



## 저작자표시 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.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 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](#) 

2008년 6월  
석사학위 논문

*Fabrication of OLED lighting device  
without photolithography*

조선대학교 대학원

첨단소재공학과

김 영 백

*Fabrication of OLED lighting device  
without photolithography*

포토리소그래피 공정이 없는 OLED 조명소자 제작

2008년 6월 12일

조선대학교 대학원

첨단소재공학과

김 영 백

*Fabrication of OLED lighting device  
without photolithography*

지도교수 신 동 찬

이 논문을 공학석사 학위신청 논문으로 제출함

2008년 6월

조선대학교 대학원

첨 단 소 재 공 학 과

김 영 백

# 김영백의 석사학위논문을 인준함

위원장    조선대학교    교 수    이 종 국 인

위 원    조선대학교    교 수    박 진 성 인

위 원    조선대학교    부교수    신 동 찬 인

2008년 6월

조선대학교 대학원

# 목 차

<i>List of Tables</i> .....	IV
<i>List of Figures</i> .....	V
<b>ABSTRACT</b> .....	VII
제 1 장 서 론 .....	1
제 2 장 이론적 배경 .....	3
제 2.1 절 OLED 디스플레이 개요 .....	3
2.1.1 OLED 연구의 역사 .....	3
2.1.2 OLED 조명의 응용분야 .....	5
제 2.2 절 OLED 구조 및 동작원리 .....	7
제 2.3 절 조명용 백색 OLED .....	10
2.3.1 백색 OLED의 개요 .....	10
2.3.2 백색 OLED 제조를 위한 기술 .....	10
2.3.3 단층발광을 이용한 백색 OLED 기술: 고분자 발광층 ..	12
2.3.4 단층발광을 이용한 백색 OLED 기술: 저분자 형광발광층	14
2.3.5 다층발광을 이용한 백색 OLED 기술: 저분자 형광발광층 ..	15
2.3.6 다층발광을 이용한 백색 OLED 기술: 인광 발광층 ..	16
2.3.7 색변환을 이용한 백색OLED 기술 .....	17

2.3.8 소자 적층방식을 이용한 백색OLED 기술 .....	18
<b>제 2.4 절 OLED 소자 제조방법</b> .....	20
2.4.1 Photo 공정 .....	21
2.4.2 증착 공정 .....	22
2.4.3 봉지공정 .....	24
<b>제 3 장 실험 방법</b> .....	26
<b>제 3.1 절 OLED lighting 소자 제작</b> .....	26
3.1.1 기관세정 .....	26
3.1.2 ITO 박막 증착 .....	26
3.1.3 유기물 증착 .....	33
3.1.4 봉지작업 .....	33
<b>제 3.2 절 특성 분석</b> .....	36
3.2.1 ITO 박막의 전기적, 구조적 특성 조사 .....	36
3.2.2 OLED 소자의 특성 조사 .....	36
<b>제 4 장 결과 및 고찰</b> .....	37
<b>제 4.1 절 ITO 박막의 특성</b> .....	37
4.1.1 전기적, 구조적 특성 조사 .....	37
<b>제 4.2 절 OLED 소자의 특성</b> .....	47
4.2.1 OLED 소자의 전류-전압 특성 .....	47
4.2.2 OLED 소자의 전압-발광 특성 .....	48
4.2.3 OLED 소자의 전압-전력효율 특성 .....	49

4.2.4 OLED 소자의 leakage current 특성 .....	50
제 5 장 결론 .....	53
참고문헌 .....	55



## *List of Tables*

<i>Table 1.</i> OLED 구동 방식에 따른 비교 .....	9
<i>Table 2.</i> Deposition conditions of ITO thin films .....	27
<i>Table 3.</i> OLED device fabrication process .....	28
<i>Table 4.</i> Characteristics of ITO thin film deposited by in-line sputter ...	38

## *List of Figures*

<b>Fig. 1.</b> OLED 응용 분야 .....	6
<b>Fig. 2.</b> OLED의 구조 및 발광 메카니즘 .....	8
<b>Fig. 3.</b> Flexible film OLED .....	8
<b>Fig. 4.</b> 단층 발광방식의 백색 OLED (a) 재료와 적층 구조, (b) I-V-L 특성, (c) CIE 특성 .....	12
<b>Fig. 5.</b> (a) 2004년 Kanazawa 대학에서 발표한 백색 OLED의 I-V-L 특성, (b) 2004년 Washington 대학에서 발표한 백색 OLED의 I-V-L 특성 .....	13
<b>Fig. 6.</b> (a) California 대학에서 발표한 백색 OLED의 (a) 소자구조와 I-V-L plot, (b) 전류 변화에 따른 색 좌표 .....	14
<b>Fig. 7.</b> Princeton 대학의 백색 OLED (a) 소자구조와 (b) 전류 변화에 따른 소자 특성 .....	15
<b>Fig. 8.</b> Eastman Kodak 백색 OLED의 소자 구조 .....	16
<b>Fig. 9.</b> (a) UDC의 고효율 WOLED용 인광발광재료, (b) PINOLED방식을 이용한 Novald의 고효율 WOLED .....	17
<b>Fig. 10.</b> SID'05에서 GE가 발표한 (a) 백색 OLED의 구조와 (b) 효율, (c) 개발된 패널 사진 .....	18
<b>Fig. 11.</b> IMES의 MPE 소자구조와 광특성 .....	19
<b>Fig. 12.</b> Photolithography 공정 과정 .....	21
<b>Fig. 13.</b> Thermal evaporator 개략도 .....	22
<b>Fig. 14.</b> Evaporation 공정 및 전처리 .....	23
<b>Fig. 15.</b> 봉지 공정의 과정 .....	24
<b>Fig. 16.</b> 봉지 공정 과정 .....	25

<b>Fig. 17.</b> In-line sputter에서 증착된 ITO 박막의 패턴 lay-out .....	29
<b>Fig. 18.</b> Photo 공정이 있는 OLED 소자의 제작 과정 .....	30
<b>Fig. 19.</b> Photo 공정이 없는 OLED 소자의 제작 과정 .....	31
<b>Fig. 20.</b> Encapsulation 공정이 완료된 소자의 단면도 .....	34
<b>Fig. 21.</b> Photo 공정의 유무에 따른 OLED 소자의 단면도 .....	35
<b>Fig. 22.</b> Photo 공정에 의한 패턴된 ITO 박막의 center 부분 SEM 이미지 .....	39
<b>Fig. 23.</b> Photo 공정에 의한 패턴된 ITO 박막의 edge 부분 SEM 이미지 ...	40
<b>Fig. 24.</b> Metal mask로 패턴된 ITO 박막의 center 부분 SEM 이미지 ·	41
<b>Fig. 25.</b> Metal mask로 패턴된 ITO 박막의 edge 부분 SEM 이미지 .....	42
<b>Fig. 26.</b> Photo 공정으로 패터닝된 ITO 박막의 center 형상 .....	43
<b>Fig. 27.</b> Photo 공정으로 패터닝된 ITO 박막의 edge 형상 .....	44
<b>Fig. 28.</b> Metal mask로 패터닝된 ITO 박막의 가운데 부분 표면 거칠기 분석결과 .....	45
<b>Fig. 29.</b> Metal mask로 패터닝된 ITO 박막의 끝 부분 표면 거칠기 .....	46
<b>Fig. 30.</b> Photo 공정을 적용한 소자와 photo 공정이 없는 소자의 전류-전 압 특성 .....	47
<b>Fig. 31.</b> Photo 공정을 적용한 소자와 photo 공정이 없는 소자의 전압-발 광 특성 .....	48
<b>Fig. 32.</b> Photo 공정을 적용한 소자와 photo 공정이 없는 소자의 전력효 율-전압 특성 .....	49
<b>Fig. 33.</b> Photo 공정을 적용한 소자와 photo 공정이 없는 소자의 leakage current 그래프 .....	51
<b>Fig. 34.</b> Photo 공정이 없는 조명용 OLED 소자의 단면도 .....	52
<b>Fig. 35.</b> Leakage current를 줄이기 위한 디자인 개선도 .....	52
<b>Fig. 36.</b> Shadow masking에 의한 ITO 패터닝 공정 .....	54

***ABSTRACT***  
***Fabrication of OLED lighting device***  
***without photolithography***

Young-Baek Kim

Advisor : Prof. Dong-Chan Shin Ph. D.

Department of Advanced Materials Engineering

Graduate School of Chosun University

Fabrication of OLED lighting devices which is considered as a next generation solid-state lightings, consists of 4 major parts, formation of pattern, organic thin film deposition, encapsulation and assemble of module. First of all, photo-lithography process for defining ITO patterns requires high amounts of investments and process time. So then, if OLED lighting devices can be fabricated using in-line process without photo-lithography, the process cost can be reduced by half compared with conventional process. The fabrication technology without photo-lithography has several advantages such as simple process flow and no clean room facilities and no investment for new equipments which allows to be fabricated utilizing conventional

facilities. In this thesis, I would like to introduce new OLED lighting fabrication technology without photo-lithography in detail. Using this technology, ITO thin film was deposited on metal mask by in-line sputtering method, and their characteristics were evaluated by OLED lighting devices. The fabricated OLED lighting devices exhibited good light emission properties without degradation compared to conventional fabrication process with photo-lithography.

## 제 1 장 서 론

OLED 조명은 효율이 높고, 구동온도 범위가 넓으며, 색순도 조절이 용이하고, 전력소비가 작다는 등의 다양한 특징을 가지고 있기 때문에 LED 조명과 더불어 기존 조명 기구를 대체할 수 있는 차세대 조명으로 주목받고 있다. OLED 조명소자는 면발광 광원으로 점광원으로만 사용 가능한 반도체 LED 소자에 비해 응용 범위가 넓고, 구조와 제조 공정이 간단하여 공정시간 단축 및 공정장비 단순화가 가능하다는 장점을 가지고 있다. 조명용 기구에서 가장 중요한 요소인 효율과 수명 측면에서 볼 때 효율 16 lm/W, 수명 1,000 h의 특성을 보이는 기존의 백열등에 비해 OLED 조명은 아직 개발이 진행 중인 현재 단계에서도 효율 25 lm/W, 수명 10,000 h 이상의 우수한 특성을 지니고 있으며, 2020년에는 효율 및 수명이 200 lm/W, 20 Kh에 이르고 가격은 1 \$/Klm 수준에 달할 것으로 예상되어 장차 OLED 조명이 기존 조명을 대체할 것으로 예상된다. 또한, OLED 조명이 상용화될 경우 기존의 백열등이나 형광등에 비해 60 ~ 90%의 전력 절감 효과가 있어 에너지 절감 효과는 물론 조명용 전력생산을 위해 소모되는 화석 연료를 줄이고, 수은, 납 등의 오염 물질 사용을 피할 수 있어 환경 친화적이고, 동시에 사용자의 기분이나 상태에 따라 휘도, 색순도, 색온도 등의 조절이 가능한 인간친화적인 참살이(well-being) 조명 구현이 가능하다.

기술적인 측면에서 OLED 조명은 발광물질로 유기재료를 사용하기 때문에 자유자제로 변경이 가능한 특성을 지니는데, 이러한 OLED 조명의 개발은 차세대 전자소자로 각광받고 있는 유기 전자소자 분야와의 핵심기반기술을 공유함으로써 차세대 flexible electronics 분야의 기술발전에 크게 기여할 수 있다.

이러한 장점을 가지는 OLED 조명은 Back light Unit (BLU), 옥 내외

주 조명 및 보조조명, signage, 차량용 조명 등에 응용이 가능한 실용화 기술로, 100 조 이상의 시장을 이끌 수 있는 차세대 국가 성장 동력 기술이다.

일반적인 OLED 공정은 photo 공정인 전공정후에 후 공정으로 증착/봉지 공정으로 제품을 만들게 된다. 이러한 복잡한 공정을 가지는 OLED 제작 공정을 단순화하고 디스플레이 제품에 목적을 두는 것이 아니라 공정 오차 및 pixel의 선폭 size가 디스플레이 소자에 비해 크게 문제없는 조명관련 공정개발을 중점으로 실험하고자 한다. 따라서 OLED 전 공정인 photo 공정을 대체하기 위한 방법 중 하나로 투명 전극으로 사용되고 있는 ITO 코팅공정에서 처음부터 조명용 패턴을 위한 metal mask을 이용하여 ITO 투명전극을 형성하고자 한다. 본 논문에서는 이러한 공정으로 진행된 조명용 OLED 소자 제작을 공정단순화 가능성 탐색으로 한다.

## 제 2 장 이론적 배경

### 제 2.1 절 OLED디스플레이 개요

#### 2.1.1 OLED 연구의 역사

OLED(Organic Light Emitting Diode)는 유기물 박막에 음극과 양극을 통하여 주입된 전자와 정공이 재결합하여 여기자를 형성하고 형성된 여기자로부터의 에너지에 의해 특정한 파장의 빛이 발생하는 현상으로 1963년 Pope, Kallmann, Magnate등에 의해 안트라센 결정에서 처음으로 발견되었다<sup>1)</sup>. 그 후 1982년에 Vincett 등이 진공증착방법으로 비결정질의 안트라센 박막을 형성하고 유기 발광다이오드를 제작 성공하였고,<sup>2)</sup> 소자의 발광효율을 약 0.05 % 수준으로 아주 낮았으나, 현재 유기증착방법의 기반이 되었다.

1987년 C. W. Tang과 S. A. Vanslyke는 diamine을 정공수송층으로 사용하였고 녹색 발광물질인 tris-(8-hydroxyquinoline) aluminum을 발광층 및 전자 수송층으로 사용하여 각 약 50 nm 정도의 아주 얇은 박막으로 적층하였으며, 음극전극으로 Mg:Ag합금을 사용하여 전자와 정공 주입 효율을 향상시켜 발광 효율이 높은 녹색 OLED소자를 개발했다<sup>3)4)</sup>.

1989년 C. W. Tang 등은 발광층에 유기 형광색소를 소량 도핑하여 효율을 향상시킬 수 있을 뿐 아니라 Full Color OLED 디스플레이 개발의 가능성을 보여주었다<sup>5)</sup>. 이 논문에서는 발광층에 도핑하는 형광 색소층의 두께를 변화시키거나 또는 diamine/Alq<sub>3</sub> 계면과 도핑층의 위치를 변화시키면서 발광 스펙트럼을 분석하였다.

전자정공의 재결합 영역이 diamine/Alq<sub>3</sub> 계면에서 Alq<sub>3</sub>층 내부로 5



nm 정도이고, 엑시톤의 거리는 약 20 nm 정도라는 것을 제시함으로써 다층 박막형 OLED 소자에서 전기 발광의 원리를 설명하였다.

