



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 원 저작자를 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](#)



2013학년도 2월
석사학위 논문

**노광공정을 사용하지 않는
저 누설전류 OLED 조명 소자**

**조선대학교 대학원
첨단부품소재공학과
서 인 하**

노광공정을 사용하지 않는 저 누설전류 OLED 조명 소자

Low Leakage Current OLED Lighting Devices
without Photolithography

2013년 2월 25일

조선대학교 대학원

첨단부품소재공학과(소재전공)

서 인 하

노광공정을 사용하지 않는 저 누설전류 OLED 조명 소자

지도교수 신동찬

이 논문을 공학석사 학위신청 논문으로 제출함

2012년 11월

조선대학교 대학원

첨단부품소재공학과(소재전공)

서인하

서인하의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 박진성(인)

위원 조선대학교 부교수 신동찬(인)

위원 조선대학교 조교수 강현철(인)

2012년 11월

조선대학교 대학원

목 차

List of Tables	IV
List of Figures	V
Abstract	VII

제 1 장 서 론	1
제 2 장 이론적 배경	3
제 2.1절 유기발광 다이오드(OLED) 개요	3
2.1.1 OLED 기술 개요	3
2.1.2 OLED 동작 원리	3
2.1.3 OLED 특징	6
2.1.4 다층 박막 OLED	6
2.1.5 저분자 OLED	7
2.1.6 형광 및 인광 OLED	9
제 2.2절 OLED 조명	11
2.2.1 OLED 조명의 정의	11
2.2.2 OLED 조명의 요구 특성	11
제 2.3절 OLED 조명 제조 공정 기술	15
2.3.1 전극 백플레이트 제조 공정	16
2.3.2 유기박막/음극전극 형성 공정	17
2.3.3 봉지공정	18

제 2.4절 Sputering	20
2.4.1 Sputtering 현상	21
2.4.2 Sputtering 성막 방향	22
제 2.5절 OLED 단위소자 특성 평가	23
2.5.1 I-V-L 특성 평가	23
2.5.2 수명 평가	24
제 3 장 실험 방법	25
제3.1절 OLED backplane 제작	25
3.1.1 기판세정	26
3.1.2 ITO 박막 증착 및 패터닝	26
3.1.3 ITO 박막 표면처리	29
3.1.4 절연막 증착	30
제3.2절 OLED 소자 제작	34
3.2.1 유기물 증착	35
3.2.2 음극(Cathode) 증착	36
3.2.2 봉지 작업	37
제3.3절 특성 분석	38
3.3.1 ITO 박막의 전기적 및 구조적 특성 조사	38
3.3.2 절연막 특성 분석	38
3.3.3 OLED 소자 특성 평가	38
제 4 장 결과 및 고찰	40
제 4.1절 ITO 박막의 특성	40
4.1.1 Shadow metal mask 사용 시 ITO tail	40
4.1.2 박막의 표면처리에 따른 거칠기 및 면적항 특성	41

4.1.3 박막의 표면처리에 따른 광학적 특성	42
4.2 절연막	43
4.2.1 PMMA 막의 미세구조 및 굴절률 특성	43
4.2.2 Al ₂ O ₃ 막의 미세구조 및 굴절률 특성	44
4.3 절 OLED 소자의 특성 평가	45
4.3.1 OLED 소자의 EL spectrum	46
4.3.2 OLED 소자의 전류밀도 특성	47
4.3.3 OLED 소자의 전압-발광 특성	49
4.3.4 OLED 소자의 전압-전력효율 특성	51
4.3.5 OLED 소자의 누설 전류 특성	53
4.3.6 OLED 소자의 수명 특성	55
제 5 장 결론	57
참고문헌	58

