성격과 SPICE modeling 소프트웨어이다. Fig. 14는 ATLAS의 입력과 출력을 보여준다. 대부분의 ATLAS는 2가지 값을 입력한다. 첫번째는 아틀라스를 실행하기 위한 명령어 및 텍스트파일이며 두 번째는 전산모사의 구조를 규정하는 구조 파일이다. 아틀라스는 3가지의 출력파일을 보인다. 제 1유형은 전산모사로서 경과과정과 에러를 보여주는 Run-Time output 제 2유형은 장치분석으로부터 모든 단자의 전압과 전류를 저장한 로그파일이다. 제 3유형은 2D와 3D로 바이어스 포인트의 변화되는 값을 표시하는 Solution files 이다. 전산모사를 위한 OLED 소자의 기본구조는 Fig. 15에서 보이는 것 같이 Al(cathode) /Alq3 /NPB /Insulator /Silver(auxiliary Electrode) /ITO /Glass로 anode 보조전극간 거리는 1000 μm 로 구성하였다. 또한 보조전극이 미치는 영향을 알아보기 위하여 전극으로 음극은 Al을 양극으로는 Silver 보조전극을 설정하였으며 ITO는 면저항을 갖는 conductor 로 설정하였다. 전산모사 변수로써는 auxiliary Electrode의 간격을 1000 μm , 2000 μm , 4000 μm , 8000 μm 으로 하고, NPB 과 Alq3의 두께를 각각 50 nm, 100 nm, 200 nm으로 설정하였다. 전산모사에 사용된 파라미터는 Table. 2 에서 나타내었으며 그 외의 물질에 대한 파라미터는 ATLAS Tool에서 제공하였으며 기타 필요한 인자는 논문을 통해 얻었다.³²⁾³³⁾³⁴⁾³⁵⁾³⁶⁾

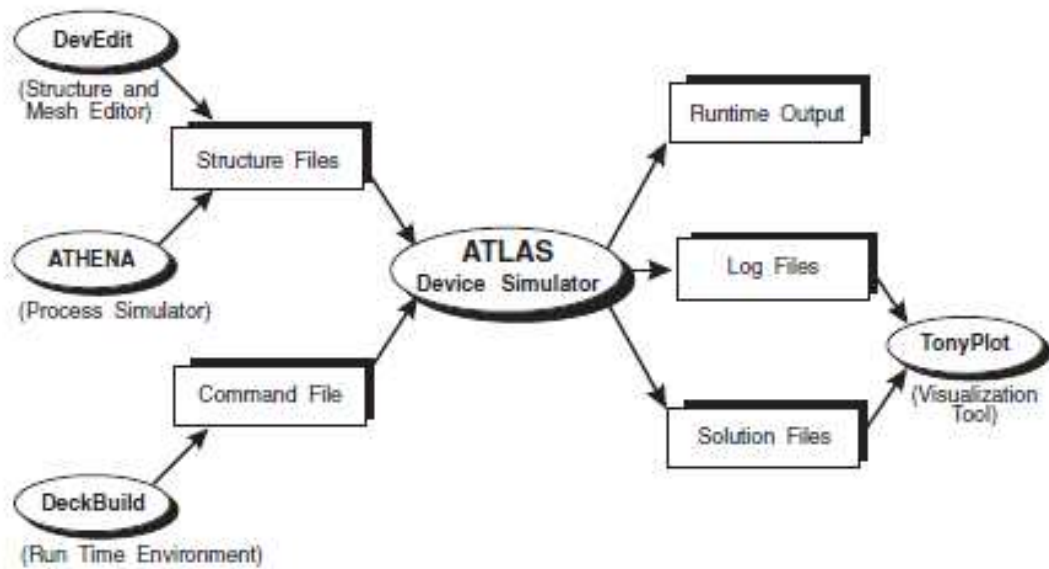


Fig. 14. Input and output of ATLAS system.

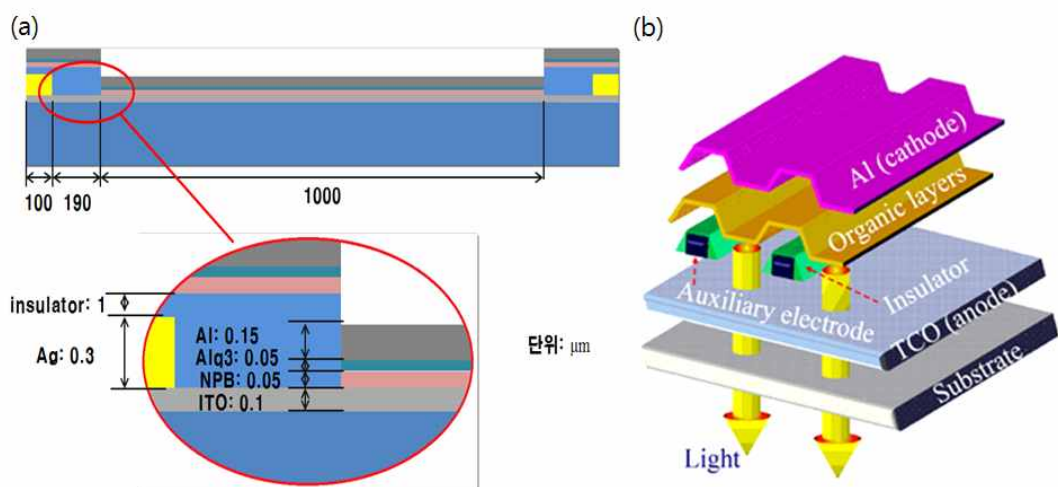


Fig. 15. Base structure of OLED lighting devices for simulation

Table 2. Material parameter used simulation of the OLED lighting devices

	Band gap (eV)	Zero field Hole mobility (cm ² /Vs)	Zero field Electron mobility (cm ² /Vs)	Electron affinity (eV)	Work function (eV)	resistivity (Ω · cm)
Alq3	2.8 ⁽³⁵⁾	9.16e-10 ⁽³²⁾	1.51e-7 ⁽³²⁾	2.8 ⁽³⁴⁾		
NPB	2.3 ⁽³⁵⁾	5.28e-6 ⁽³²⁾	2.6e-4 ⁽³²⁾	2.4 ⁽³⁴⁾		
silver					4.52~4.74 ⁽³⁶⁾	
Al					4.06~4.26 ⁽³⁶⁾	
ITO						10 ⁻⁴⁽³³⁾