위에서 언급한 것들은 저분자계 유기재료이며, 고분자계 유기물은 저분자계 유기물처럼 진공증착방식에 의해서 소자가 제작되어지는 것이 아니라 대기 중에 원심력을 이용한 스핀코팅에 의해서 제작된다. 고분자 물질은 용제에 녹여서 액상 상태에서 사용된다. 전도성 고분자를 이용한 최초의 발광다이오드는 1990년에 영국 캠브리지대학의 R.H. Friend 교수팀에서 개발 하였다<sup>6)7)</sup>. Friend 교수팀은 poly(p-phenylenevinylene) 박막을 이용하여 제작한 ITO/PPV/AL 구조의 발광다이오드에서 약한 노란색 빛이 나오는 것을 발견했다. PPV는 용매에 녹지 않아서 박막을 만들기 어렵기 때문에 용액으로 만들 수 있는 PPV전구체를 스핀코팅 방법으로 ITO 유리기판 위에 박막을 제작하여 진공 중에서 열처리를 하여 공액 고분자인 PPV로 변환시켜 사용하였다. 음극전극은 일함수가 높은 Al을 사용하였다. 13 V이상의 높은 전압에서 발광하기 시작하고, 발광효율이 약 0.05 % 수준으로 아주 낮았다. 발광 효율은 낮았지만 스핀코팅 방법으로 대면적 디스플레이나 flexible 디스플레이를 쉽게 만들 수 있는 가능성을 보여주었다. 이와 같은 방법이 이용하여 잉크젯 프린팅 기법의 시발점이 되었다

1991년 UCSB의 A. J. Heeger 교수팀은 PPV의 불용성과 낮은 효율을 개선하기 위해서 유기용매에 잘 녹는 poly(2-methoxy, 5-(2'-ethyl)hexyloxy-p-phenylenevinylene) (MEH-PPV)를 이용하여 스핀코팅방법으로 박막을 제작하고, 일함수가 낮은 Ca 전극을 음극으로 사용하여 양자효율이 약 1 % 수준인 우수한 고분자 LED를 개발하였다<sup>8)</sup>. 이어서 1992년에 Heeger 교수팀은 플라스틱 기판위에 양극 전극으로 투명한 전도성 고분자인 camphorsulfonic acid (CSA)가 도핑된 polyaniline

(PANI - CSA)을 사용하였고, MEH-PPV를 발광층으로 사용한 휘어질 수 있는 플라스틱 발광다이오드를 개발하였다<sup>9)</sup>.

영국의 캠브리지 대학의 A. B. Holmes교수팀은 고분자의 결사슬에 전자 끌기 또는 전자 주기그룹을 붙여서 발광 고분자의 에너지 밴드갭과 전기적·광학적 특성을 조절할 수 있다는 것을 보였다<sup>10)11)</sup>.

### **2.1.2 OLED 조명 응용분야**

OLED는 휴대 정보단말 Display시장을 바탕으로 QVGA급 대응 Full Color화로 고부가 가치의 소형 Display 제품으로 전개 가능하다. 또한 최근에는 백색 OLED의 다양한 가능성으로 인하여 1980년대 말부터 꾸준히 연구개발이 진행되어 왔으며 LED와 더불어 조명으로 사용될 수 있는 가능성이 부각되고 있으며 그 응용 예를 Fig. 1에 나타내었다. OLED조명은 기존 인프라를 이용하여 생산이 가능하고 친환경적이며, 고효율의 조명으로서 인테리어, 무드등등 간접조명으로 사용이 가능하다. 향후 저가 대면적 양산기술만 개발되면 현재 주조명시장인 형광등/백열등을 대체할 수 있는 주조명 등으로 사용될 것이다<sup>12)</sup>.



Fig. 1. OLED 조명 응용분야

## 제 2.2 절 OLED 구조 및 동작원리

OLED(Organic Light Emitting Diode)는 전원이 공급되면 음극에서는 (-)전자가 전자수송층의 도움으로 발광층으로 이동하고, 양극에서는 Hole(+개념, 전자가 빠져나간 상태)이 Hole 수송층의 도움으로 발광층으로 이동하게 된다<sup>12)</sup>.

유기물질인 발광층에서 만나 전자와 홀은 높은 에너지를 갖는 여기자를 생성하게 되는데 이 때, 여기자가 낮은 에너지로 떨어지면서 빛을 발생하게 되는 것이다<sup>13)</sup>. 발광층을 구성하고 있는 유기물질이 어떤 것이냐에 따라 빛의 색깔이 달라지게 되며 R, G, B를 내는 각각의 유기물질을 배합하여 Full Color를 구현할 수 있다(Fig. 2).

무기 EL과 OLED를 보면 열 이외의 에너지에 의해 빛이 복사돼 빛을 내는 것을 발광(發光)이라고 하는데, EL은 특히 전기장을 가하여 일으키는 발광현상이다. 이런 발광현상을 이용하는 것이 무기EL과 OLED로, 이 두 방식의 차이점은 탄소(C)가 포함된 발광물질을 사용하느냐 여부에 따라 구분된다. 탄소가 있으면 유기발광다이오드이고 그렇지 않으면 무기EL이다. 무기EL은 발광다이오드에 비해 소비전력이 30 % 정도 낮고, 면전체가 발광하기 때문에 점 발광방식인 LED보다 빛을 고르게 공급한다. 또한, 열 발생이 거의 없어 수명이 길며 구부러도 손상이 없다는 장점이 있다(Fig. 3). 그러나 몇 가지 색 이외에 전체 컬러 영상과 동영상 구현을 하지 못하는 단점이 있어 휴대폰 자체 디스플레이로는 부적합하다. 이와는 대조적으로 OLED는 다양한 컬러와 빠른 응답속도로 동영상 구현이 용이하다는 장점을 갖고 있다.

OELD의 구동방식에 따라 PM OLED와 AM OLED로 나눌 수 있으며 이에 대한 내용을 Table 1에 나타내었다.

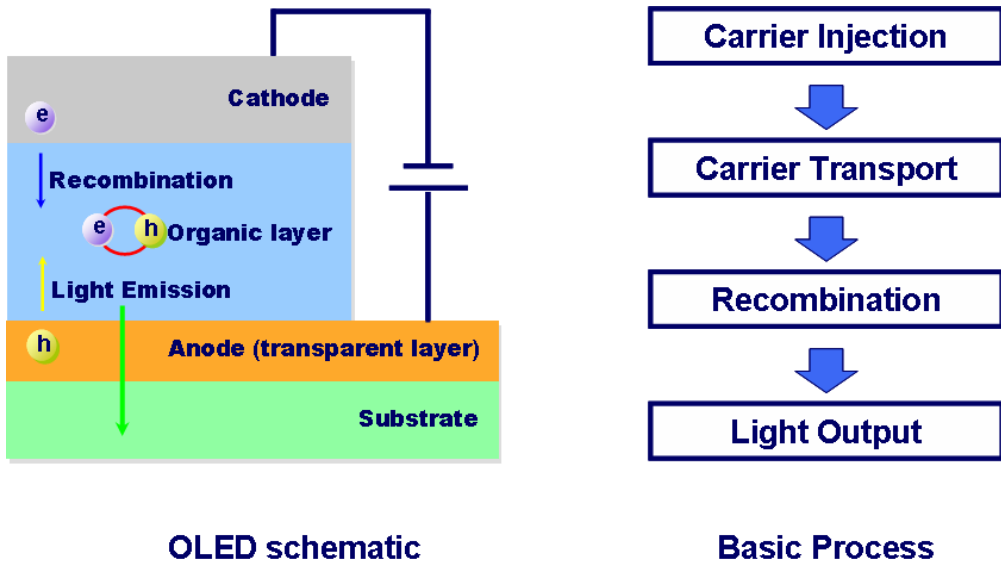


Fig. 2. OLED의 구조 및 발광 메카니즘



ITO와 음극에서 각각 주입된 정공과 전자가 유기 발광층에서 재결합하여 발광하는 영상표시장치

Fig 3. Flexible film OLED

Table 1. OLED 구동방식에 따른 비교

구동방식	Passive Matrix	Active Matrix
구조		
구동원리	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 가로선에 신호를 순차적으로 인가하여 가로 방향의 Dot들이 한 줄, 한 줄씩 순차적으로 발광하는 방식</li> <li>- 따라서 PM 방식은 화면의 밝기와 해상도에 한계가 발생하게 됨</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- AM 방식은 PM 방식의 비효율적인 순차발광의 단점을 없애기 위해 가로선과 세로선의 교차점에 박막 트랜지스터를 각각 형성하여 Dot 전부가 동시에 발광할 수 있도록 한 방식임</li> </ul>

## 제 2.3 절 조명용백색 OLED

### 2.3.1 백색 OLED의 개요<sup>15)</sup>

1987년 Tang과 VanSlyke에 의하여 처음으로 유기전기발광소자(OLED) 특성이 보고된 이래로 연구진에 의하여 소재, 소자, 그 응용면에서 폭 넓은 연구가 이루어져 왔으며, 종래에 이르러 OLED는 cell phone의 디스플레이로 우리의 생활 속에 들어와 있다.<sup>3)4)</sup> 현재 사용되고 있는 유기 EL 디스플레이는 passive 구동 형태로 다원색(multi-color)의 1~2 inch급 디스플레이이지만, 궁극적으로는 대면적의 Full Color 디스플레이 구현을 위하여 많은 노력을 하고 있다. 또 다른 한편으로 백색의 면 발광을 이용하여 백라이트나 조명기구로의 응용에 연구의 중점을 두고 있다.

Toyota 등은 백색 OLED를 LCD의 백라이트로 응용하기 위해 연구개발을 진행 중에 있다. GE, 오스람 등의 조명 업체는 백색 OLED를 조명으로 응용하기 위해 연구개발을 하고 있다. 백색 광원은 색도좌표가 (0.33,0.33), 색온도 3,000~8,000 K, 그리고 백색의 질을 나타내는 척도인 CRI (Color Rendering Index)가 80 이상일 때 가장 이상적인 색을 구현할 수 있다.

### 2.3.2 백색 OLED 제조를 위한 기술

백색 OLED을 구현하는 방법으로는 소자의 구조로 분류할 경우에는 고분자 소재의 경우 두 종류이상의 고분자를 blending 하거나 composites를 만드는 방법과 단분자의 경우에는 두 종류 이상의 발광층을 적층하는 다층막 구조와 하나의 host에 두 종류이상의 dopant를 doping하는 방법 등이 있다. 발광 스펙트럼으로는 두 파장과 삼 파장 백색 OLED로 구분

할 수 있다.<sup>16)17)</sup> 서로 보색관계를 갖는 두 파장의 발광 특성을 갖는 발광층을 적층하거나 도핑하여 백색을 내는 방법으로 주로 Cyan과 Red, Blue와 Orange 컬러를 발광하는 소재가 적층되거나 doping 된다. 두 파장 백색 OLED의 구조는 소자의 제작이 용이하고 효율이 높은 장점이 있다.

현재까지 Yamagata 대학의 Kido 교수팀에서 16 lm/W의 고효율의 백색 OLED를 보고하였으며 또한, 가장 문제점으로 제시되는 수명에 있어서도 2002년 8월 일본의 Idemitsu Kosan 사에서 100,000 h 이상의 수명을 보고함으로써 실용화에 한발 더 다가서게 되었다. 그러나 두 파장 백색 OLED는 색도좌표는 만족되지만, CRI 값이 낮으며 Green color의 intensity 가 다른 컬러에 비하여 약하여 구동회로 상에서 보완을 해주어야 하기 때문에 이로 인하여 소자의 수명을 급격하게 감소시키는 원인이 된다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 1995년 Kido 교수팀에서 R, G, B 세가지 기본색을 적층하여 발광층을 형성시켜 백색 발광을 도출한 후로 RGB 다층막 구조로 백색을 구현하는 방법들이 연구되고 있다. 삼 파장 백색은 색순도가 우수하고 높은 CRI의 백색을 얻을 수 있는 반면 제작이 어려우며, 재현성이 적고 두 파장 백색광원에 비하여 효율이 낮은 단점이 있다. 그러나, 미국의 UDC에서는 인광소재를 이용한 삼 파장 적층된 백색 OLED를 개발하여 두 파장 백색 OLED를 뛰어넘는 우수한 특성이 보고하고 있다. 이는 현재 인광소재의 연구 발전 속도에 비추어 볼 때 머지않아 조명 산업에 쓰일 수 있을 정도의 우수한 특성을 얻을 수 있을 것으로 기대하고 있다.

이상에서 살펴본 백색 OLED의 제조 기술을 종합해 보면 크게 1) 단층 발광을 이용한 방법, 2) 다층 발광을 이용한 방법, 3) 색변환을 이용한 방법, 4) 소자적층 방식을 이용한 방법 등으로 기술 개발이 이루어지고 있다.



### 2.3.3 단층 발광을 이용한 백색 OLED 기술: 고분자 발광층

고분자를 이용한 단층 발광 백색 OLED는 HIL, HTL, ETL 등의 기능층이 없어 효율이 높지 않으며, 단층에서 R, G, B의 색조합이 이루어지므로 일반적으로 색순도가 좋은 백색 구현이 쉽지 않다. 1995년 Kido (Yamagata 대학)는 PVK(5, 10, 15, 20-tetraphenylporphyrinMg(2) / Alq<sub>3</sub>)를 호스트로 이용하고, 여기에 청색 dopant인 TPB, 녹색 dopant인 Coumarin 6, 적색 dopant인 DCM1 및 Nile Red를 도핑하여 단층발광으로 단일층의 색순도가 우수한 고분자 백색 OLED를 제조하였다(Fig. 4). 단일층의 고분자를 이용한 단층발광 WOLED의 최대 휘도는 4,100 cd/m<sup>2</sup> 이었다.

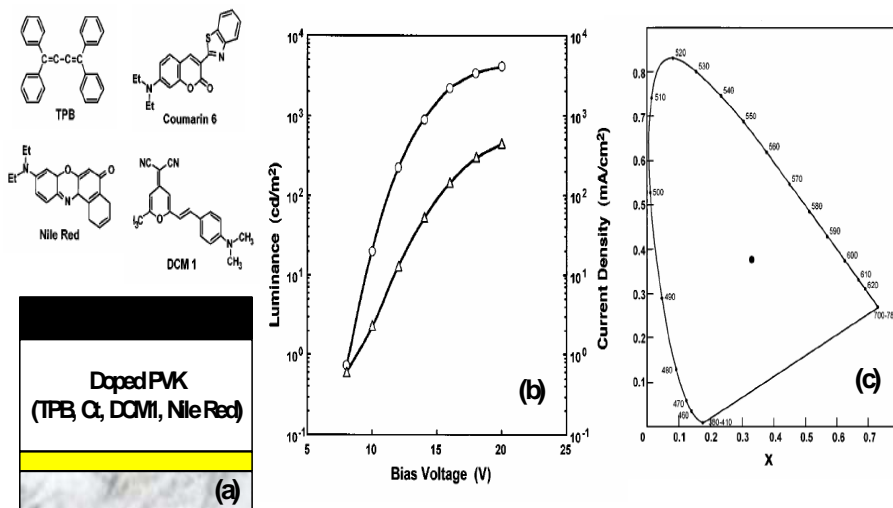


Fig. 4. 단층 발광방식의 백색OLED

(a) 재료와 적층 구조, (b) I-V-L 특성, (c) CIE 특성

최근 Kanazawa 대학에서는 PVK에 Nile Red, Rubrene, TPB, Bu-PBD 를 도핑하여 전기적 특성이 4.3 lm/W, 11.3 cd/A이며, (0.33,0.33) 색순도의 고효율 고분자 단층발광 WOLED 소자를 발표하였다. Washington 대학에서는 청색 호스트인 PF-TPA-OXD 고분자에 녹색 dopant인 FFBFF, 적색 dopant인 FTBTF를 도핑하여 단층발광 고분자WOLED를 제작하였으며, 최대 휘도는 12V에서 12,900 cd/m<sup>2</sup> 였다(Fig. 5. (b)).