List of Tables

Table. 1. ITO thin film deposition condition	28
Table. 2. RTP(Rapid Temperature Process) condition	29
Table. 3. O ₂ plasma treatment condition	29
Table. 4. PMMA deposition condition	32
Table. 5. Al ₂ O ₃ thin film deposition condition	33
Table. 6. 전압에 따른 전류밀도 특성	47
Table. 7. 전압에 따른 절연막 종류에 따른 휘도 특성	49
Table. 8. 전류밀도에 따른 전력효율 특성	51
Table. 9. 전압에 따른 누설전류 특성	53
Table. 10. 가속 수명 테스트 경우 소자에 적용 된 Input 전류 값	55

List of Figures

Fig. 1. OLED 소자의 동작 매커니즘	4
Fig. 2. OLED 소자의 에너지 밴드 구조	5
Fig. 3. Schematic of organic evaporator	8
Fig. 4. 일중항 여기 에너지 상태, 삼중항 여기 에너지 상태 계간교차	9
Fig. 5. 램프 효율과 Wall plug 효율과의 관계	12
Fig. 6. OLED 조명 제조공정	15
Fig. 7. OLED 발광 상태 : (a) 소자 제작 직후, (b) 봉지공정이 미흡한 소자의 일정 시간 경과 후 발광 상태	18
Fig. 8. Schematic of OLED device	19
Fig. 9. Sputtering deposition process	20
Fig. 10. DC sputtering system	21
Fig. 11. Sputtering 의 다양한 성막 방향	22
Fig. 12. Photolithography vs Photoless	25
Fig. 13. Shadow metal mask for anode	27
Fig. 14. In-line sputter(SUNIC - IS3000)	28
Fig. 15. Shadow metal mask for insulator	31
Fig. 16. Schematic of flash evaporator	32
Fig. 17. structure of reactive sputter chamber	33
Fig. 18. Structure of phosphorescence green OLED	37
Fig. 19. Cross-Section View of OLED test device	34
Fig. 20. Organic Evaporation Chamber (SUNIC SYSTEM plus200)	35
Fig. 21. Metal Chamber (SUNIC SYSTEM plus200)	36
Fig. 22. 공정 조건 및 절연막 재료에 따른 OLED 조명 소자	37
Fig. 23. OLED 소자 측정에 사용된 CS-1000	39

Fig. 27. OLED 수명 측정기 모식도	43
Fig. 24. 3D image of ITO Tail	40
Fig. 25. 표면처리 조건에 따른 ITO 박막의 표면 거칠기	41
Fig. 26. 표면 처리 조건에 따른 ITO 박막의 투과율 변화	42
Fig. 27. Cross-Section image to PMMA Insulator	43
Fig. 28. Cross-Section image to Al₂O₃ Insulator	44
Fig. 29. Image of green light emission	45
Fig. 30. EL spectrum of phosphorescent green OLED	46
Fig. 31. Photo Process 를 적용한 소자와 절연막에 따른 Photoless 공정을 적용한 소자의 전류-전압 특성	48
Fig. 32. Photo Process 를 적용한 소자와 절연막에 따른 Photoless 공정을 적용한 소자의 전압-발광 특성	50
Fig. 33. Photo Process 를 적용한 소자와 절연막에 따른 Photoless 공정을 적용한 소자의 전류밀도-전력효율 특성	52
Fig. 34. Photo Process 를 적용한 소자와 절연막에 따른 Photoless 공정을 적용한 소자의 전압-누설전류 특성	54
Fig. 35. Photo Process 를 적용한 소자와 절연막에 따른 Photoless 공정을 적용한 소자의 수명 결과	56

Abstract

노광공정을 사용하지 않은 저 누설 전류 OLED 조명소자

In-Ha Seo

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

Department of Advanced Materials Engineering
Graduate School of Chosun University

유기 발광 다이오우드는 (OLEDs) 자체 발광 소자로써 높은 시야각, 높은 효율, 그리고 빠른 응답속도 등의 장점을 가지고 있어 차세대 디스플레이 및 조명 소자로서 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 유기 발광 다이오우드는 차세대 반도체 조명 소자로서 조명의 패러다임을 바꿀 수 있는 기술로 인식되고 있다. 하지만, 유기 발광 다이오우드 조명의 상용화를 위해서는 가격 경쟁력을 갖추는 것이 시급하며, 이를 위해 저가 공정 개발이 필요하다. 본 연구에서는 유기 발광 다이오우드 조명 제작에 필수적인 전면 전극 및 절연막 증착 공정을 기존의 노광 공정이 아닌 shadow metal mask 기술을 적용하여 형성 하였다.