제 4 장 결과 및 고찰

제 4.1절 시뮬레이터의 검증

본 연구에서 사용되는 전산모사의 타당성을 검증하기 위하여 실험을 통해서 제조된 테스트 소자와 전산모사를 통해 얻어진 전류-전압 결과를 검증하기 위하여 Fig.16에 나타내었다. 테스트 소자는 Al(150 nm)/ Alq3(40 nm)/ NPB(40 nm)/ IT0(100 nm)/ Glass로 구로 제조되었으며 발광면적은 2×2 mm²이다. 전산모사를 사용된 구조는 Al(150 nm)/ Alq3(40 nm)/ NPB(40 nm)/ IT0(100 nm)/ Glass로 소자의 크기를 1 mm로 설계하여 전산모사를 검증한 I-V 곡선을 특성의 비교를 통하여 이루어졌다. 그림에서 보여 주는 것처럼 테스트소자의 경우 구동전압은 2.0 V 이었지만 전산모사에서 사용된 모듈에서는 1.8V로 전산모사에 사용된 모듈에서 0.2 V정도 작게 나타났다. 또한 5 V 에서 테스트소자의 경우 전류는 1.192 A 이고 전산모사에 사용된 모듈에서는 1.277 A 로 전산모사에서 사용된 모듈에서 조금 높게 나타났다. 이와 같은 결과로부터 테스트 소자에서 얻어진 결과와 전산모사를 통해 얻어진 결과는 오차범위에 해당되며 거의 같은 결과를 얻었다.

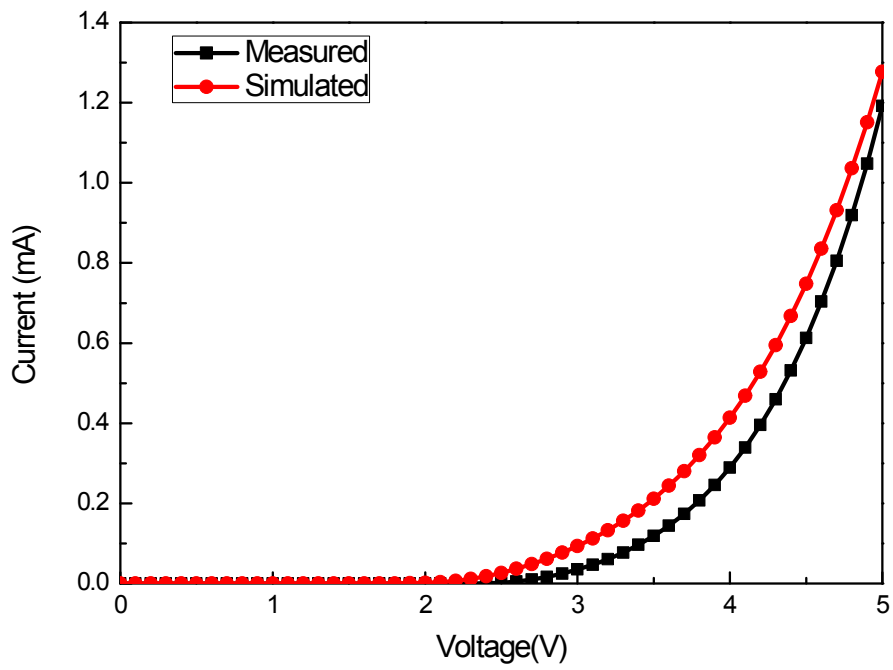


Fig. 16. I-V Characteristics of Simulated model and Measured model

제 4.2절 보조전극간 거리에 따른 IV-curve 특성

Fig. 17은 기본구조 중에서 양극 보조전극의 간격을 1000 μm , 2000 μm , 4000 μm , 8000 μm 로 변화시킨 모듈에 전류를 0 V에서 5V 까지 변화시켜 전산모사한 전류-전압 곡선을 나타낸 것이다. Fig. 17에서 보여주는 것처럼 보조전극의 간격을 1000 μm 에서 8000 μm 까지 증가시켜도 전류-전압 곡선은 거의 변화하지 않았다. 이와 같이 보조전극의 간격이 증가하여도 전류-전압 곡선이 변화하지 않는 것은 Schottky equation 식으로 설명할 수 있다.³⁷⁾

$$I = I_{sat} \left[\exp\left(\frac{qV_d}{nkT}\right) - 1 \right], \quad V = V_{ext} - IR_B \quad (4-1)$$

여기서 n은 이상계수로서 이상적인 schottky 접합이 형성될 경우 1의 값을 가진다. V_d 는 인가된 바이어스이고, T는 온도, k는 볼츠만 상수, 그리고 I_{sat} 은 포화전류이다. 포화전류(I_{sat})는 일반적으로 다음의 식으로 나타낸다.

$$I_{sat} = SA^* T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_B}{kT}\right) \quad (4-2)$$

여기서 Φ_B 는 effective barrier height, S는 다이오드의 전극 면적 그리고 A^* 는 Richardson 계수이다. 순방향 전압 강하(V_F)는 아래와 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$V_F = \frac{nkR}{q} \ln \left[\frac{J_F}{A^* T^2} \right] + n\Phi_B + R_{on} J_F \quad (4-3)$$

여기서 J_F 는 V_F 에서의 전류 밀도이고, 때문에 전류밀도 등의 값이 같다고 가정할 경우 소자의 저항에 변화가 없어 전류-전압 곡선에 큰 변화가 없는 것으로 사료된다.³⁸⁾³⁹⁾