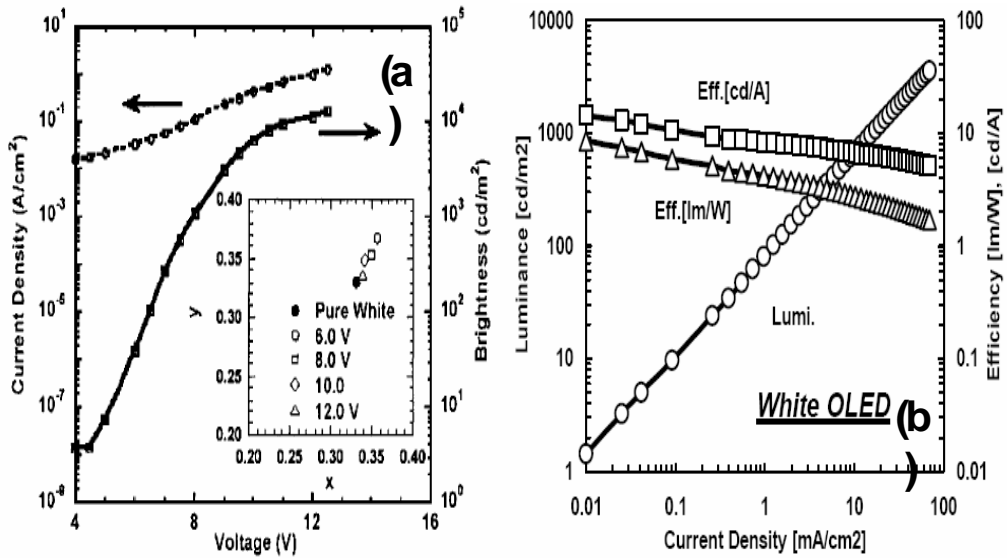


Fig. 5. (a) 2004년 Kanazawa대학에서 발표한 백색 OLED의 I-V-L 특성, (b) 2004년 Washington대학에서 발표한 백색 OLED의 I-V-L 특성

### 2.3.4 단층발광을 이용한 백색 OLED 기술: 저분자형 광발광층

1995년 Bell Lab.에서는 NAPOXA를 이용하여 넓은 파장의 단층발광 WOLED를 구현하였다. 소자의 구조는 ITO/TAD/NAPOXA/AIQ/AI이었으며, NAPOXA에서 백색발광이 일어나는 단층발광 소자였다. 발광 휘도는  $4,500 \text{ cd/m}^2$  이상이었으며, 발광 효율은  $0.5 \text{ lm/W}$ 라고 보고하였다. California 대학에서는 고온과 고압을 이용하여 dopant를 정확하게 조절할 수 있는 Fused Organic Solid Solution 방식을 이용하여  $\alpha$ -NPD에 DPVBi, rubrene, DCJTB, C545T를 도핑한 유기물을 제조하고, 이를 소자에 적용하여 단층발광 백색 OLED를 제작하였다. 소자의 최고 휘도는  $15,000 \text{ cd/m}^2$ 이었으며, 소자의 효율은 약  $2.5 \text{ cd/A}$ 였다. 이 백색 OLED는 전류에 따른 색 안정성이 아주 우수하였다고 보고되었다(Fig. 6). 또 Princeton 대학 Forrest 교수는 Pt계 인광물질을 이용하여 Pt계 물질이 잘 발생되는 Exiplex 발광을 이용하여 단층 고효율 OLED를 소개하였다. 하지만 수명은 그리 우수하지 않은 것으로 알려져 있다.

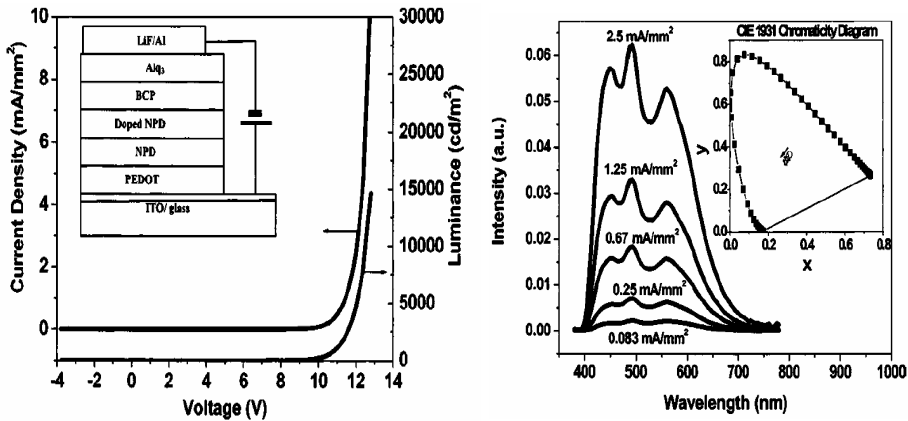


Fig. 6. (a) California 대학에서 발표한 백색 OLED의 (a) 소자 구조와 I-V-L plot, (b) 전류 변화에 따른 색 좌표

### 2.3.5 다층 발광을 이용한 백색 OLED 기술: 저분자형 광 발광층

1999년 Princeton 대학에서는  $\alpha$ -NPD 호스트에 DCM2를 도핑하여 하나의 층에서 청색과 적색을 발광 시키고 ETL층에서 녹색을 발광하여, 이들 광이 수직으로 합쳐져 백색을 구현하는 다층 발광 백색 OLED를 개발하였다. 소자의 최대 휘도는  $13,500 \text{ cd/m}^2$ 였으며,  $0.35 \text{ lm/W}$ 의 효율을 보였다. 소자는 HBL층으로 BCP를 삽입하여 전류의 변화에 대하여 색순도가 거의 변하지 않는 우수한 색 안정성을 보였다(Fig. 7). 최근 Eastman Kodak에서는 황색 빛과 청색 빛을 조합하여 백색광을 구현하는 기술을 발표하였는데 황색 발광층에는 rubrene을 사용하였으며 청색 발광층에는 perylene 등을 사용하였다(Fig. 8.).

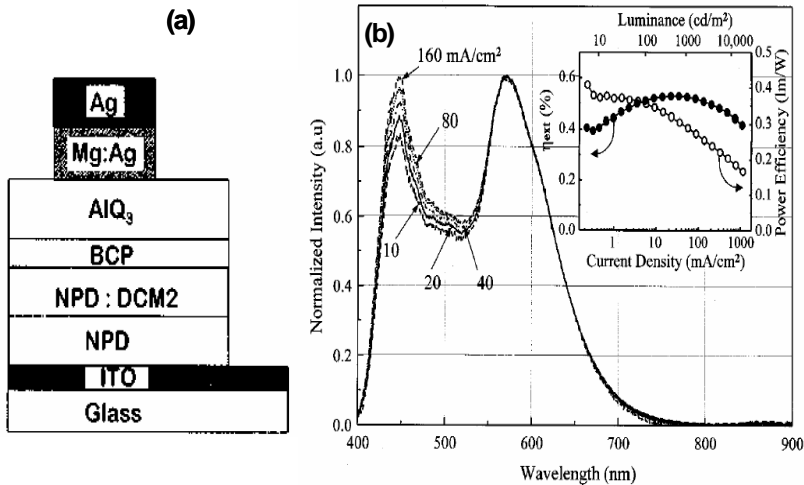


Fig. 7. (a) Princeton대학의 백색OLED(a)소자구조와 (b)전류변화에 따른 소자 특성

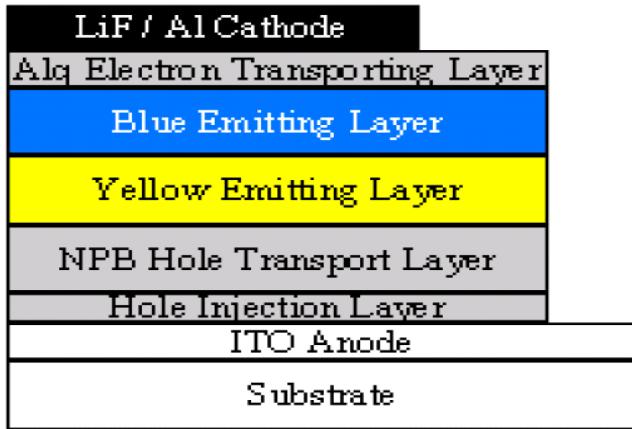


Fig. 8. Eastman Kodak 백색OLED의소자구조

### 2.3.6 다층발광을 이용한 백색 OLED 기술: 인광 발광층

인광 발광 재료로 만들어진 발광 층을 여러 층으로 수직 적층하여 제작한 고효율의 백색 OLED에 대한 발표가 최근 잇따르고 있다. UDC는 Toyota와 공동으로 R, G, B 인광 dopant를 이용한 다층의 인광 발광 층으로 고효율의 백색을 나타내는 OLED를 발표하였다(Fig. 9. (a)). 개발된 백색OLED의 효율은 18.4 lm/W (39 cd/A)였으며, (0.39, 0.39)의 색좌표를 나타내고 있다. 또한, 개발된 색좌표의 Color Rendering Index는 79였다. NOVALED는 PIN OLED를 이용하여 CIE (0.35, 0.37), 1000 cd/m<sup>2</sup>의 휘도에서 16.3 lm/W의 효율을 갖는 백색OLED를 개발하여 발표하였으며 또 NOVALED는 필립스와 공동으로 최근 PIN-OLED기술을 이용하여 25 lm/W의 효율을 갖는 백색 OLED를 발표하였다(Fig. 9. (b)).

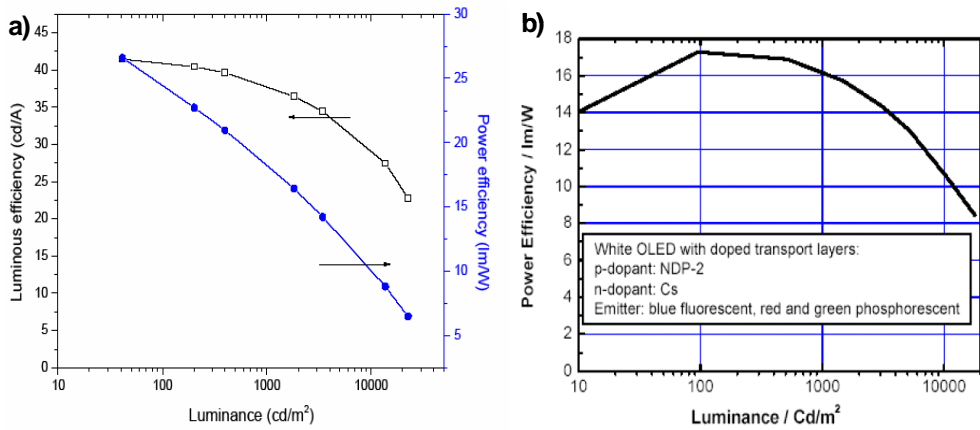


Fig. 9. (a) UDC의 고효율 WOLED용 인광발광재료, (b) PINOLED방식을 이용한 Novald의 고효율 WOLED

### 2.3.7 색변환을 이용한 백색 OLED 기술

최근 GE는 Blue Polymer OLED를 이용하여 청색 빛을 백색으로 변환하는 색변환 방식의 고효율 백색 OLED를 개발하고 있으며, 색변환 WOLED를 이용한 대면적 광원을 발표하였다(Fig. 10). 이 광원은 청색 빛과 양자효율이 98%인 perylene dye와 양자효율이 약 85 %인 Y(Gd)AG:Ce 형광체를 이용하여 개발되었으며, 개발된 소자의 CIE 좌표 값은 (0.36, 0.36), 19cd/A, 1,500 cd/m<sup>2</sup>에서 16 lm/W의 효율을 보였으며, 1,000 cd/m<sup>2</sup>에서 15 lm/W, 색온도 4,400 K의 소자 효율을 보였다.

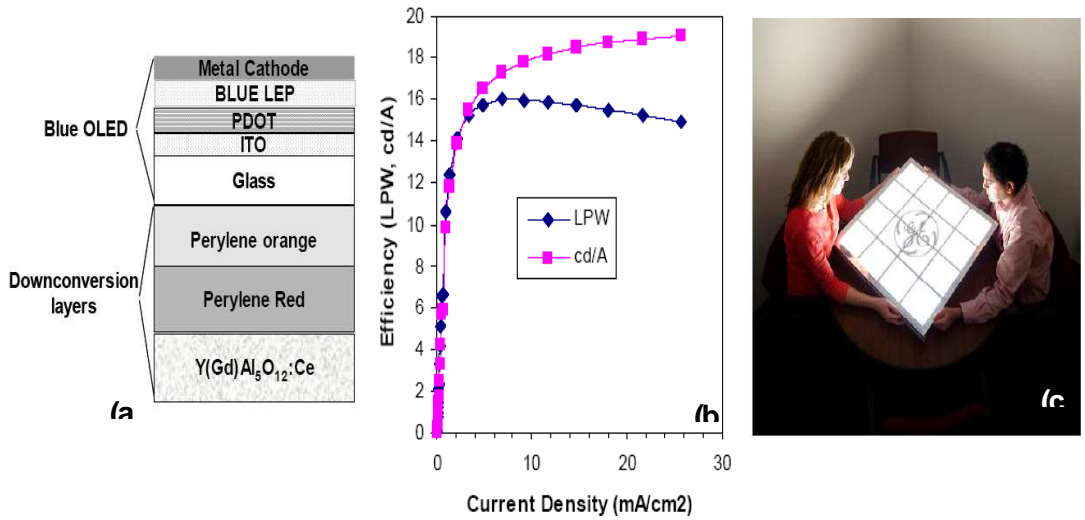


Fig. 10. SID'05에서 GE가 발표한 (a) 백색OLED의 구조와 (b) 효율, (c) 개발된 패널사진

### 2.3.8 소자 적층방식을 이용한 백색 OLED 기술

Princeton 대학에서는 R, G, B 독립 OLED를 적층 시키는 방식을 이용하여 백색을 조합하는 소자 적층 방식의 OLED (Stacked OLED, SOLED)를 개발하였다. SOLED를 이용하면 R, G, B의 휘도 등을 독립적으로 조절할 수 있기 때문에 백색의 구현이 쉬운 장점이 있으나 제작하는 구조가 복잡한 단점이 있다. 일본의 IMES (International Manufacturing and Engineering Services)에서는 R, G, B 소자를 연속적으로 적층하고 각 층의 사이에 CGL (charge generation layer)을 삽입하여 발광 효율을

증대 시킨 MPE (Multiphoton Emission)방식의 OLED 소자에 대한 연구 결과를 발표하였다(Fig. 11). 이 패널은 (0.32,0.34)의 색좌표를 갖는 것으로 보고되었다.

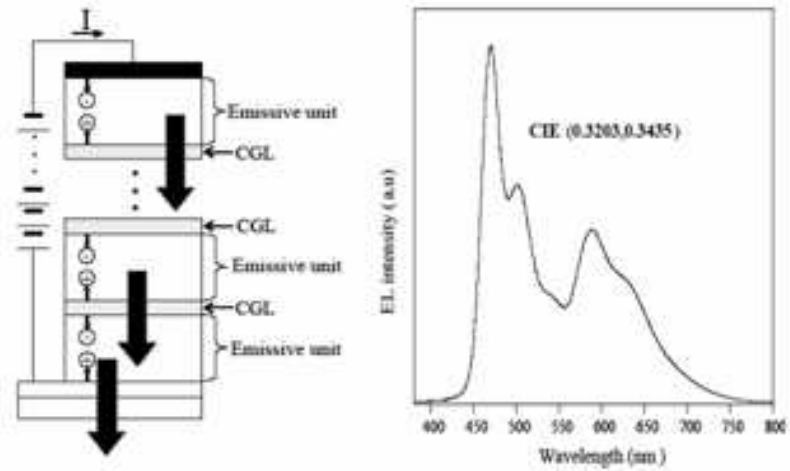


Fig. 11. IMES의 MPE소자 구조와 광특성



## 제 2.4 절 OLED 소자 제조방법<sup>18)</sup>

OLED 소자 제작공정은 크게 Photo, 증착, 봉지 공정으로 나누어진다. OLED 소자는 낮은 전압에서 높은 휘도를 내며 안정적인 동작을 위해서 약 1000-2000 Å 정도 두께의 얇고, 균일하며, 결함이 없는 소자를 제작해야한다. 공정은 AM방식과 PM방식의 구동에 따른 약간의 공정의 차이가 있으나 실제 OLED소자 제작의 공정진행은 많은 차이가 없다. 유기물 증착방법에서는 저분자의 경우는 진공증착 방식을 사용하며, 고분자의 경우는 Ink-jet printing, roll-to-roll coating, screen printing 방식 등으로 유기물을 증착한다. 봉지 공정은 저분자와 고분자에서 차이가 없으며, 재료를 glass, metal종류로 사용하고, 흡습제를 첨가하여 수분에 의한 소자 결함을 방지한다. 이번 실험은 증착방식의 차이는 있지만 양산라인에서 사용되는 저분자 증착법으로 조명용 OLED 소자를 제작하였다.