먼저 유리 기판 상에 150nm 두께의 ITO 막을 DC sputtering을 이용하여 증착 하였다. 물론 제작된 shadow metal mask를 통해 패턴을 하였다. 기존 공정에서는 노광 및 식각 공정을 이용하여 증착하는 것이 일반적이며, 광학적, 전기적 특성 또한 타 공정 방법에 비해 우수하다. 하지만 일련의 복잡한 공정으로 인해 제조 원가를 상승 시키는 단점이 있다. shadow metal mask를 이용하여 Sputtering에 의한 ITO 박막 증착 후 표면 거칠기 제어 및 면저항 제어를 위해 RTP 처리와 O₂ plasma 공정을 추가 수행하였다. 열처리 및 플라즈마 처리 후에 ITO 박막의 표면 거칠기는 매우 향상되었다. 또한 전기적 특성 중 하나인 면저항 값은 열처리 전/후의 값에서 많은 차이를 보인다. 표면 처리 전후의 면저항 값은 각각 29.66Ω/□, 12.50Ω/□이다. ITO 박막 증착이후 shadow mask 기술을 이용해 기존에 상용화 되어있던 재료를 제외한 PMMA, Al₂O₃를 이용해 절연막 형성을 하였다. OLED backplane 완성 후 인광그린 소자를 이용하여 I-V-L을 측정한 결과 기존의 포토리소그래피 공정을 이용한 경우에 비해 80% 수

준으로서 shadow mask를 이용한 공정이 기존의 노광 및 식각 공정을 이용한 경우에 비해 공정 수는 9개가 단축됨에도 불구하고, OLED 소자의 특성에는 큰 차이가 없음을 알 수 있었다.

Abstract

Low Leakage Current OLED Lighting Devices without Photolithography

In-Ha Seo

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

Department of Advanced Materials Engineering
Graduate School of Chosun University

Organic light emitting diodes (OLEDs) display and lighting devices have attracted much attention due to their unique properties such as high efficacy, fast response time and so on. Especially, in the lighting industry area, it is believed that OLED lighting will lead the paradigm shift with light emitting diodes lighting devices. However, to be launched in the lighting industry area, OLED lighting devices should overcome the price competitiveness compared to other lighting sources. Therefore, it is imperative to develop new cost-cutting fabrication process for OLED lighting. In general, conventional photolithography steps are required to fabricate OLED lighting devices. It is repeated three times for patterning of auxiliary metal electrode, indium-tin-oxide (ITO) anode, and insulating layer after depositing each layer by sputtering and evaporation. Moreover, photolithography process requires many steps and time. Therefore, if photolithography patterning process carried out after depositing each layer could be replaced to photoless patterning method using shadow mask, the production cost of OLED lighting devices will be reduced dramatically. In OLED lighting fabrication processes, ITO patterning steps using shadow mask was already reported.

In this study, OLED lighting devices have been fabricated without photolithography patterning process and characterized. We discuss a low-cost

fabrication process for OLED. It does not require any cost-ineffective photolithography process, but a sputter-patterning process of ITO and a formation of insulator layer. To block off a leakage current induced by the spike-like surface of ITO, We cover the ITO edges with sputter-deposited Al_2O_3 thin film, PMMA(polymethyl methacrylate) thin film deposited by flash evaporation. It is found that leakage current blocking capability(i.e. current efficiency and lifetime) of OLED with PMMA insulator layer is comparable with that of OLED with polyimide insulator patterned using a standard photolithography process. It seems that pinholes exist on the Al_2O_3 thin film and act leak channels, degrading the device performance.