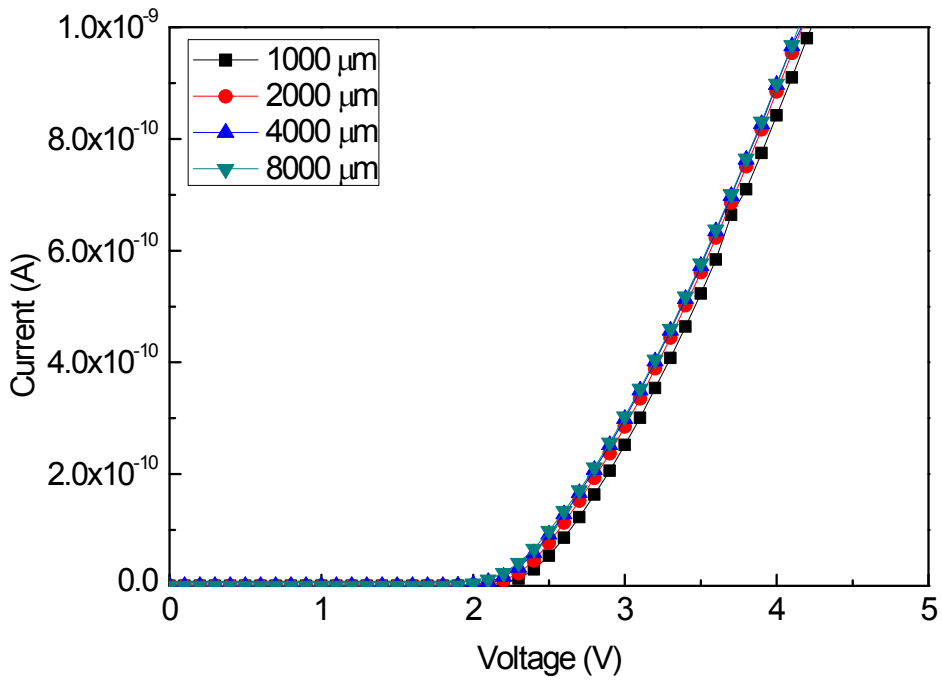


Fig. 17. I-V curve by the space of auxiliary electrode

제 4.3절 보조전극간 거리에 따른 Total current density 특성

Fig. 18은 기본구조 중에서 보조전극의 간격을 1000 μm , 2000 μm , 4000 μm , 8000 μm 으로 변화시킨 모듈에 전류를 0 V에서 5 V 까지 변화시켜 전산모사한 Total current density를 나타낸 것이다. 보조전극간 간격을 1000 μm , 2000 μm , 4000 μm , 8000 μm 으로 변화시킨 모듈의 edge에서의 total current density는 각각 1.68E-7 A/m², 1.48E-7 A/m², 1.4E-7 A/m², 1.38E-7 A/m²으로 anode보조전극간 거리가 멀어짐에 edge에서의 total current density가 소폭 감소하였고 center에서의 total current density는 각각 4.86E-8 A/m², 1.75E-8 A/m², 5.59E-9 A/m², 1.44E-9 A/m²로 보조전극간 간격이 1000 μm 와 8000 μm 의 total current density는 30배 이상의 차이를 나타내었다. 이는 전기전도로 설명할 수 있다. 전도체 속의 어떤 점을 단위 시간에 흐르는 전하량이 전류이며, 전류의 방향이 수직인 단위 단면적을 통과하는 전류는 전류밀도 j 이다. 운반에 관한 일반 법칙에 의하면 x -축 방향으로 전류가 흐를 때 그 전류밀도는 아래와 같은 식에서와 같이 전위의 기울기에 비례한다.

$$j = -k \frac{\sigma \Phi}{\sigma x} \quad (4-4)$$

비례상수 k 는 그 도체의 전도율이다. 전기장 E 는

$$E = -\sigma \Phi / \sigma x \quad (4-5)$$

로 정의되며 따라서 (4-4)식은 (4-5)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$j = kE \quad (4-6)$$

위의 식(4-4)와 식(4-5) 둘 다 Ohm의 법칙을 나타내는 식이다. Ohm의 법칙을 더 일반적인 꼴로 변환시키기 위해서 길이가 l 이고 단면적이 A 인 전도체를 생각할 때 이 전도체의 양단 사이의 전위차를 $\Delta \Phi = \Phi_2 - \Phi_1$ 이라도 하면 $E = (\Phi_2 - \Phi_1) / l = \Delta \Phi / l$ 로 된다. 이 전도체를 흐르는 전류 I 와 전류 밀도 사이에는 $I = jA$ 의 관계가 있다. E 와 j 에 관한 이들 식 $j = kE$ 를 넣으면 식(4-7)이 나온다.

$$I = \frac{kA\Delta\Phi}{l} \quad (4-7)$$

또한 전도도는 $L=kA/l$ 로 정의된다. 따라서

$$I = L\Delta\Phi \quad (4-8)$$

전도체의 저항 R 은 $R=1/L=l/kA=\rho l/A$ 로 정의된다. 여기서 $\rho=1/\kappa$ 은 저항도이다. 이 정의를 사용하면 Ohm의 법칙인 다음 식으로 나타낼 수 있다.⁴⁰⁾

$$\Delta\Phi = IR \quad (4-9)$$

이러한 Ohm법칙은 보조전극간 거리가 멀어짐에 따라서 IT0의 저항으로 인하여 생긴 것으로 사료된다.

Fig. 19는 Fig. 18의 결과로부터 edge와 보조전극간간격의 20%지점의 total current density의 비를 나타낸 그래프이다. Anode 보조전극 간격이 1000 μm 에서 60%, 2000 μm 에서 32%, 4000 μm 에서 12%, 8000 μm 에서 3%로 total current density의 비는 보조전극의 간격과 반비례하였다. 이것은 일반적으로 OLED의 투명전극으로 사용되는 IT0의 높은 저항으로 인해 발생하는 IR-drop이 보조전극의 간격이 가까워짐에 따라 감소하는 것이다.²²⁾ Fig. 20는 DMS에서 PSPICE Tool을 사용하여 OLED Panel의 전류 분포를 전산모사 결과를 보여 주고 있다. Fig. 20(a)와 (b)는 보조전극 두께와 폭에 따른 전산모사한 결과로써 전류 비균일도가 각각 36.06%, 16.7%, 15.4%, 11.6%로 나타났다. 이것은 본 논문의 결론과 일치하며 보조전극이 OLED panel에 있어 발광 균일도에 큰 기여를 하는 것으로 생각된다 하지만 보조전극의 간격을 최소화하여도 IR drop를 완전히 제거할 수 없다는 의미로 해석할 수 있다.