### 2.4.1 Photo 공정

OLED 소자제작을 위해서는 4-step(ITO, Cr, Insulator, Seperator)의 공정 진행을 해야 한다. 위 공정진행은 1-step(ITO 패턴형성)의 공정진행만 도식한 것이다. 2-step(Cr 패턴형성) 공정진행도 동일한 공정으로 진행을 해야 한다. 3, 4-step(Insulator, Seperator)공정은 etching / PR stripper공정만 제외한 공정을 연속으로 진행한다(Fig. 12). 조명용 OLED 경우는 1, 2, 3-step의 공정을 진행한다.

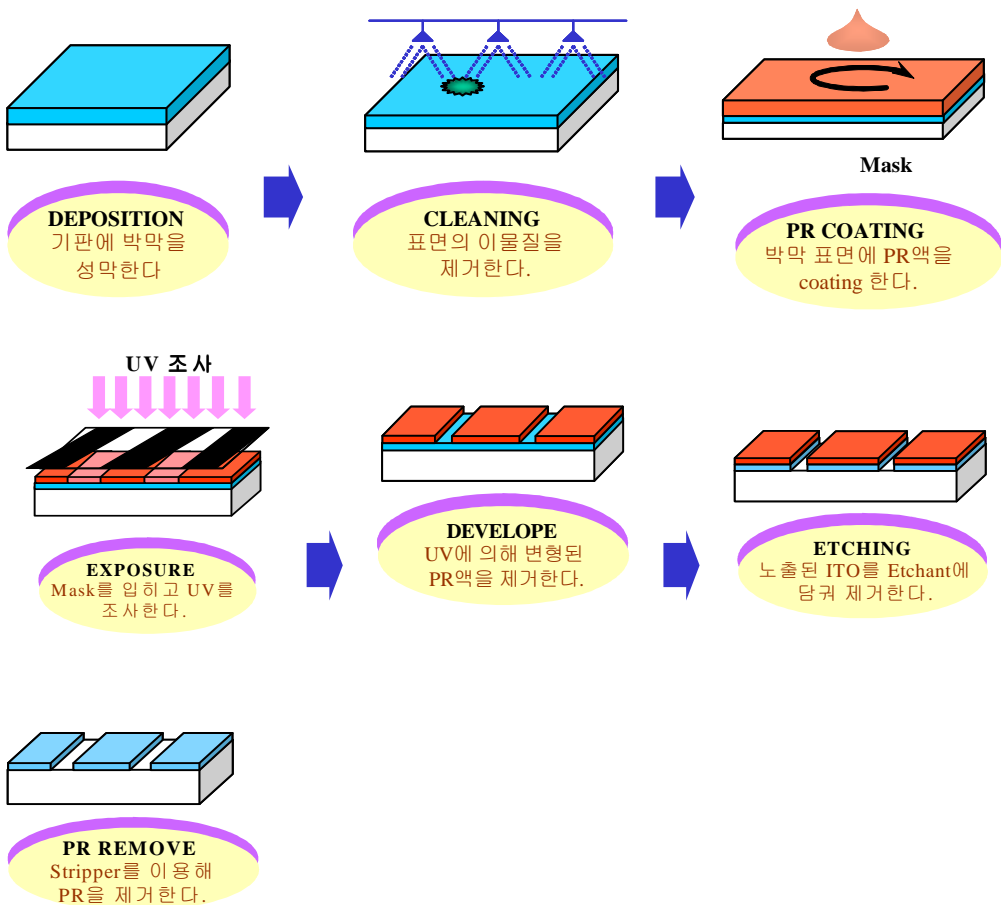


Fig. 12. Photolithography 공정 과정

## 2.4.2 증착공정

Photo 공정에서 Patterning된 Glass를 Pretreatment(Plasma & UVO Cleaning)공정을 거쳐 진공증착 방법으로 유기물을 박막을 형성시킨다.

증착방식으로는 OLED 재료가 small molecule polymer로 열이나 plasma에 약하기 때문에 일반적인 sputter나 CVD로 증착이 힘들어서 OLED증착은 thermal evaporation 법을 사용하고 있다(Fig. 13).

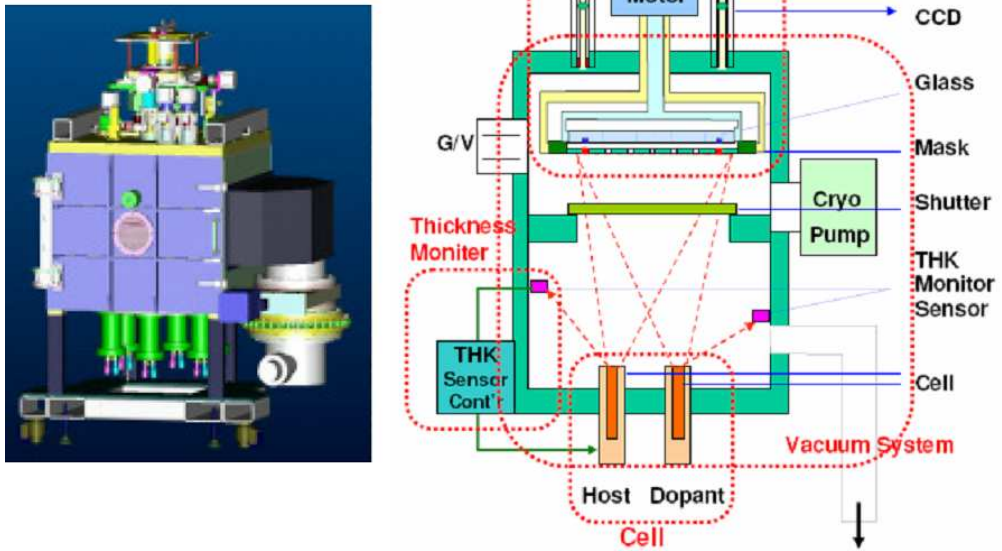


Fig. 13. Thermal evaporator 개략도

공정 진행방법은 아래와 같이 진행하며 Evaporation에서는 먼저 기판에 plasma treatment 진행 후 HIL, HTL, EML(R,G,B), ETL, EIL, cathode 등을 순서 및 dep. rate을 조절하면서 증착을 한다(Fig. 14).

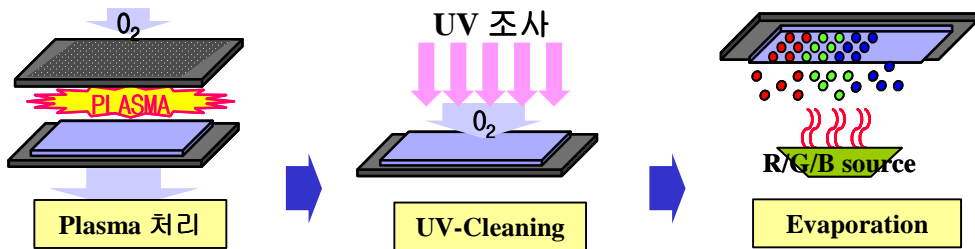
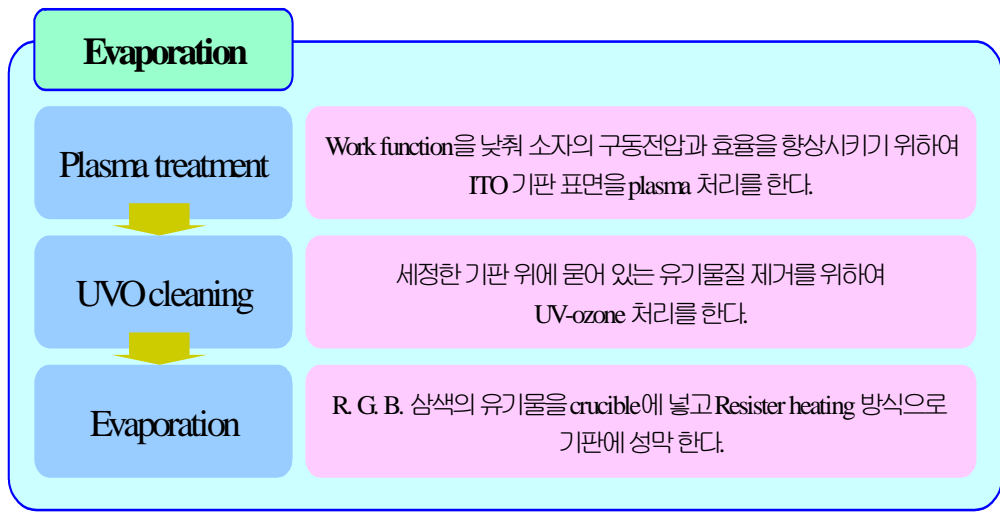


Fig. 14. Evaporation 공정 및 전처리

### 2.4.3 봉지공정

Glass/metal cap 표면에 존재하는 dirt, oil, grease 및 각종 오염 물질을 깨끗이 세정함으로써 유리면과 cap 계면 간의 접착력을 증가 시켜 우수한 sealing 특성을 가질 수 있도록 한다.

아래 그림은 glass/metal cap의 초기 투입 시에 세정방법에 대해서 서술하였다(Fig. 15).



Fig. 15. 봉지 공정의 과정

세정이 완료된 glass/metal cap을 아래와 같이 진행하여 하나의 완전한 소자로 만들어낸다(Fig. 16).

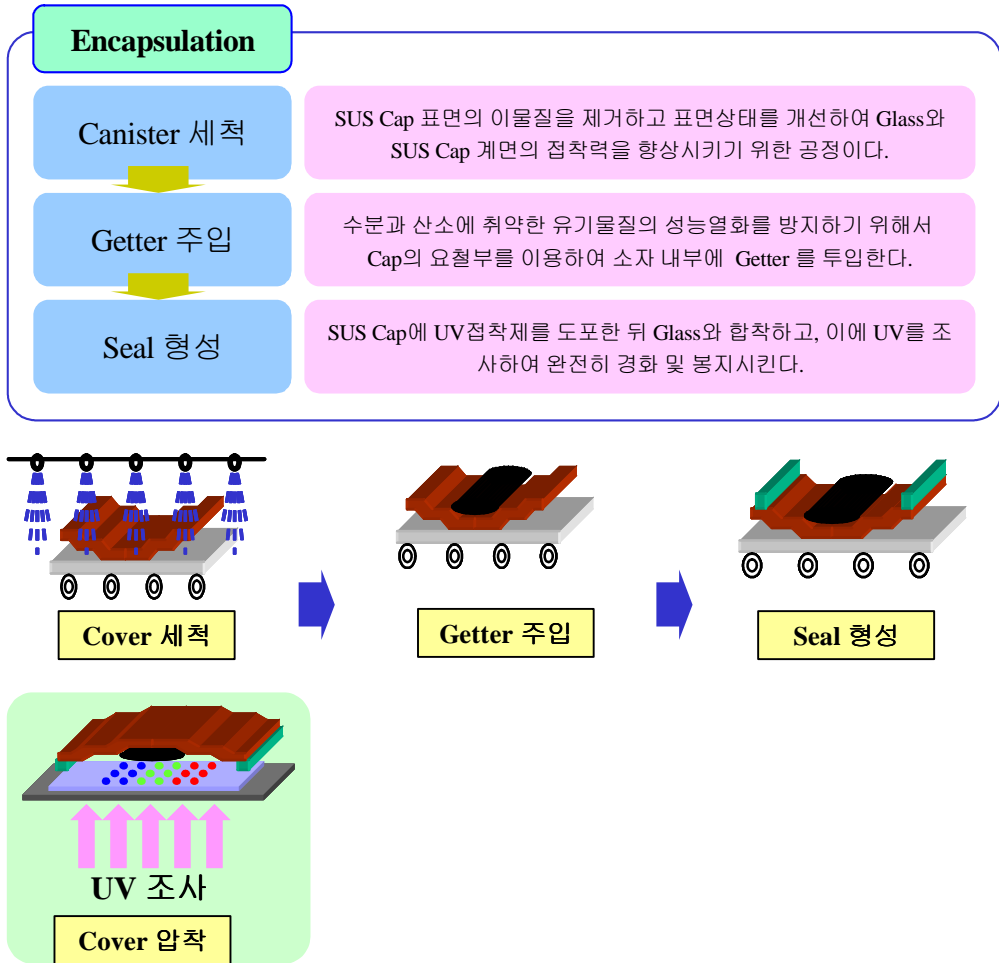


Fig. 16. 봉지 공정 과정

위 그림에서 보여주는 것처럼 glass/metal cap과 유기물이 증착된 소자를 동시에 합착하여 UV를 조사하여 경화시키면 완전한 소자가 완성된다. 이후 공정으로는 구동 IC를 부착함으로써 완전한 디스플레이 소자로서 모든 공정이 완료된다.

## 제 3 장 실험 방법

### 제 3.1 절 *OLED lighting* 소자 제작

#### 3.1.1 기판 세정

기판표면의 불순물과 이물질이 박막의 ITO 부착성을 저하시키므로 기판의 불순물들을 제거하기 위하여 울트라소닉에 detergent을 5 % 희석하여 30분가량 세정 후 최종으로 final bath에서 DI 순도계에서 17 M $\Omega$  이상 세척된 후에 건조한다. 기판표면에 남아있는 수분을 제거하기 위하여 100°C oven에서 건조하였고, 건조된 기판은 현미경을 이용하여 기판 표면에 이물질이 남아 있는지 확인한 후 ITO 박막을 증착하였다.

#### 3.1.2 ITO 박막 증착

ITO 박막은 200 mm  $\times$  200 mm glass위에 in line sputter를 이용하여 두께 1600 Å의 두께로 증착 되었다. 패터닝된 ITO 박막의 구체적인 모양 및 사이즈를 Fig 17에 나타내었다. ITO 박막은 photo 공정으로 ITO를 패터닝하는 방식과(Fig. 18) photo 공정이 없이 metal mask를 이용하여 sputter로 기판위에 직접 증착하는 방식(Fig. 19)으로 제작되었다. ITO박막 증착조건은 Table 2와 Table 3에 나타내었다. 또한, 발광 면적은 4mm  $\times$  4mm size이며 박막의 막질 향상을 위하여 기판 표면을 플라즈마 처리 후 기판 온도를 높여서 증착하여 막질의 치밀성을 좋게 하였다.