제 1장. 서론

세계는 지금 기후변화에 의한 환경위기와 고유가에 의한 자원 위기에 직면해 있다. 특히, 기후 변화문제는 연이은 기상재해를 유발하는 것은 물론 생태계 질서를 근본적으로 뒤흔들며 인류의 생존을 위협하고 있다. 이로 말미암아 국제사회에서 기후 변화에 공동으로 대처하기 위하 노력이 취우선 국제의제로 논의 되고 있다.

우리나라는 세계 10대 에너지 소비국이다. 그런데, 이 에너지의 97 % 를 수입에 의존하고 있다. 향후 온실가스 감축의무가 부과될 경우, 우리나라 경제가 안게 될 부담은 상상 이상일 수 있다. 전 세계는 온실 가스 배출을 줄이기 위한 방안의 하나로 에너지 소비에 많은 부분을 차지하는 조명의 고 효율화를 위한 노력을 다각적으로 벌이고 있다. 현재 조명용 광원으로 가장 널리 사용되고 있는 백열등 및 형광등으로 인해 세계 조명 기구의 연간 소비전력은 2조 1000 억 KW 전체 전력의 약 12~15 % 를 소비하고 있고, 이로 인해 연간 17 억 톤의 CO₂ 배출되고 있으며 수은 및 각종 환경오염을 유발하고 있어 환경 친화적이고 에너지 효율이 높음과 동시에 인간의 감성에 적합한 새로운 조명을 필요로 하고 있다. 따라서 백열등과 형광등의 빈자리를 채울 수 있는 친환경 차세대 조명으로 LED, OLED 와 같은 반도체 광원을 이용한 고체조명(solid state light)의 개발이 이루어지고 있다.

이 중에서도 OLED 조명은 점이나 선광원 뿐 아니라 넓은 면적의 패널 조명도 구현이 가능해 두께 2 ~ 3 mm 의 초슬림 제품도 제작 할 수 있고, 눈부심도 거의 없어 은은한 빛이 필요한 실내 조명에 적합하며, 또한 구부릴 수 있는 플렉시블 특성으로 인해 다양한 디자인이 가능하다. 또 백열등에 비해 높은 효율을 보이고 있고 매년 전력효율이 큰 폭으로 향상되어 형광등에 비해 높은 전력효율을 구현할 수 있고 수은 • 은 납 등 중금속을 사용하지 않아 친환경 유기소재를 이용한 발광다이오드로 양극구조의 면광원 조명으로 차세대 환경 친화적인 조명이며, 에너지 절감효과가 우수한 고효율 특성으로 인해 LED 조명과 함께 기존 조명을 대체할 차세대 광원으로 주목을 받아 왔다. LED 조명이 현재 주 조명으로 발돋움 하고 있다면, OLED 조명은 비상등, 광고판, 차량용 후미등, 실내등, TV, 모니터 PC, 휴대전화 등의 백라이트(BUL)등의 용도로 사용 될 수 있으며, 주 조명과 함께 이를 보완하는 보조 조명으로까지의 확대를 목표로 개발이 이루어지고 있다.

이러한 OLED 조명에 좀 더 나은 시장화를 위해서는 현재 가지고 있는 단점을 보완

할 수 있는 방법을 찾아야 한다. 이에 제조 공정에서 그 해답을 찾아보기로 했다.

OLED 공정 중 기초가 되는 OLED backplane 제작은 투명전극, 보조전극, 절연막 을 포함하고 있으며, 현재 이를 형성하기 위한 가장 상용화된 공정은 투명전극과 보조전극의 성막은 sputtering 공정으로, 두 층의 패터닝 및 절연막 공정은 photolithography 공정으로 코팅, 노광, 에칭 등을 반복하여 진행되므로 공정시간 및 제조단가를 높이고 이송 중 particle 문제, 재료에 대한 많은 소비등 주요한 요인으로 작용하고 있다. 이에 이러한 복잡한 공정을 가지는 OLED backplane 제작 공정 및 장치수를 대폭 줄일 수 있는 OLED 조명용에 적합한 shadow metal mask를 직접 제작하여 in-line 방식에 sputtering을 이용해 투명전극, 절연막 종류에 따른 형성까지 photoless 공정으로 소자를 제작하여 공정단순화 가능성 및 소자 신뢰성을 탐색으로 한다.