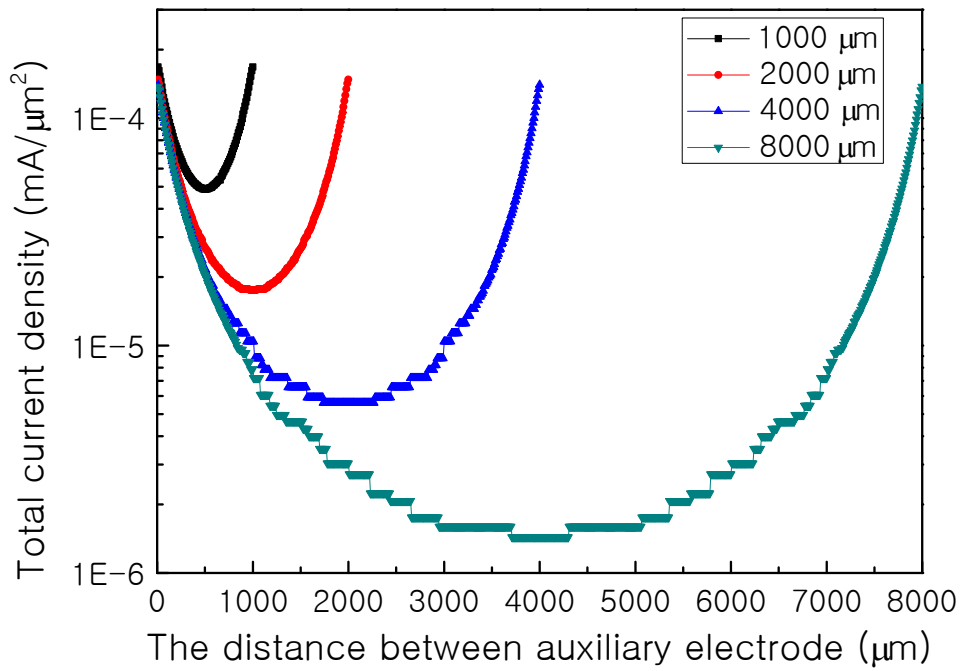


Fig. 18. Total current density by the space of auxiliary electrode

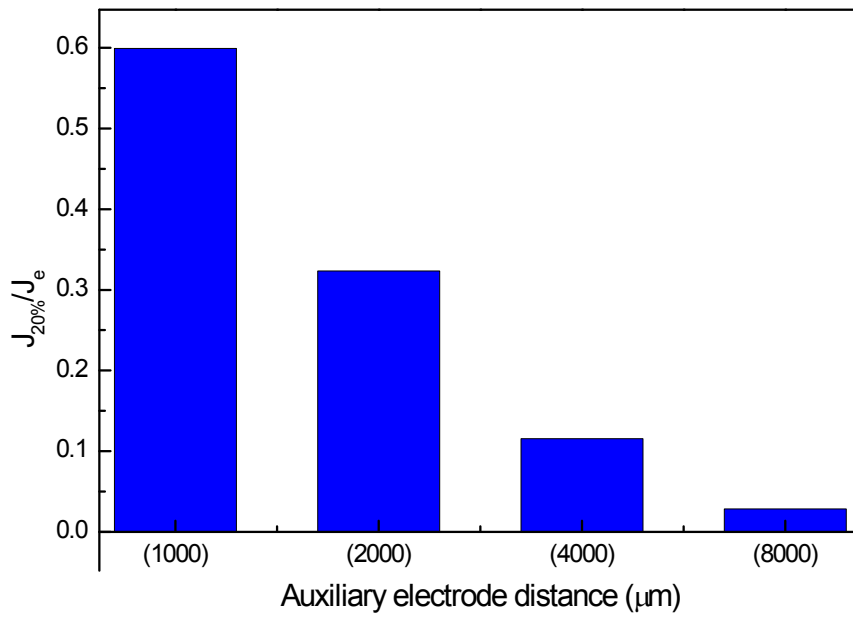
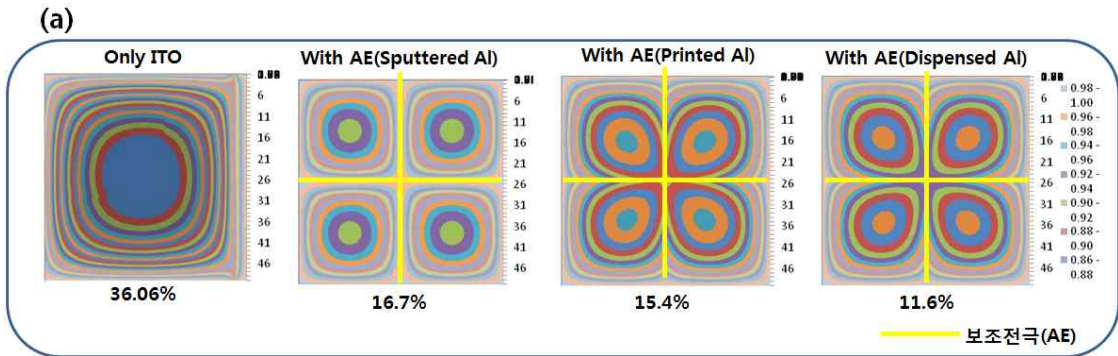


Fig. 19. Total current density rate of 20% points from edge of auxiliary electrode



(b)

분류	두께	금속전극 폭	전류 비 균일도
w/o AE.	-	-	36.1%
Sputter Al	0.3 μm	500 μm	16.7%
Printing Al	2 μm	100 μm	15.4%
Dispensing Al	10 μm	300 μm	11.6%

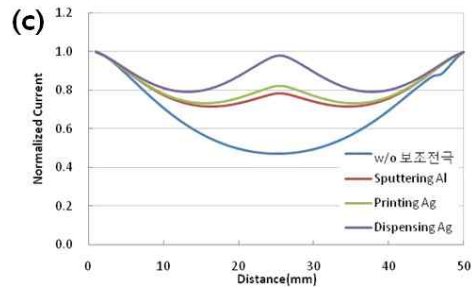


Fig. 20. Current uniformity at $50 \times 50 \text{ mm}^2$ simulation device

제 4.4절 Alq3 두께에 따른 전류-전압 곡선 및 Total current density 특성

Fig. 21은 전산모사의 기본구조 중 흡수층 층으로 사용되어진 NPB를 50 nm로 고정하고 전자 수송층이자 발광층으로 사용되어진 Alq3층의 두께를 50 nm, 100 nm, 200 nm로 변화시켰을 때의 전류-전압 곡선 이다. 두께가 변화하여도 구동전압은 1.8V로 동일한 결과를 나타내었으나 전류-전압 곡선의 기울기는 감소하였다. Alq3층의 두께가 증가함에 따라 I-V곡선의 기울기가 감소하는 이유는 Alq3층의 두께가 증가함에 따라 소자의 저항이 증가하여 때문으로 사료된다. Fig. 22는 Fig. 21과 동일한 조건으로 전산모사하여 얻어진 total current density의 결과를 나타낸 것이다. Alq3의 두께 50nm에서의 total current density는 edge부분에서 $2.62E-4 \text{ mA}/\mu\text{m}^2$ 이고 중앙에서 $1.15E-4 \text{ mA}/\mu\text{m}^2$ 로 total current density는 56%의 차이를 나타내었으며 100nm에서는 $7.03E-5 \text{ mA}/\mu\text{m}^2$ 와 $5.37E-5$ 24%의 차이가 나타났고, 200nm에서는 $9.04E-6$ 와 $8.62E-6$ 로 5%의 차이를 나타내었으며 Alq3의 두께가 증가함에 따라 total current density는 감소하였으나 IR drop은 증가하였다. 이것은 유기 티에 사용되는 많은 유기 반도체 재료는 낮은 전계 ($<10^4 \text{ V/cm}$)에서 전기적으로 절연체적인 특성을 나타내는 경우로 생각할 수 있다. 예를 들어 안트라센진공 증착막은 $10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$ 의 저항률을 나타낸다.¹⁵⁾⁴¹⁾ 또한 Fig. 6번과 같이 OLED 소자 저항 등가모델에서 보듯이 수직방향으로 투명전극저항(R_{ITO})이 수직방향으로 소자저항(R_{TCO})보다 상대적으로 높으면 전류는 패널 가장자리 부근에서 소자로 흐르게 되어 발광균일도는 저하된다.²²⁾