Table 2. Deposition conditions of ITO thin films

Target	ITO, In <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -SnO <sub>2</sub> (90:10wt%), 4N
Substrate	Corning 1737
Base pressure	$5.0 \times 10^{-7}$ Torr
Ar gas	100 sccm
O <sub>2</sub> gas	1.3 sccm
Working pressure	2 mTorr
DC power	500 W
Target to substrate distance	50 mm
Heating Temp.	350°C
Substrate cleaning	Acetone - EtOH - D.I (10 min)



Table 3. OLED device fabrication process

OLED fabrication process	Device 1	Device 2	Equipment
Anode fabrication	ITO thin film fabrication	Patterned ITO thin film fabrication by metal mask	In-line sputtering system
Photo lithography	ITO patterning		Wet station, contact alignment, track system
	Insulator coating		
Organic deposition	NPB 400 Å / Alq <sub>3</sub> 150 Å / Alq <sub>3</sub> 200 Å		Organic evaporator system
Cathode deposition	LiF 10 Å / Al 1500 Å		
Encapsulation	Glass can		

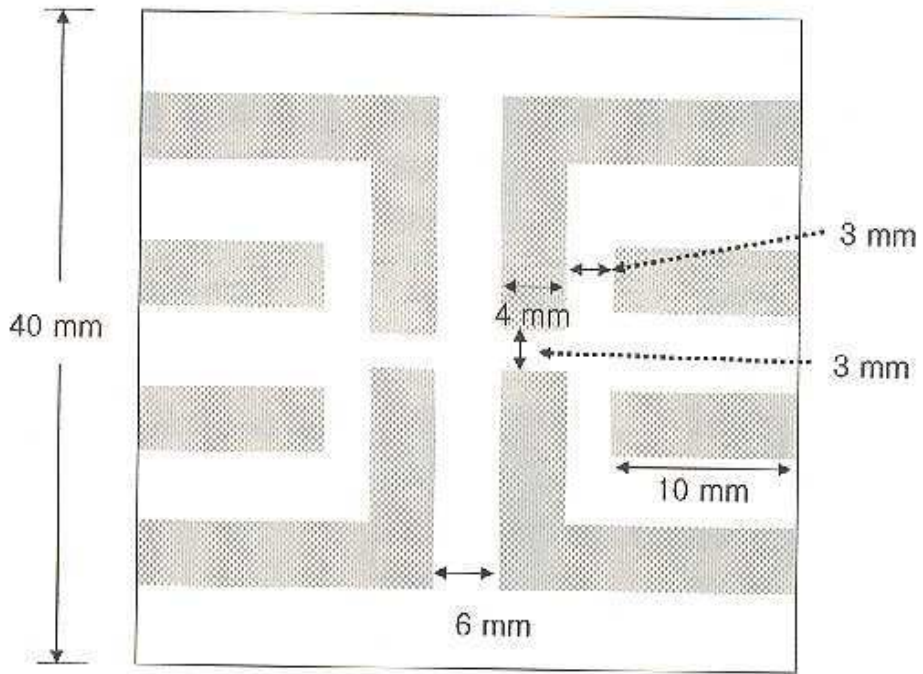


Fig. 17. In-line sputter에서 증착된 ITO 박막의 패턴 lay-out

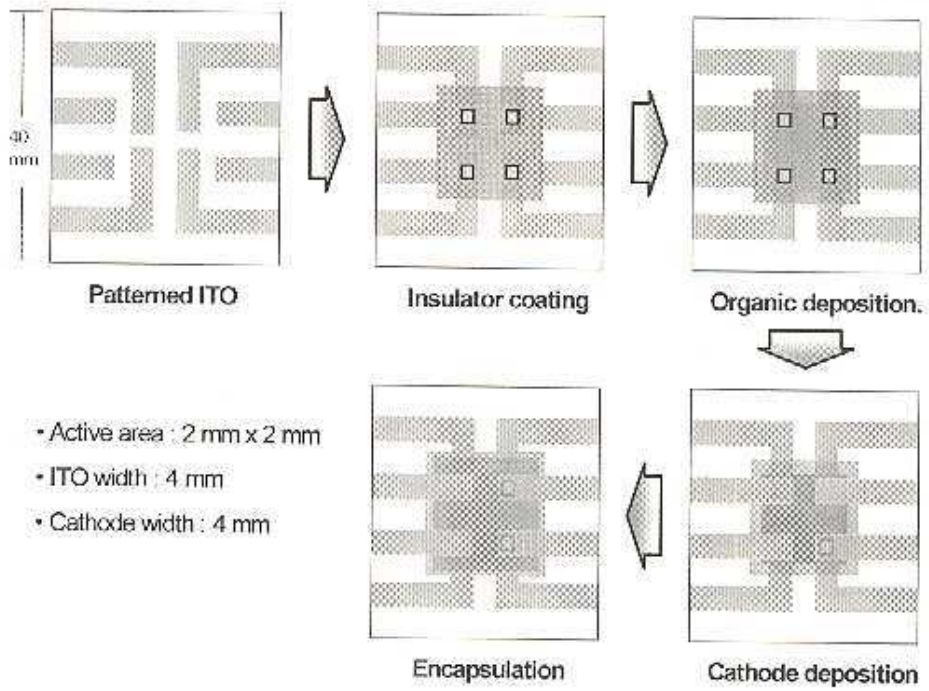


Fig. 18. Photo 공정이 있는 OLED 소자의 제작 과정

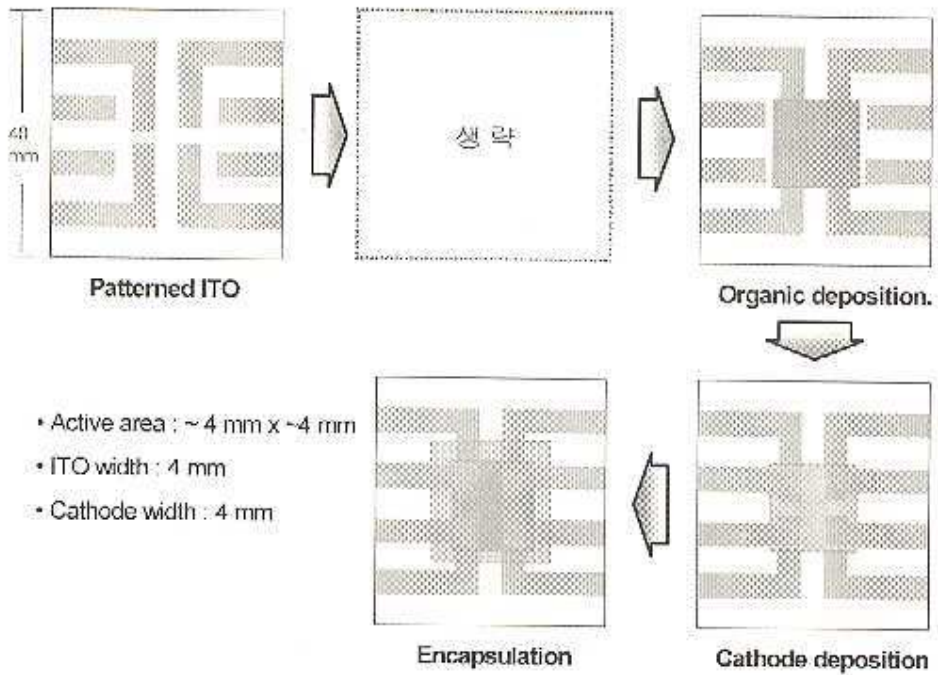


Fig. 19. Photo 공정이 없는 OLED 소자의 제작 과정

### 3.1.2-1photo공정 진행

ITO에 증착된 substrate에 선택적으로 ITO막 제거를 위한 PR 코팅 후 노광 및 ITO etching을 실시한다. 또한 필요 없는 PR제거를 위하여 유기 용제를 이용하여 stripper용액에서 PR을 제거 한다. 그 위에 insulator막을 올려서 패턴과의 분리를 한다. 공정은 PR 코팅 후 노광, developer로 진행한다.

#### \* ITO 패턴형성 공정

- PR 코팅(ZPP-1850) : 두께 1.2  $\mu\text{m}$
- 노광 : 수은 램프 405nm
- developer(MIF 300) : puddle type
- ITO etchant : 일동제약 ITO etchant
- 유기 용제 : PR제거용 , 일동제약 PR stripper

#### \* Insulator 공정

- PR 코팅(ZPP-1850) : 두께 1.2  $\mu\text{m}$
- 노광 : 수은 램프 405nm
- developer(MIF 300) : puddle type

### 3.1.3 유기물 증착

OLED 재료는 small molecule polymer로 열이나 plasma에 약하기 때문에 일반적인 sputter나 CVD로 증착이 힘들기 때문에 thermal evaporation 법을 사용하고 있다. thermal evaporation법은 재료가 분말(powder)형태이기 때문에 증착원이 아래에 있는 형태로 기지상(substrate)의 아래로 향하는 phase down 방식을 사용하였다. 따라서 유기물 증착은 thermal evaporation법을 이용하였으며 기본 발광색은 green으로 하여 증착하였다. 또한, 유기물 증착시 선택적 증착을 위하여 metal mask를 사용하였다. 이때 기판은 균일한 증착을 위하여 회전시키면서 증착하였다.

### 3.1.4 봉지작업

증착 완료된 OLED 조명용 소자는 수분과 산소에 매우 취약하기 때문에 진공이나 불활성 기체 내에서 밀봉성 패키징을 하여 신뢰성과 수명을 향상 시켜야한다. 따라서 증착 완료된 OLED 조명용 소자를 수분 5ppm이하로 유지하는 glove box안에서 glass encap으로 패키징을 진행하였고 잔존하는 수분제거를 위하여 흡착제인 케터를 삽입하여 봉지작업을 수행하였다(Fig. 20). 완료된 OLED 조명용 소자의 단면도를 Fig. 21에 나타내었으며 패턴된 ITO 박막의 edge 부분의 가정된 형상을 구체화 하였다.

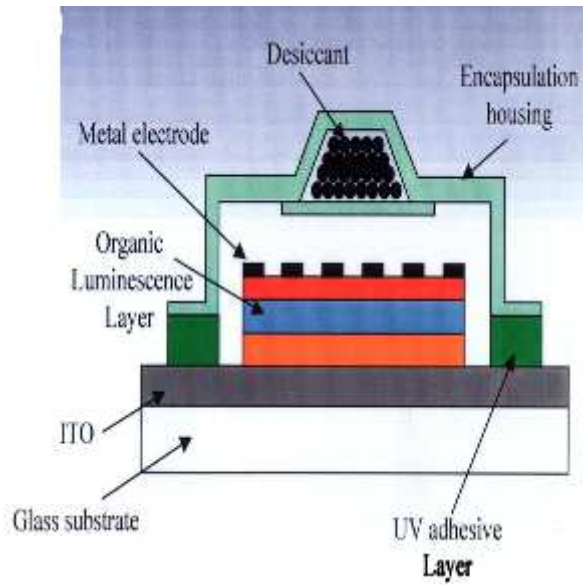


Fig. 20. Encapsulation 공정이 완료된 소자의 단면도

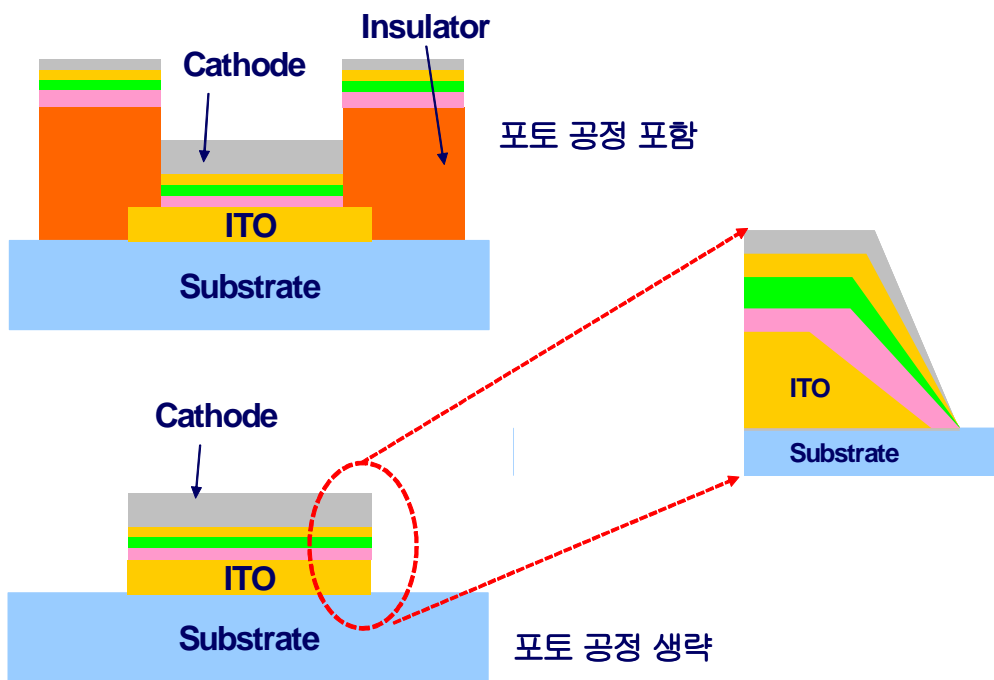


Fig. 21. Photo 공정의 유무에 따른 OLED 소자의 단면도



## 제 3.2 절 특성 분석

### 3.2.1 ITO 박막의 전기적, 구조적 특성 조사

In-line sputter를 이용하여 제조된 ITO 박막의 면저항은 4-point probe(RT-3000, NAPSON Corporation)를 이용하여 측정하였다. 면저항(Rs)은 전류를 바깥쪽 두 탐침 사이에 흘려주고 안쪽 탐침으로 전압을 측정하여 계산되어지며 metal mask를 이용하여 증착된 박막의 패턴 가운데와 끝부분을 측정하여 비교하였다.

패턴된 ITO 박막의 표면 거칠기는 AFM (XE-200 System, PSIA)을 이용하여 Rrms와 Rpv를 측정하였다. Cantilever는 Contact mode를 사용하였으며 10×10 um의 scan size를 0.5 Hz의 scan rate로 측정하였다. 단면은 SEM (Quanta 3D FEG, FEI COMPANY)을 이용하여 측정하였으며 패턴의 가운데와 끝부분을 나누어 관찰하였다.

### 3.2.2 OLED 소자의 특성 조사

OLED 조명용 소자의 전류-전압-휘도 특성을 측정하여 소자의 성능을 비교하였다. Source meter (Kiethley 2440)을 사용하여 전류-전압 특성을 측정하였으며 휘도는 chromameter (Minolta CS-1000)를 사용하여 측정하였다. 1V - 15V까지 step 1 V단위로 I-V-L값을 측정하여 기존의 photo 공정을 수행한 조명용 소자와 photo 공정을 진행하지 않고 직접 ITO 박막증착 후 유기물 증착한 sample과의 전기적 특성을 비교 분석하였다.

## 제 4 장 결과 및 고찰

### 제 4.1 절 ITO 박막의 특성

#### 4.1.1 전기적, 구조적 특성 조사

In-line sputter를 이용하여 제조된 ITO 박막의 물성 데이터를 table. 4에 나타내었다. Fig. 22과 Fig. 23는 photo 공정에 의해 패터닝된 ITO 박막의 가운데와 끝부분의 단면 형상을 나타낸 것이다. 그림에 나타난 것처럼 끝부분은 정교하게 패터닝되어 가운데와 끝부분 모두 ITO 박막의 두께가 균일하다. 하지만 metal mask로 패터닝된 ITO 박막의 경우 Fig. 24와 25에 나타난 것처럼 패턴의 가운데와 끝부분의 두께 차이는 약 3.8배이며, 이는 패턴 metal mask의 modify에 의해 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

또한 패터닝된 ITO 박막의 가운데와 끝부분의 면저항을 측정하였다. 측정 결과 패턴의 가운데 영역에서는  $17 \Omega/\square$ 로 낮은 면저항을 얻을 수 있었다. 하지만 패턴의 가장자리 부분은 SEM 결과에서도 확인되었듯이 마스크의 shadow effect로 ITO의 두께가 얇아짐에 따라 면저항이  $26.8 \Omega/\square$ 로 증가되었다.

패터닝된 ITO 박막의 표면 거칠기 결과를 Fig. 26 ~ 29에 나타내었다. ITO의 표면 거칠기는 OLED 소자의 특성을 좌우하는 매우 중요한 요인이 되며 1nm Rrms(Root Mean Square Roughness)와 10 nm Rpv (Peak to Valley Roughness) 이하가 요구되고 있다. 특히 표면 거칠기를 나타내는 방법 중 Rpv 값이 그 이상이 되면 유기물 층을 파괴하여 누설전류가 발생하므로 소자로서의 특성을 잃어버리게 된다. 결과에 나타난 것처럼 패턴의 가운데 부분은 Rrms 1.02 nm, Rpv 8.60 nm 로 OLED 전극용 기판으로 적용하기에 적합할 것으로 판단된다. 하지만 Fig. 29의 metal mask로 패터닝된 ITO 박막의 끝부분은 23.57 Rpv, 1.53 Rrms 로 측정되

었고 특히 R<sub>pv</sub>값이 상대적으로 높아 실제 OLED 구동 시 누설전류가 많이 발생할 것으로 예상된다.