제 2장 이론적 배경

제 2.1절 유기발광 다이오드 (OLED) 개요

2.1.1 OLED 기술 개요

OLED(Organic Light Emitting Diode)는 유기 재료에 전압을 인가하면 빛이 방출되는 소자이다. OLED는 양극과 음극사이에 유기박막이 적층되어 있는 구조로 되어있으며 전압을 인가하면 양극에서 정공이, 음극에서는 전자가 각각 유기물내로 주입되고, 주입된 전자와 정공이 유기박막 내에서 재결합(recombination) 하여 소자 내에서 빛이 생성되고 소자 밖으로 방출된다.¹⁾

OLED는 유기 박막에서 빛이 생성되어 방출되기 때문에 소자 자체가 발광체가 되는 자발광(self-emissive) 소자로서, 전기적인 신호가 빛으로 변환되는 시간이 짧고 발생된 빛은 방향성이 없고 균일하게 퍼져나간다.²⁾

2.1.2 OLED 동작 원리

Fig. 1. 은 가장 기본적인 단층 형 OLED 소자의 동작 기구를 나타내고 있다. 보통 약 100 nm~150 nm 정도의 두께를 갖는 유기 발광막 양 끝단에 양극과 음극을 형성한다. 양극에서는 유기발광층의 정공 전도 준위로 정공이 주입되고 음극으로 부터는 전자 전도 준위로 전자가 주입된다. 이 현상을 캐리어 주입 현상이라 부른다.³⁾

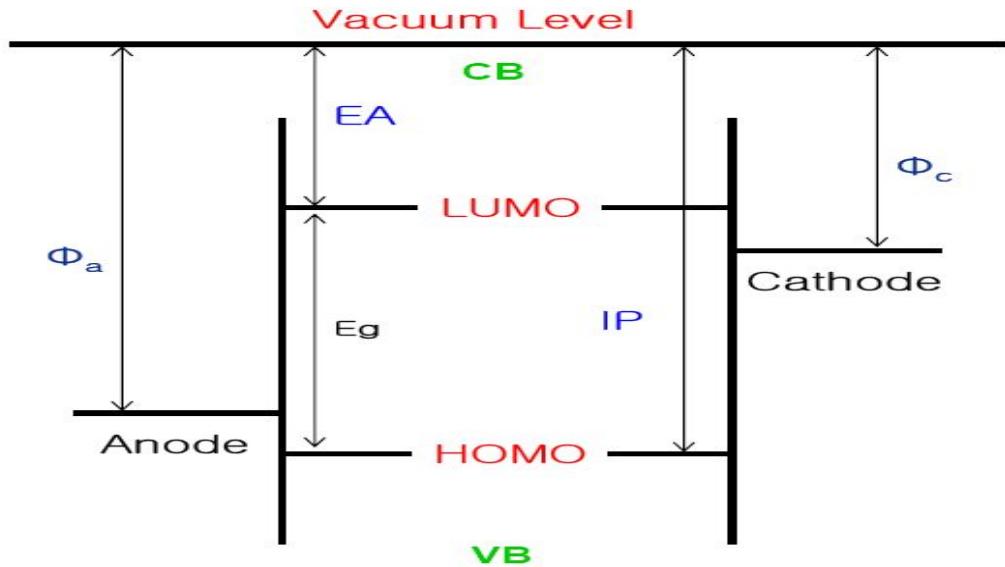


Fig. 1. OLED 소자의 동작 매커니즘

대표적인 정공 주입 전극으로는 ITO (Indium Tin Oxide)를 들 수 있다. 유기층은 5.0 ~ 6.5 eV 정도의 정공 전도 준위를 가지는 경우가 대부분이다. 이 경우 양극과 유기층 사이에 ~ 1 eV 정도에 이르는 꽤 높은 에너지 장벽이 존재한다. 또한 음극으로부터 전자주입의 경우도 비슷한 에너지 장벽이 존재하기 때문에 효율이 우수한 정공과 전자의 주입 과정을 실현하기 위해서는 박막계면에서 에너지 장벽을 낮출 필요가 있다.