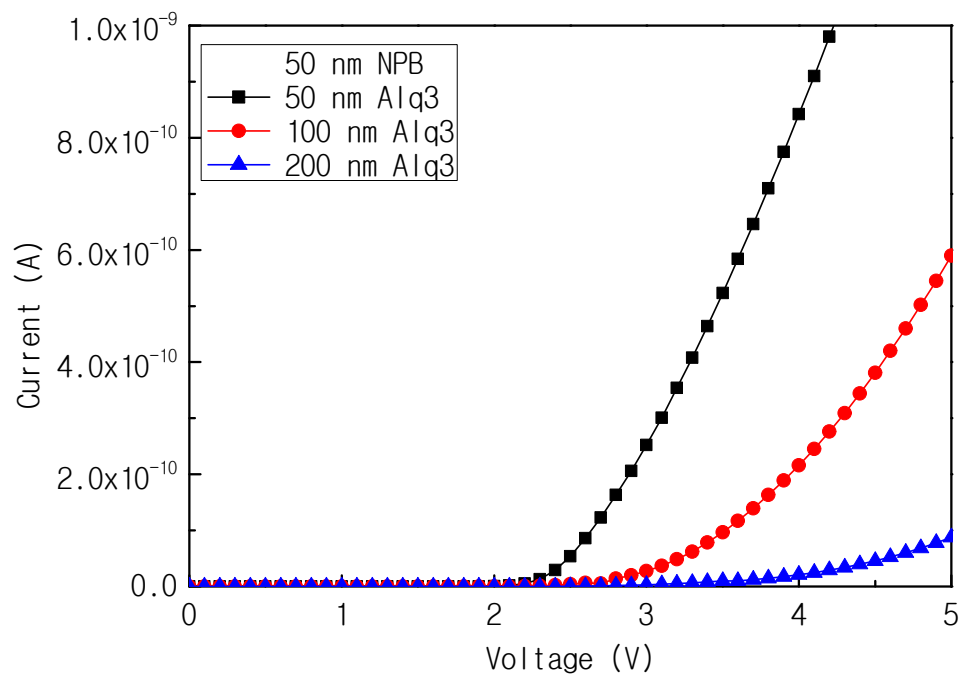


Fig. 21. I-V curve by thickness of 50 nm, 100 nm and 200 nm Alq3 layer

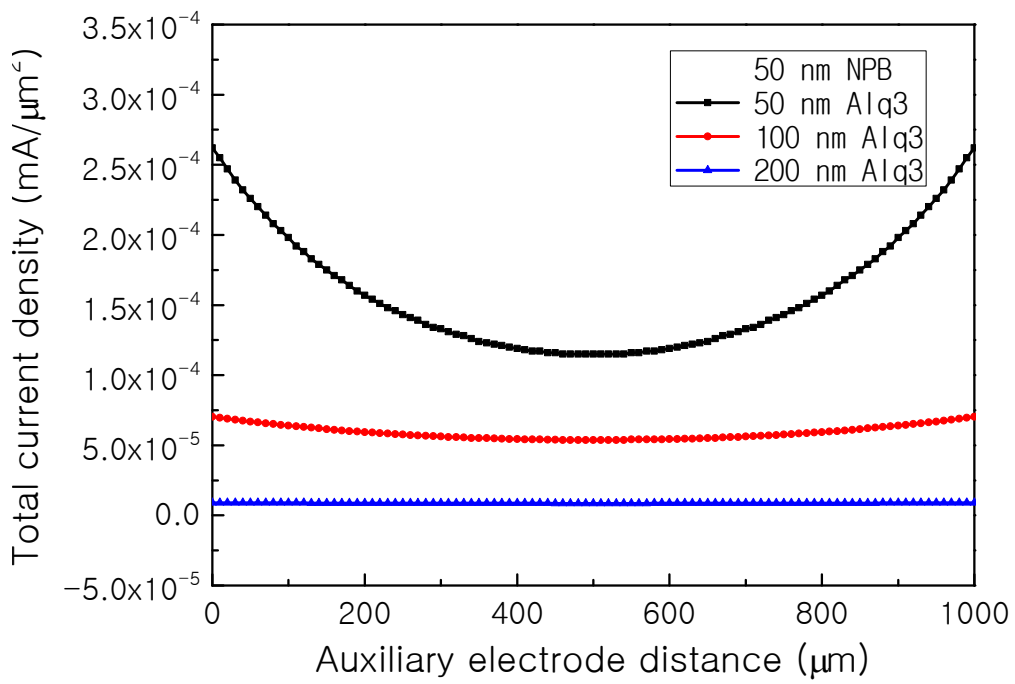


Fig. 22. Current density by thickness of 50 nm, 100 nm and 200 nm Alq3 layer

제 4.5절 NPB 두께에 따른 전류-전압 곡선 및 Total current density 특성

Fig. 23은 기본구조 중 Alq3를 50nm로 고정하고 NPB의 두께를 50 nm, 100 nm, 200 nm로 변화시켰을 때의 결과로써 Fig. 19를 NPB층의 두께가 증가하여도 구동전압은 1.8 V로 크게 변화하지 않았으나 기울기는 소폭 감소하였다. Fig. 24은 NPB층의 두께 변화에 따른 total current density의 결과로써 NPB층의 두께가 증가는 Alq3의 두께와 같은 경향성을 보였다. 하지만 발광층의 Alq3 층의 영향력이 더 컸다. 이는 소자에 전압을 인가하면 상대적으로 주입 장벽이 낮은 ITO/NPB 계면에 정공주입이 일어나고 NPB와 Alq3의 계면으로 이동한다. 이 시점에서 NPB 내에는 이미 다량의 정공이 주입되어 있으며 NPB/Alq3 계면에 도달하며 축적하고 있을 것으로 생각되어진다. 이에 따라 전압강하는 주입 장벽이 큰 Si/Alq3 계면에서 또는 상대적으로 이동도가 작은 Alq3 내에서 일어나는 것으로 사료된다. 따라서 NPB를 증가시킨 소자에서는 전류-전압 곡선이 크게 변화를 하지 않지만 Alq3의 박막 두께를 변화시킬 경우 전류-전압 곡선은 변화하게 된다. ¹⁵⁾