Table 4. Characteristics of ITO thin film deposited by in-line sputter

	Sample 1		Sample 2	
	Center	Edge	Center	Edge
Thickness (nm)	156.9	150	159.2	41.6
Resistance ( $\Omega/\square$ )	17			26.8
Surface roughness (nm)	8.60 (R <sub>pv</sub> ) 1.02 (R <sub>rms</sub> )	10.01 (R <sub>pv</sub> ) 1.13 (R <sub>rms</sub> )	9.31 (R <sub>pv</sub> ) 1.14 (R <sub>rms</sub> )	23.57 (R <sub>pv</sub> ) 1.53 (R <sub>rms</sub> )
Transmittance (%)	> 85 (@ visible region)			

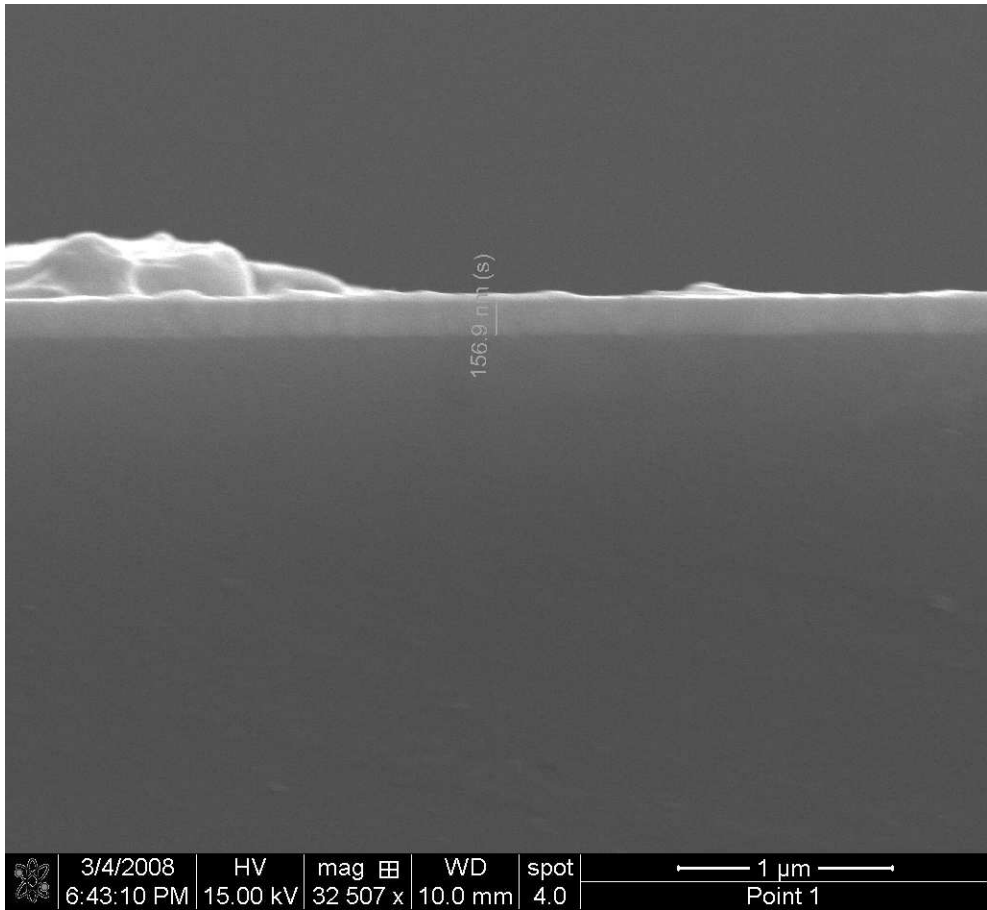


Fig. 22. Photo 공정에 의해 패턴된 ITO 박막의 center 부분 SEM 이미지

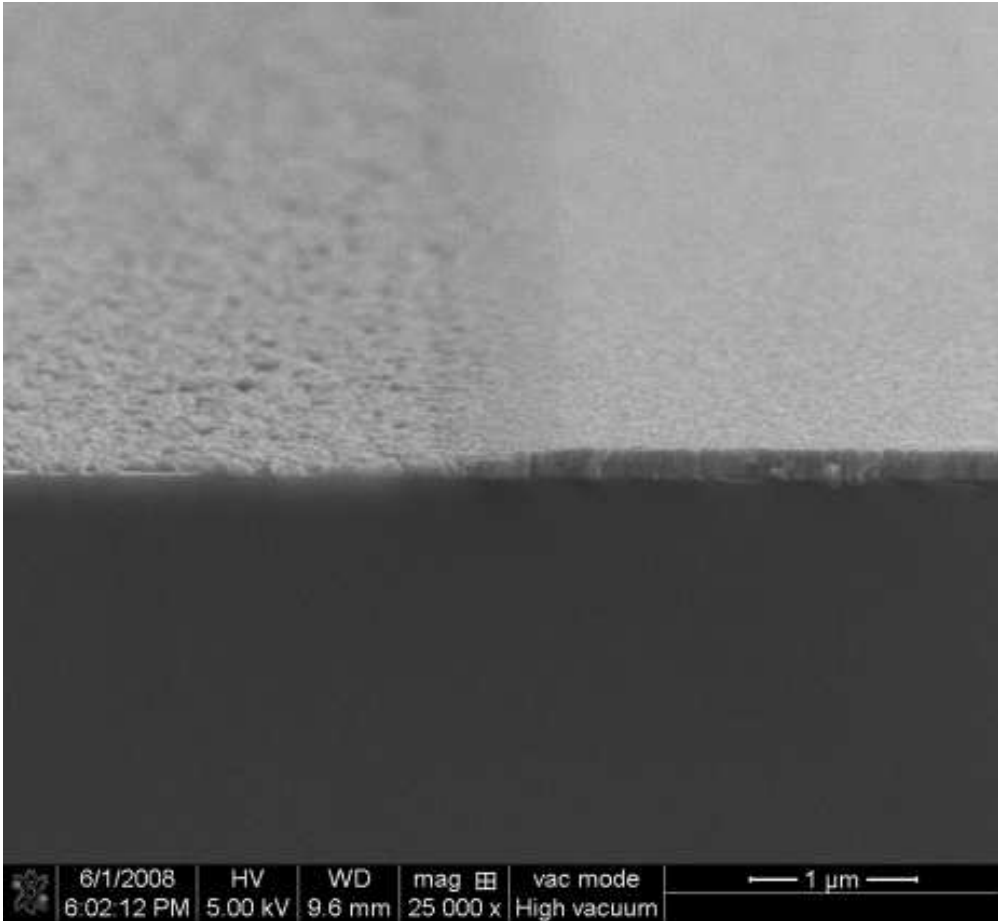


Fig. 23. Photo 공정에 의해 패터닝된 ITO 박막의 edge 부분 SEM 이미지

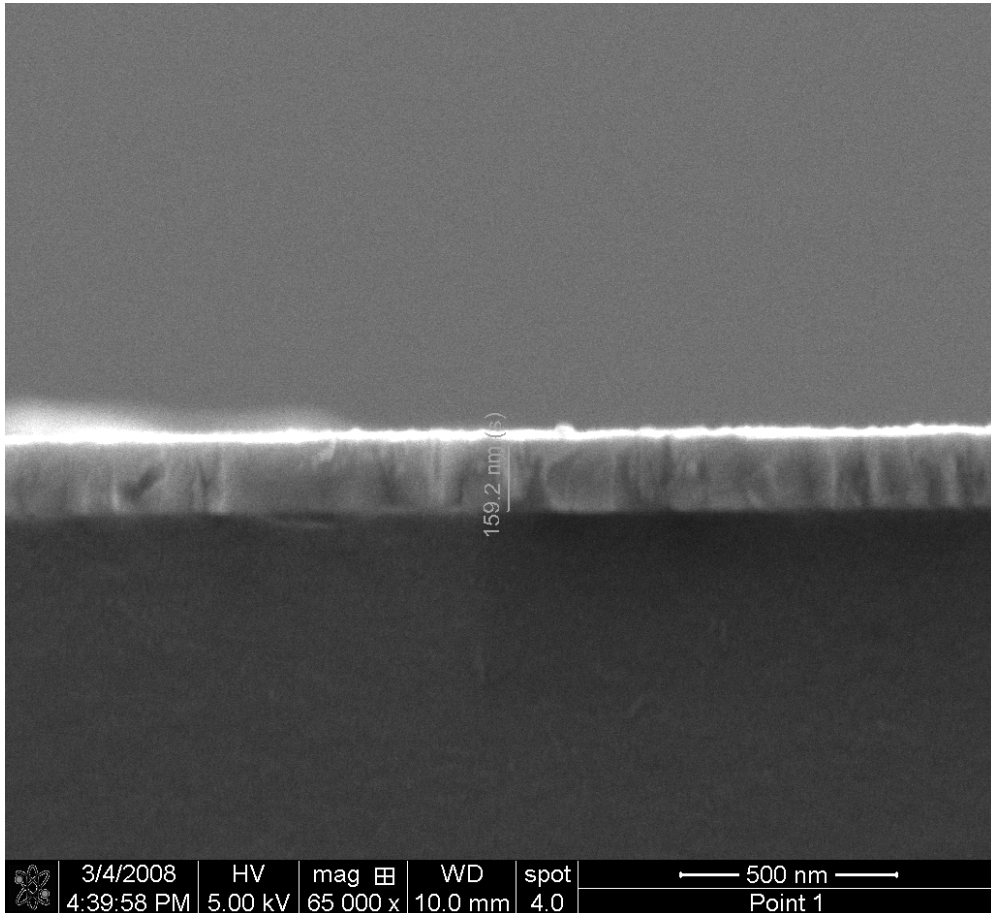


Fig. 24. Metal mask로 패터닝된 ITO 박막의 center 부분 SEM 이미지

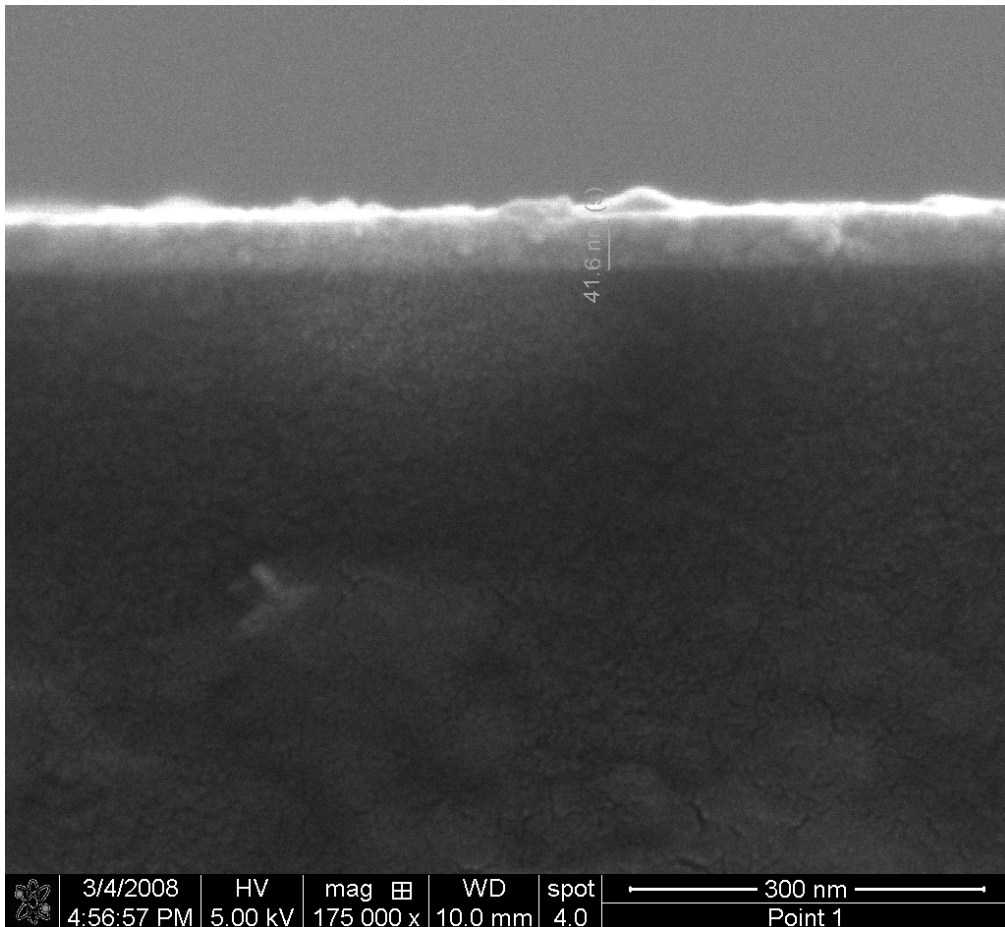


Fig. 25. Metal mask로 패터닝된 ITO 박막의 edge부분 SEM 이미지

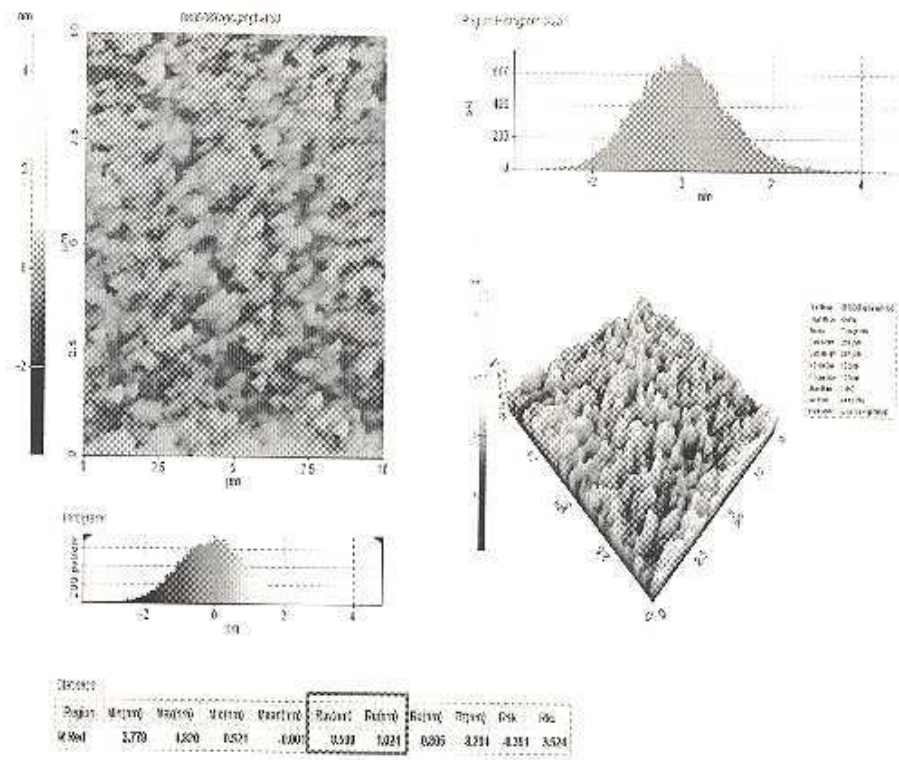


Fig. 26. Photo 공정으로 패터닝된 ITO 박막의 center 형상



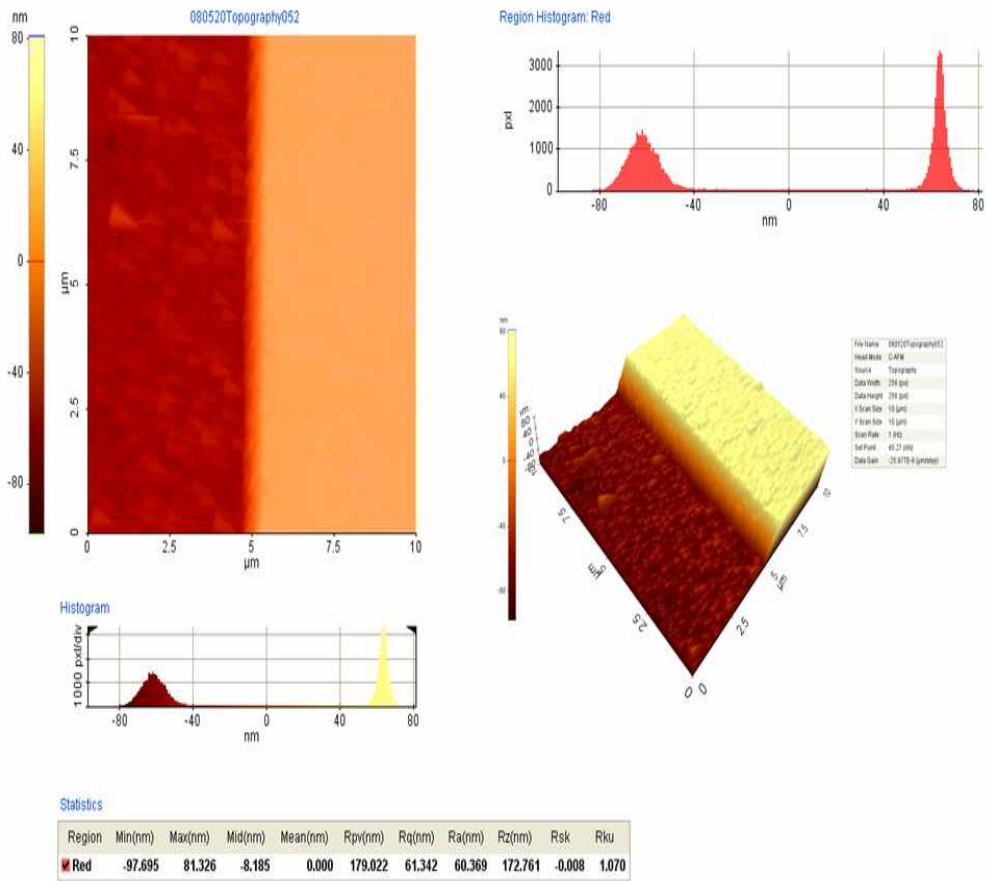


Fig. 27. Photo 공정으로 패터닝된 ITO 박막의 edge 형상

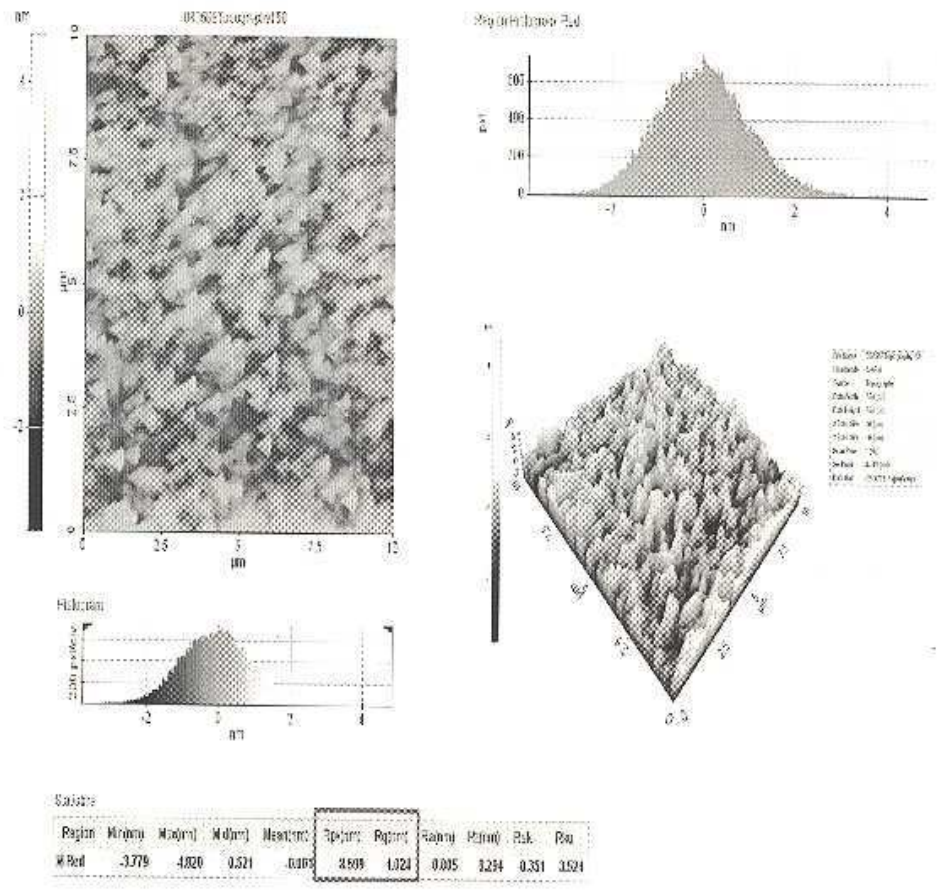


Fig. 28. Metal mask로 패터닝된 ITO 박막의 가운데 부분 표면 거칠기

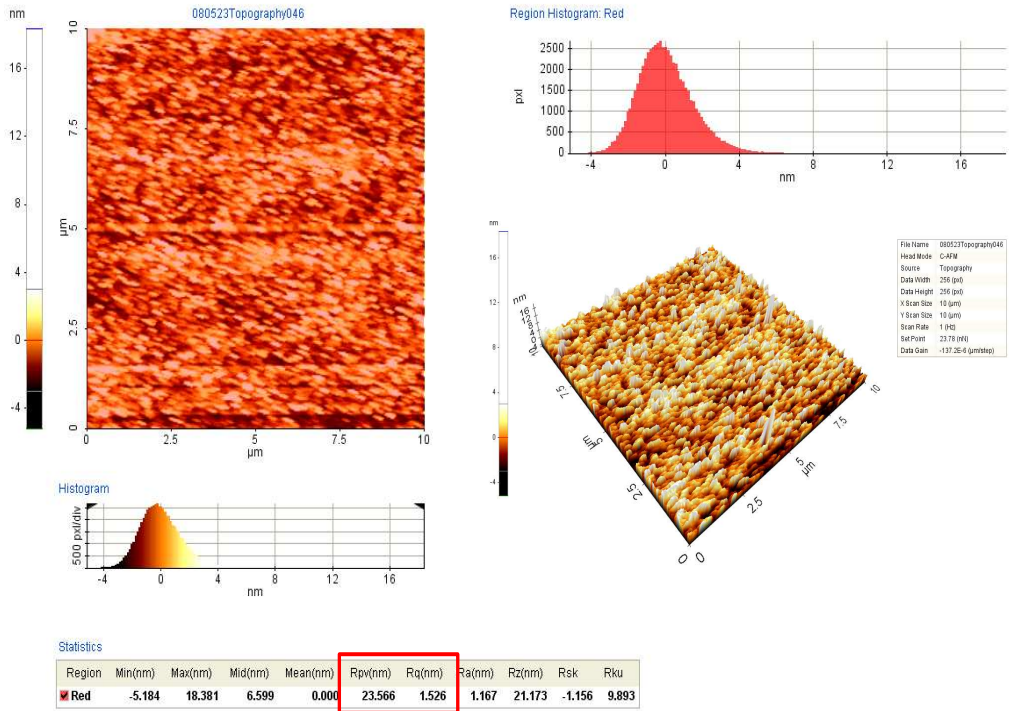


Fig. 29. Metal mask로 패터닝된 ITO 박막의 끝부분 표면 거칠기

## 제 4.2 절 OLED 소자의 특성

### 4.2.1 OLED 소자의 전류-전압 특성

Photo 공정을 적용한 소자와 photo 공정이 없는 소자의 전류-전압 특성 그래프를 Fig. 30 에 나타내었다. Photo 공정을 적용한 소자의 경우는 15 V에서  $2500 \text{ mA/cm}^2$ , photo 공정이 없는 소자의 경우  $226 \text{ mA/cm}^2$  의 전류밀도를 나타내고 있으며 약 10배 이상 차이가 나는 것을 알 수 있다. 이렇게 두 소자에서 전류밀도가 차이 나는 것은 leakage current의 원인으로 포토 공정을 적용한 소자의 전류 밀도가 높은 것으로 추정된다.

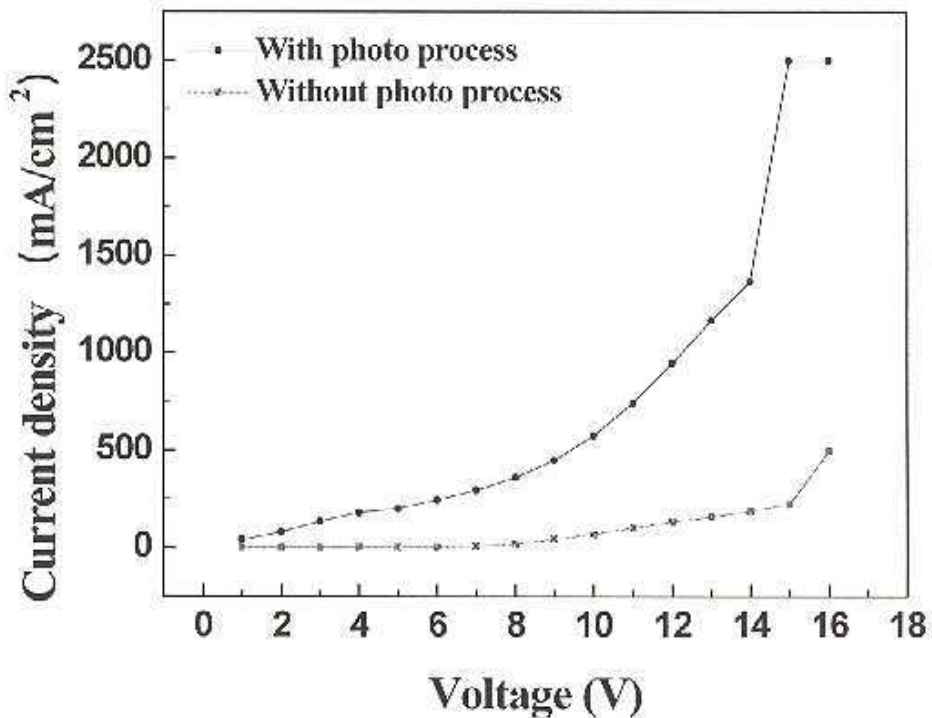


Fig. 30. Photo 공정을 적용한 소자와 photo 공정이 없는 소자의 전류-전압 특성

#### 4.2.2 OLED 소자의 전압-발광 특성

Fig. 31 에는 소자의 휘도 특성을 비교해 보았다. Photo 공정을 적용한 소자의 경우 13V에서 13470  $\text{cd/m}^2$ 의 최고 휘도를 얻었으며 photo 공정이 없는 소자의 경우 12V에서 4263  $\text{cd/m}^2$ 의 휘도를 얻었다. 이렇게 두 소자의 최고휘도에서 특성차이가 나는 이유는 photo 공정을 적용한 소자의 경우 ITO의 패터닝이 미세하게 이루어졌지만 단순 메탈마스크를 이용한 패터닝은 SEM사진으로도 확인되었듯이 shadow effect 때문에 균일도가 떨어지기 때문으로 보인다. 하지만 1000 nit 기준의 구동전압은 photo 공정을 적용한 소자는 7.5V, photo 공정이 없는 소자는 8V로서 차이가 미미함을 알 수 있다.

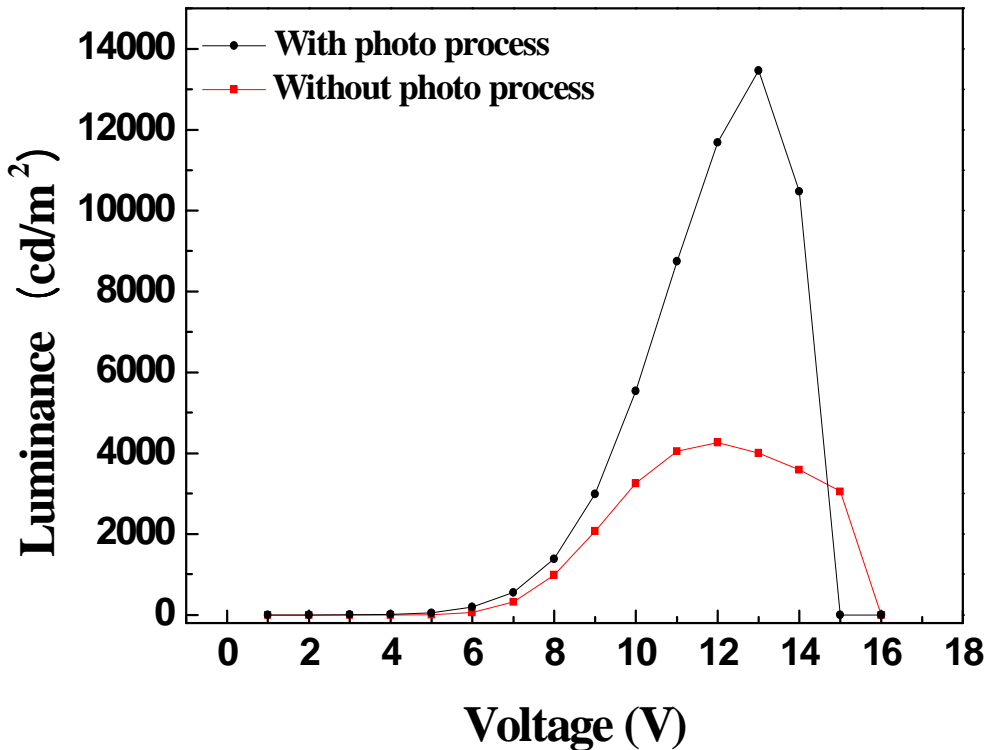


Fig. 31. Photo 공정을 적용한 소자와 photo 공정이 없는 소자의 전압-발광 특성

### 4.2.3 OLED 소자의 전압-전력효율 특성

OLED에 사용되는 효율 값은 여러 가지가 있으나 본 실험에서는 소자의 전력효율을 나타내는 lm/W의 효율을 구하였다. Fig. 32에서 보는 것처럼 photo 공정이 없는 소자의 전력효율이 적용한 것보다 오히려 더 높게 나타난 것을 알 수 있다. 이것은 photo 공정이 없는 경우 edge부분에 hole injection이 잘 이루어진 것으로 판단된다.