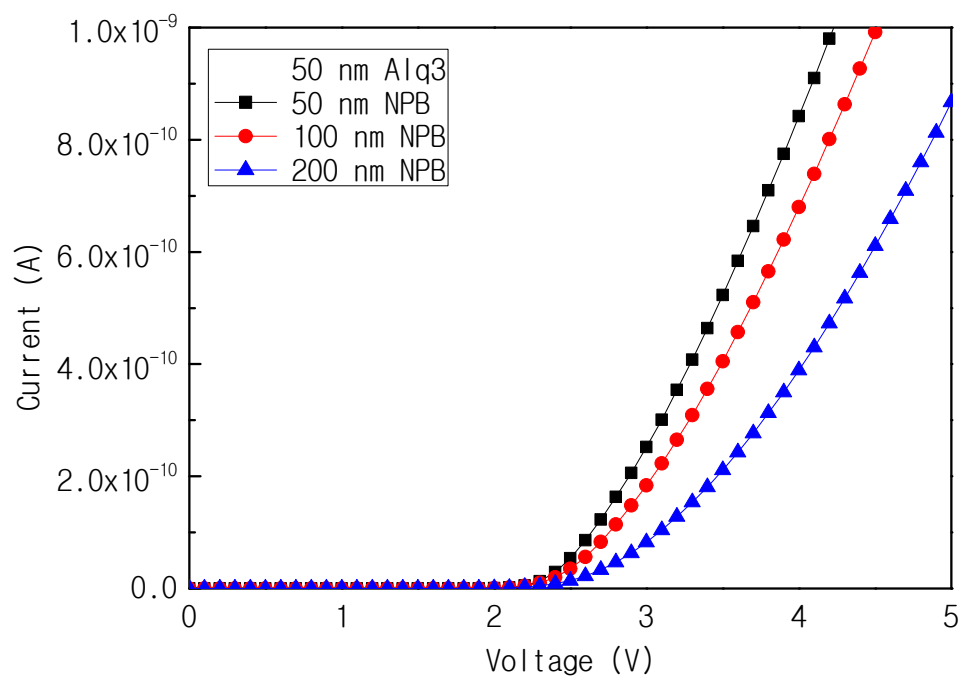


Fig. 23. I-V curve by thickness of 50 nm, 100 nm and 200 nm NPB layer

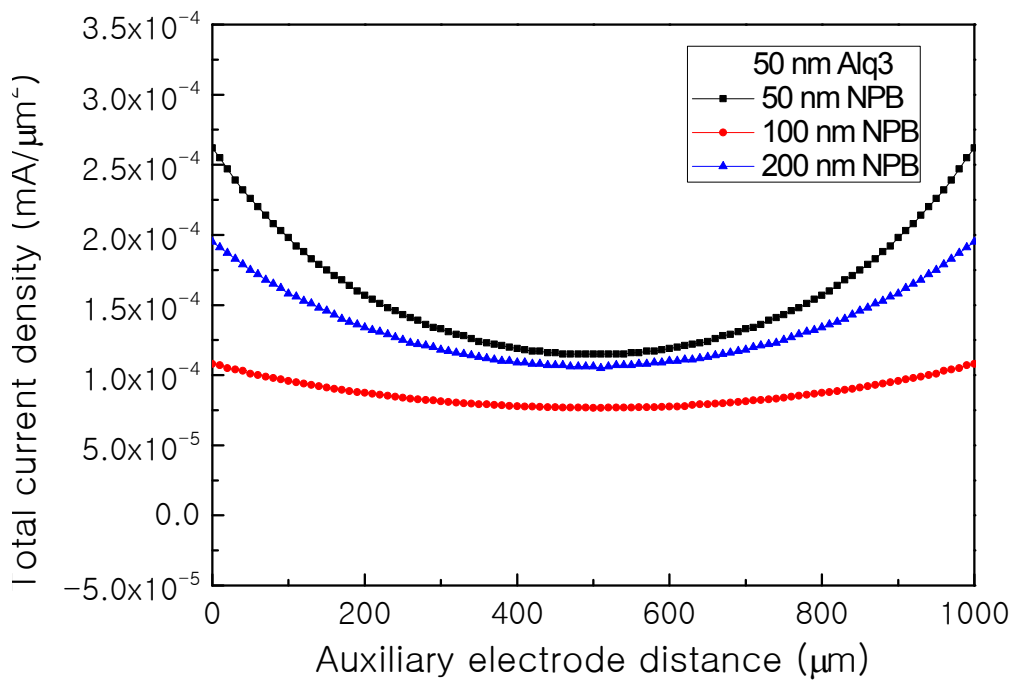


Fig. 24. Total current density by thickness of 50 nm, 100 nm and 200 nm NPB layer

제 4.6절 Alq3와 NPB 두께에 따른 전류-전압 곡선 및 Total current density 특성

Fig.25는 기본구조 중 NPB와 Alq3의 두께를 동시에 50nm, 100nm, 200nm로 변화시켜 전산모사하여 얻어진 전류-전압 곡선의 결과를 나타낸 것이다. Alq3층과 NPB층이 동시에 변화하여도 구동전압은 1.8V로 나타났으며 전류-전압 곡선의 기울기는 두께가 증가함에 따라 크게 감소하였다. Alq3층과 NPB층이 동시에 증가하였을 때는 두 개의 유기물층의 전기적 특성이 동시에 감소하기 때문으로 생각된다.

Fig.26은 Fig.25와 동일한 조건으로 전산모사하여 얻어진 total current density의 결과를 나타낸 것이다. NPB층과 Alq3층이 50 nm 일 때는 edge에서는 $2.62E-4 \text{ mA}/\mu\text{m}^2$ 와 $1.15E-4$ 로 56%차이를 보였으며 100 nm에서는 $5.61E-5$ 와 $4.53E-5$ 로 19% 차이가 나타났고 200 nm에서는 $5.49E-6 \text{ mA}/\mu\text{m}^2$ 와 $5.32E-6 \text{ mA}/\mu\text{m}^2$ 로 3%의 차이가 나타나 Alq3와 NPB층이 동시에 증가할 때는 edge와 중앙의 차가 크게 감소하는 것을 알 수 있다. 따라서 이상적인 전류-전압 곡선의 기울기가 큰 것이 반도체에서는 이상적이지만 OLED에서는 기울기가 크면 전류가 edge부분에서 대부분 흐르고 중앙에서는 흐르지 못하기 때문에 IR-drop 현상은 더 심화되고 기울기가 작은 것은 IR-drop 현상은 감소되지만 반대로 동일한 휘도를 얻기 위해서는 큰 전류를 인가하여야 하기 때문에 OLED소자에서는 적당한 기울기를 가지는 소자의 제조가 필요하다.