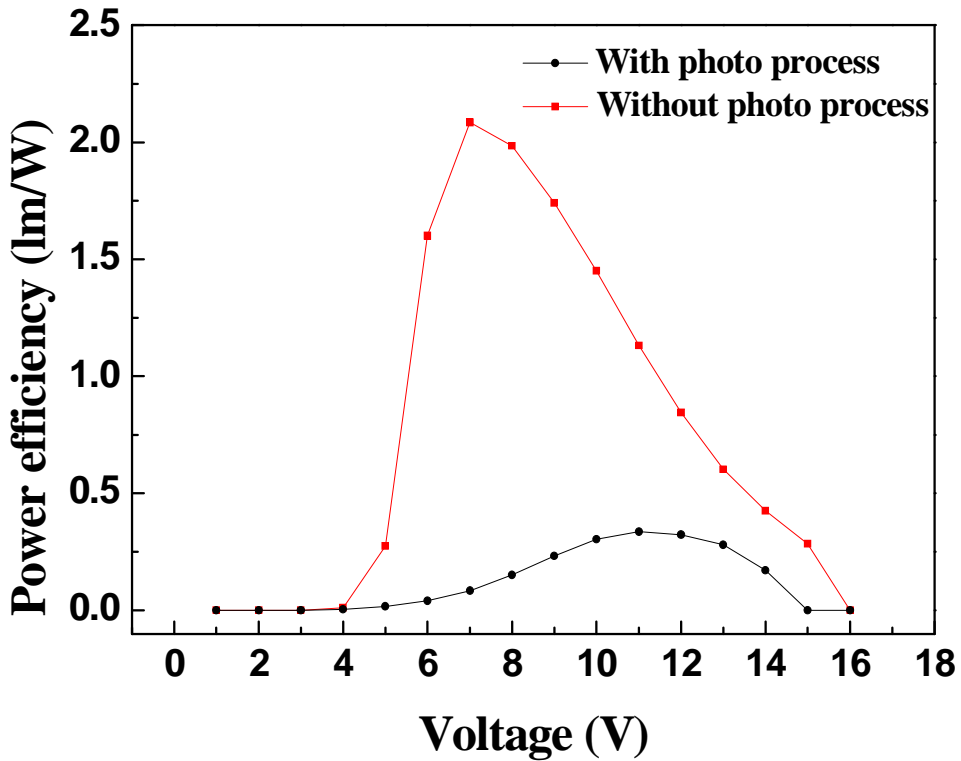


Fig. 32. Photo 공정을 적용한 소자와 photo 공정이 없는 소자의 전력효율-전압 특성

#### 4.2.4 OLED 소자의 *leakage current* 특성

Anode와 cathode 사이에 유기물을 증착하는 과정에서 저항성분이 다 소 포함되어 있을 경우 혹은 유기물이 증착되고 발광하는 과정에서 특성 변화가 일어나 일반적으로 이상적인 다이오드 특성에서는 역전압 인가시 전류가 흐를 수 없지만 내부 저항성분이 생긴 경우에 역전압에서도 전류가 흐를 수 있다. 이런 경우 대부분 발광이 안되거나 발광된다 하여도 내부 저항성분으로 인해 전력 소비가 커져 효율이 급격히 저하된다. 0 V 이상의 I-V curve에서 대략 예측이 가능하기는 하지만 이상적인 OLED의 경우 + 전압 부분에서 전류가 exponential하게 증가하지만 저항 성분이 있는 경우 곡선이 그렇지 못하고 왜곡되는 경향을 보인다.

또한 메탈 마스크를 이용하여 증착한 경우와 그렇지 않은 경우 유기물이 표면에 증착되는 모양에 의해서도 누설전류의 양이 역전압 하에서 증가될 수 있는데 그 이유는 마스크 없이 증착될 때 edge 부분이 넓게 고루 퍼져 분포되기 때문이며, 이는 전하의 특성상 표면으로 이동하기 쉬운 넓은 부분으로 누설이 되기 쉽다. Fig. 33에 photo 공정의 유무에 따른 두 소자의 leakage current를 측정한 그래프를 나타내었다. leakage current의 원인은 인접 cell간의 저항, cell 내 OLED 소자의 다이오드 특성 또는 불균질한 막질에 의해 발생된다. 따라서 소자의 효율과 비교했을 때 photo 공정에 의한 ITO 패터닝에 비해 metal masking을 이용한 ITO 패터닝은 증착 시 shadow effect에 의해 sharp한 단면을 갖지 못해 인접 cell 간 leakage current 특성은 떨어지는 것으로 보인다(Fig. 34). 그러나 디스플레이 구동과 다르게 조명용 소자의 측면에서는 상기 인접 cell간의 leakage current가 소자 신뢰성 측면에서 중요한 인자는 아니므로 크게 문제되지는 않을 것이다. photo 공정이 없는 경우 shadow effect의 영향으로 edge부분의 ITO와 유기물 증착면적에 의한 유기물 층 내의 역으로

전류가 흐를 경우 유기물과 cathode 부분 내 anode 가 흘러서 발생한 것으로 판단된다. 따라서 연구 목적 달성 위해서 향후에 디자인 개선을 통한 leakage current을 줄일 수 있을 것으로 판단되며 이에 따른 개선도를 Fig. 35에 나타내었다.

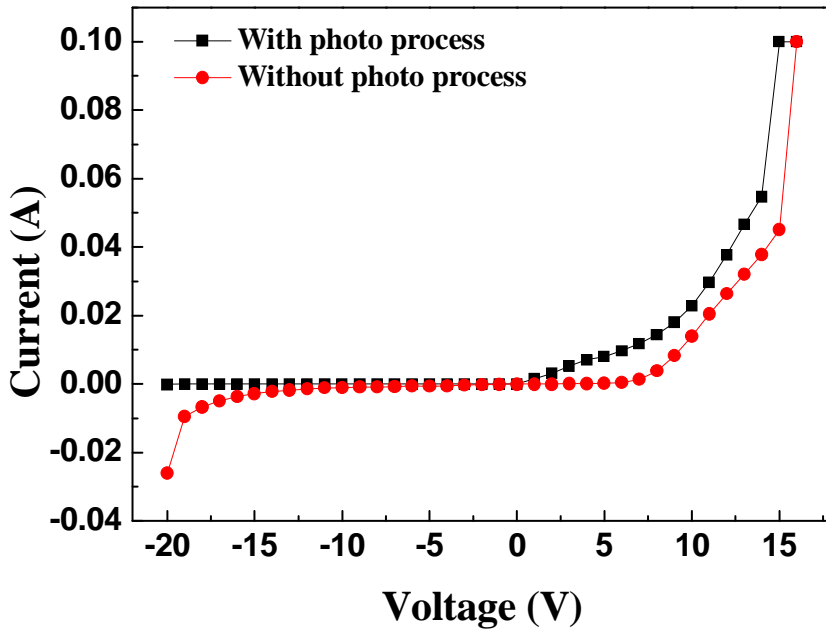


Fig. 33. Photo 공정을 적용한 소자와 photo 공정이 없는 소자의 leakage current 그래프



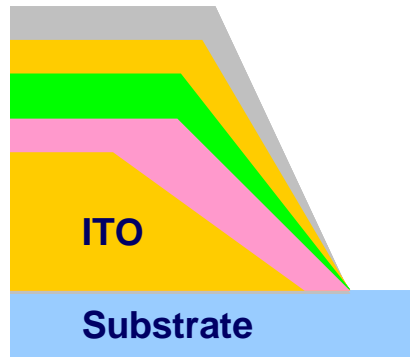


Fig. 34. photo공정이 없는 조명용 OLED소자의 단면도

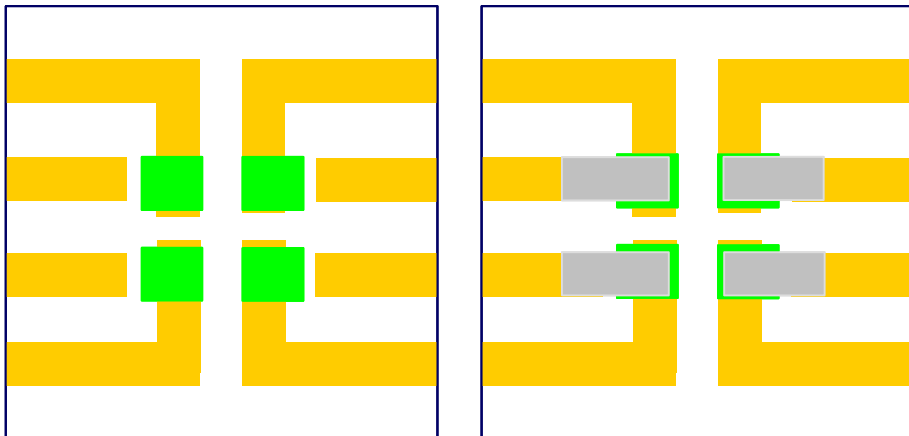


Fig. 35. Leakage current를 줄이기 위한 디자인 개선도

## 제 4 절 결론

OLED는 두께가 얇고, 고휘도의 구현이 가능하며, 인간에게 친숙한 자연광을 방출하기 때문에 조명기기로 응용이 가능하다. 특히 조명용 OLED를 조명기기로 응용할 경우 정교한 제조 공정이 요구되지 않기 때문에, 공정이 간단하며, 대면적화가 상대적으로 쉽다. 조명용 OLED가 시장에 접근하기 위해서는 4가지측면의 필수 요소기술이 있다. 그 중 첫 번째 저전압 구동기술, 두 번째 고효율 백색소자, 세 번째 장수명화 기술, 네 번째 저가 대면적 양산기술이다. 이중 본 연구 내용은 타조명(형광등, 백열등) 대비 효율, 수명, 친환경적인 조명임에도 불구하고 제조원가가 높은 조명용 OLED을 저가 대면적 양산기술을 위한 패턴된 metal mask를 이용하여 저가로 제조가능한 제조공정 기술개발이다. 조명용 OLED는 photo 공정이 선행공정으로 진행하게 되며 그로인해 공정시간이 길고 초기투자 및 제품의 원가상승으로 인해 기존의 형광램프와의 가격적인 측면에서 문 제점으로 지적이 될 수 있다. 그래서 이번 연구를 통하여 photo 공정 없이 ITO박막을 증착하여 바로 유기물을 증착한 결과 photo 공정이 있는 기존 sample과 비교 시에 turn on voltage는 약 3.5V로 비슷하게 나타났지만 Photo 공정을 적용한 소자의 경우 13V에서 13470 cd/m<sup>2</sup>의 최고 휘도를 얻었으며 photo 공정이 없는 소자의 경우 12V에서 4263 cd/m<sup>2</sup>로 약 10배의 차이를 나타냈다. 그러나 일반적으로 OLED 조명용소자의 경우 1000 cd/m<sup>2</sup> 기준으로 사용하게 되는데 이 경우에는 photo 공정이 없는 소자의 경우 구동 전압 8V에서 측정이 되며 Photo 공정을 적용한 소자의 경우는 7.5 V에서 휘도를 나타내고 있다. 전류 밀도 또한 Photo 공정을 적용한 소자의 경우는 15 V에서 2500 mA/cm<sup>2</sup>, photo 공정이 없는 소자의 경우 226 mA/cm<sup>2</sup>가 측정이 되며, 전류밀도 10배의 차이를 나타냈다. 이러한 영향은 OLED소자 전체적으로 나타나고 있는 현상이며, 이러한

현상은 photo 공정 없이 직접 metal mask을 적용하여 ITO 박막을 증착한 결과로 AFM, 4-point probe, SEM image에서 나타난 것 같이 shadow effect에 의한 edge 부분의 ITO 박막 표면의 불균일도와 metal mask와 glass간의 밀착성 부족 등으로 인한 miss aligner에 의한 것으로 ITO 표면에서의 차이로 인한 문제로 판단된다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법의 전제조건으로는 1)기판과 마스크를 동시에 장착하기 위한 구조물 필요 2) 웨도우 마스크에 의한 arc 발생을 억제하기 위한 플라즈마 안정성이 고려된 구조, 그리고 3) 기판과 마스크의 완벽한 합착을 위한 영구자석이 장착된 Susceptor 제작이 필요할 것이다(Fig. 36). 이번 실험의 결과를 토대로 양산 라인에서 공정 검토를 할 경우에 Fig. 36 과 같은 방법으로 조명용 OLED소자를 제작한다면 공정시간의 최소화, 초기투자 및 제품의 원가 감소 등으로 인해 기존의 형광램프와의 가격적인 측면에서 경쟁력을 가질 수 있을 것이다.

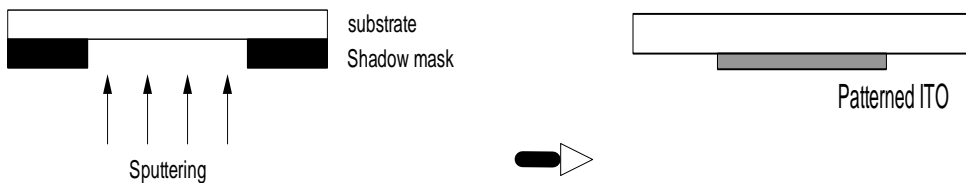


Fig. 36. 웨도우마스크에 의한 ITO 패터닝공정

## 참 고 문 헌

- 1) M. Pope, H. P. Kallmann, and P. Magnate, J. Chem. Phys. **38**, 2042 (1963)
- 2) P. S. Vincett, W. A. Barlow, R. A. Hanu, and G. G. Roberts, Thin Soild Films **94**, 171 (1982)
- 3) C. W. Tang and S. A. VanSlyke, Appl. Phys. Lett. **51**, 913 (1987)
- 4) R. Sheats, H. Antoniadis, M. Hueschen, W. Leonard, J. Miller, R. Moon, D. Roitman, and A. Stocking, Science **273**, 884 (1996)
- 5) C. W. Tang, S. A. VanSlyke, and C. H. Chen J. Appl. Phys. **65**, 3610 (1989)
- 6) J. H. Burroughes, D. D. C. Bradley, A. B. Brown, R. N. Mackay, R. H. Friend, P. L. Burns, and A. B. Holmes, Nature **347**, 539 (1990)
- 7) R. H. Friend, R. W. Gymer, A. B. Holmes, J. H. Burroughes, R. N. Macks, C. Taliani, D. D. C. Bradley, D. A. Dos Santos, J. L. Bredas, M. Logdlund and W. R. Salaneck, Nature **397**, 121 (1999)
- 8) D. Braun and A. J. Heeger, Appl. Phys. Lett. **58**, 1982 (1991)
- 9) G. Gustafasson, Y. Cao, G. M. Treacy, F. Klavetter, N. F. Colaneri, and A. J. Heeger, Nature **357**, 477 (1992)
- 10) Burn, P. L. et al., Nature **356**, 47 (1992)
- 11) A. Kraft, A. C. Grimsdale, and A. B. Holmes, Angew. Chem. Lnt. End Engl. **37**, 402-428 (1998)
- 12) 문대규, "OLED 조명과 시장전망", 특별 기고문, 전자정보센터 전자부 품연구원 (2006)
- 13) J. Kido "유기 EL" 광문각 (2004)

- 14) H. Ishii, K. Sugiyama, E. Ito, and K. Seki, *Adv. Mater.* 11, 606 (1999)
- 15) 이종호 외, “OLED 기술을 이용한 면발광 조명 개발” 차세대 신기술 개발사업 연구기획보고서, 산업자원부 (2006)
- 16) L. S. Hung, C. W. Tang, and M. G. Mason, *Appl. phys. Lett.* 70,152 (1997)
- 17) J. Kido, T. Nakada, J. Endo, N. Kawamura, K. Mori, A. Yokoi, and T. Matsumoto, *Proceedings 11st International Workshop on Inorganic and Organic Electroluminescence and 2002 International Conference on the Science and Technology of Emissive Displays and Lighting*, (Ghent, Belgium, 23-26 September 2002)
- 18) Zaky. H. Kafari et al., “Organic Electroluminescence” Taylor&Francis (2005)

## 저작물 이용 허락서

학 과	첨단소재공학과	학 번	20067624	과 정	석사
성 명	한글: 김 영 백	한문: 金 泳 百	영문: Kim Young-Baek		
주 소	광주광역시 서구 매월동 이지 스위트밸리 102동 502호				
연 락 처	E-MAIL : kimmoon@kitech.re.kr				
논문제목	한글 : photo 공정 없는 OLED 조명용 소자 개발 영문 : Fabrication of OLED lighting device without photolithography				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집·형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음
7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의( 0 ) 반대( )

2008 년 6 월 16 일

저작자 : 김 영 백

(서명 또는 인)

**조선대학교 총장 귀하**