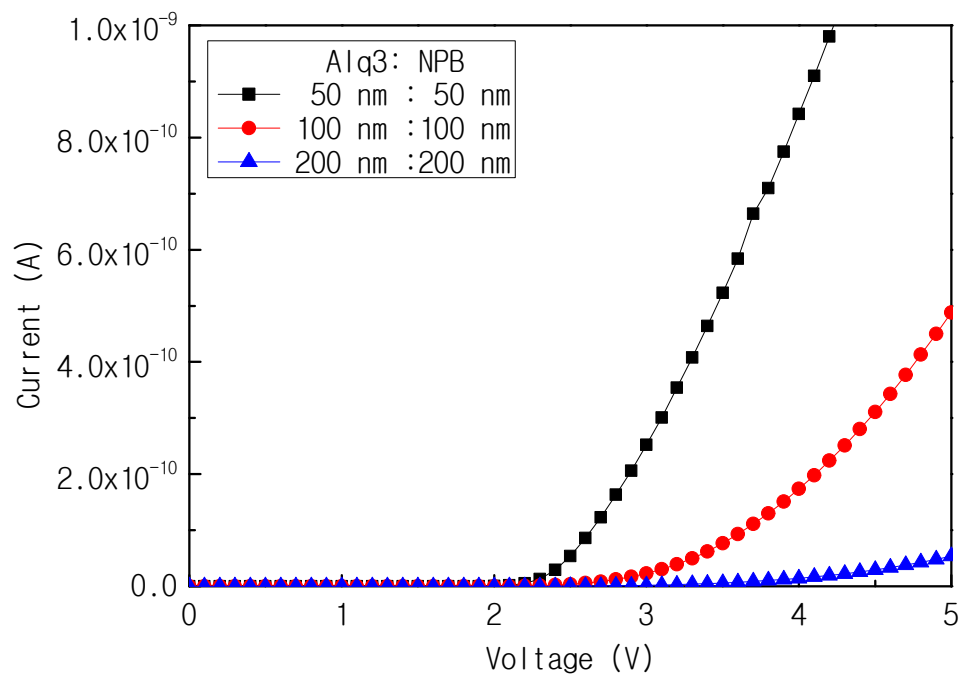


Fig. 25. I-V curve by thickness of 50 nm, 100 nm and 200 nm NPB and Alq3 layer

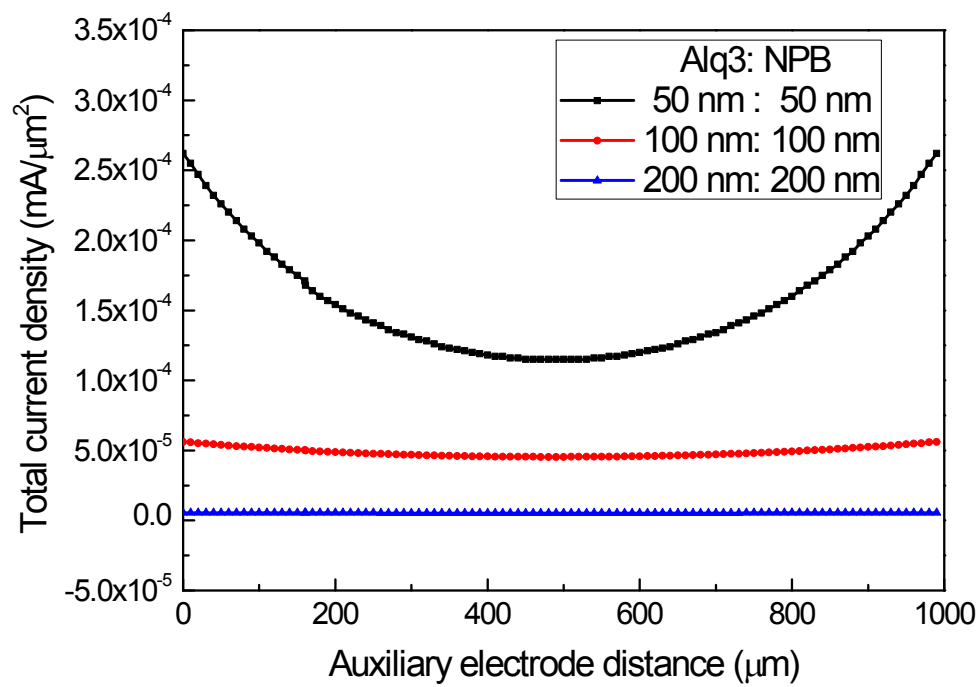


Fig. 26. Total current density by thickness of 50 nm, 100 nm and 200 nm NPB and Alq3 layer

제 5 장 결 론

본 연구에서는 전산모사 프로그램인 ATLAS Tool을 이용하여 대면적 OLED 조명소자를 설계하였으며 보조전극의 간격과 유기물 층의 두께가 전류-전압 곡선과 total current density에 미치는 영향을 조사하였다. 전산모사에서 사용한 기본구조와 동일하게 제조된 테스트 OLED 소자에서 얻어진 전류-전압 결과는 오차범위에 해당되는 거의 같은 결과를 얻었다. 전산모사에 사용된 기본구조 중 보조전극의 간격을 1000 μm 에서 8000 μm 까지 증가시켜도 전류-전압 곡선은 거의 변화하지 않았으나 total current density는 보조전극의 간격과 반비례하여 감소하였다. 이는 보조전극의 간격을 최소화하여도 IR-drop를 완전히 제거할 수 없다는 것을 의미한다. Alq3층, NPB층 또는 두층이 동시에 변화하여도 구동전압은 동일하였다. Alq3층과 NPB층의 전류-전압곡선의 기울기는 $\text{NPB} < \text{Alq3} < \text{Alq3}$ 와 NPB의 두께가 증가하였을 때 더 크게 감소하였다. edge와 중앙의 total current density 차는 보조전극 간격 $> \text{NPB} > \text{Alq3} > \text{Alq3}$ 와 NPB층의 두께가 증가할수록 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 반도체에서는 전류-전압 곡선의 기울기가 큰 것이 이상적이지만 OLED에서는 기울기가 크면 전류가 edge부분에서 대부분 흐르고 중앙에서는 흐르지 못하기 때문에 IR-drop 현상은 더 심화되고 기울기가 작은 것은 IR-drop 현상은 감소되지만 반대로 동일한 휘도를 얻기 위해서는 큰 전류를 인가하여야 하기 때문에 OLED소자에서는 적당한 기울기를 가지는 소자의 제조가 필요하다. 앞으로 OLED는 발광소자이기 때문에 전기적 특성뿐만 아니라 광학적 특성까지 전산모사할 수 있다면 대면적 OLED 연구 및 상용화에 있어 큰 기여를 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 1) Y.J. Wen, A.M. Agoging, Energy and buildings 43(2011) pp1919-1924
- 2) International Energy Agency, Light`s Labour`s Lost-Policies for Energy Efficient lighting, OLC/IEA, paris, (2006)
- 3) 川島康貴, 有機EL照明の動向, 電設技術 (2009) pp48~53,
- 4) 이정익, 조두희, 추혜용, 인포메이션 디스플레이, 제12권 제4호 (2011) pp40~48
- 5) 김치현, LGERI리포트, 6, 3 (2009) pp2~19
- 6) 조성민, 한국 조명 전기설비학회, 6 (2009) pp11~17
- 7) Kristiaan Neyts, Matthias Marescaux, Angel Ullan Nieto, Andreas Elschner, Wilfried Lövenich, Karsten Fehse, Qiang Huang, Karsten Walzer, and Karl Leo, Journal of Applied Physics. 100 (2006) 114513
- 8) J W Park, D C Shin and S H Park, Semiconductor Science and Technology 26 (2011) 9pp
- 9) P.S. Vincett, W.A. Barlow, R.A. Hann, G.G. Roberts, Thin Solid Films 94, (1982), pp171~183
- 10) G.Gustafasson,Y.Cao,G.M.Treacy,F.Klavetter,N.F.Colaneri, and A.J.Heeger, Nature 357,(1992), pp477~479
- 11) 유기 EL의 이야기, 일간 공업신문사(2003)
- 12) 유기 EL의 전부, 일본 공업출판사(2003)
- 13) P.E Burrows Z.Shen, D.M.McCarty, S.R.Forrest, J.A. Cronin and M, E.Thompson: Journal of Applied Physics. 79, (1996) pp7991~8007
- 14) I.D.Parker, Journal of Applied Physics. 75, (1994) pp1656~1667
- 15) Shizuo Tokiti, Chihaya Adachi, Hideyuki Murata, 유기EL 디스플레이 기초와 응용 (2009)
- 16) B.Ruhraller, S.A.Carter, S. Barth, H.Riel, W.Riess, and J.C Scott, Journal of Applied Physics. 89 (2001) pp4575~4577
- 17) 키도 준지, 에디슨 이후의 대혁명 유기EL, 광문각(2004)
- 18) J. R. Sheats, H. Antoniadis, M. Hueschen, W. Leonard, J. Miller, R. Moon, D. Roitman, and A. Stocking, "Science", 273, (1996), 884~888
- 19) W.Helfrich and W.G.Schneider, Journal of Chemical Physics 44, (1966),

pp2902~2910

- 20) J.S.Kim, P.K.H.Ho, N.C.greenham and R.H.Friend Journal of Applied Physics 88, (2000) pp1073~1084
- 21) M.Pope and C.E.Swenderg, Electronic processes in Organic Crystals and Polymers, Oxford Science Publications(1999)
- 22) 박종운, 이종호, 신동찬, OLED광원기술 10권 제6호, 인포메이션 디스플레이, (2009)
- 23) H.L.Keok, Electronic Materials, THOMSON (2003)
- 24) Ubi sanup research, 2010년 OLED 연간보고서, (2010). pp13,14,
- 25) 이정익, 이종희, 조두희, 이주원, 추혜용, 인포메이션 디스플레이, 제10권 4호 (2009)
- 26) 김현우, 김원식, 박대희, 임기조 공저, 디스플레이 공학, 내하출판사, (2010)
- 27) Ruhstaller, B., S.A. Carter, S. Barth, H. Riel, W. Riess, J.C. Scott, J. Appl. Phys. Vol. 89, No. 8 (2001): 4575-4586)
- 28) W. D. Gill, J . Appl. Phys. 43, 5033 (1972)
- 29) R.G kepler, P.M beeson, S.J. jacobs, R.A. Anderson, M.B. sinclair, V.S.Valencia, and P.A.Cahill, Appl.Lett. 66,3618(1995)
- 30) 박영호 “OLED 제조공정” pp.247-249
- 31) Huei-Tzong Lu, Meiso Yokoyama, Journal of Crystal Growth, 260, (2004), pp186-190
- 32) S.W. Liu and J.K. Wang, SPIE conference Proceedings 6333 (2006)
- 33) H.Y.Yu, X.D.Feng, D.Grozea, Z.H. Lu, R.N.S.Sodhi, A.M.Hor and H.Aziz. Appl.phys.Lett 78,(2001)17
- 34) Meng-Ting Lee, Chi Hung Liao, Chih-Hung Tsai and Chin H Chen. Appl.phys.Lett 83,103501(2005)
- 35) Mei Yee Lim, Wan Mahmood mat Yunus, Zainal Abidin Talib, Anuar Kassim. Natural Science Vol.2, No6, (2010), pp631-634
- 36) David R, Lide ‘CRC handbook of chemistry and Physics, 89thEdition’ Taylor&Francis(2009)
- 37) 오명숙, 이종호, 김대환, 문정현, 임정혁, 이도현, 심형준, Kor. j. mater. Res Vol. 19, No. 1(2009)

- 38) V. Khemka, R. Patel, T. P. Chow and R. J. Gutmann, Solid-State Electron, 43(10), 1945 (1999).
- 39) D. W. Kim, Mast. Thesis (in Korean), p. 21-28, Seoul National University, Seoul (2004)
- 40) G.W.Castellan, 물리화학, 탐구당(1998)
- 41) M.Pope and C.E.Swenberg Electronic Processes in Organic Crystals, Oxford University Press, New York (1982)

감사의 글

대학원 2년이라는 시간이 길다고 생각했었는데 정말 눈 깜짝할 사이에 지나간 것 같습니다. 더 알고자 열심히, 성실히 공부하려고 했는데 2년이 지난 오늘 다시 생각해 보면 후회가 되는 일이 너무 많습니다. 그래도 오늘의 결실이 있기까지 저를 믿고, 가르쳐주시고, 격려해주신 많은 분들께 감사드리기 위해 이 글을 작성합니다.

우선 항상 자상한 지도와 격려로 이끌어 주신 신동찬 교수님께 진심으로 머리 숙여 감사하다는 말씀을 드리고 싶습니다. 교수님께서 지도해 주신 내용을 항상 생각하며, 어딜 가든지 부끄럽지 않은 교수님의 제자가 되도록 노력하겠습니다. 그리고 미력한 논문에 대하여 후덕한 논문 심사로 무사히 학위를 받을 수 있도록 도움주신 이현규 교수님, 이종국 교수님, 이은구 교수님, 박진성 교수님, 양권승 교수님, 강현철 교수님께 진심으로 감사의 마음을 전합니다. 그리고 가족처럼 항상 격려해주시고, 다독겨려 주신 오용택 교수님 감사인사 드립니다. 오용택 교수님 올해에는 꼭 담배 끊으시길 기원합니다. 꼬맹이들이 좋아할 것 같습니다. 교수님 건강도 좋아지실 것 같습니다. 매일 사고만치는 후배를 위해 자주 조언을 주는 효균이형, 박세연누나, 석의형 부족한 선배를 위해 자신의 일처럼 도움을 준 송원, 서인하, 김무열, 구보라, 이유리, 만달칸칸프로사드, 최건, 김수연 그리고 많은 후배들이 없었으면 대학원 생활을 무사히 마무리하지 못했을 것입니다. 마지막으로 불러만 봐도 가슴이 따뜻해지는 “부모님”, 지금 까지 저를 믿고 용기를 불어넣어 주신 아버지, 어머니에게 진심으로 감사드립니다. 이제 학교라는 테두리를 넘어 하나의 사회인으로 발돋움하려 합니다, 항상 노력하고 앞으로 전진하는 사람이 되도록 노력하겠습니다. 감사합니다.