무기 반도체 개념에서 보면 이와 같은 높은 에너지 장벽을 넘어서 전하가 주입되는 현상은 매우 어려운 일이지만, 실제 유기층에서는 전하가 주입되어 전류가 흐른다. 한편 주입된 정공과 전자는 전계구배(전압차이)를 구동력으로 하여 인접 분자 사이에서 전자 교환(산화·환원)을 일으키며 캐리어들은 반대 전극으로 이동하여 간다. 이러한 현상을 화학 용어로 기술하면 정공 이동, 전자이동은 각각의 인접 분자 사이에서 산화·환원 반응을 반복하는 과정이라고 할 수 있다.⁴⁾⁵⁾

유기박막은 정공에 대한 전달 특성이 우수한 박막과 전자에 대한 특성이 우수한 박막으로 이루어져 있으며, 유기 박막 내에서 빛이 생성된다.

OLED 소자에서 빛의 생성 및 방출은

- 1) 양극으로부터 정공, 음극으로부터 전자의 주입
- 2) 주입된 전자와 정공의 이동
- 3) 전자와 정공의 재결합
- 4) 여기자 및 빛의 생성
- 5) 소자 외부로 빛의 방출 과정을 통하여 이루어진다.

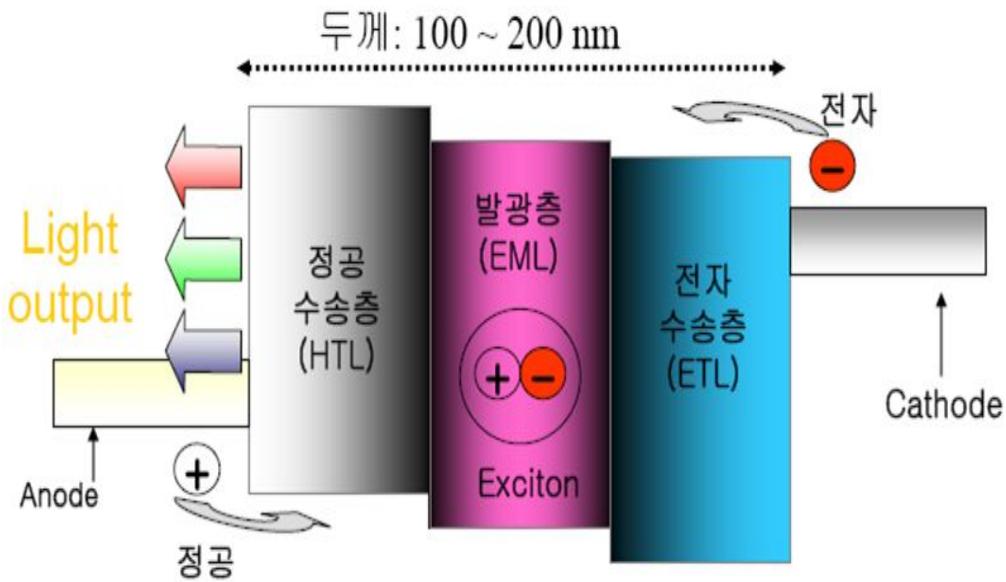


Fig. 2. OLED 소자의 에너지 밴드 구조

Fig. 2. 는 OLED 소자의 에너지 밴드구조를 나타낸 것이다. OLED 소자의 양극에 양(+) 전압을 인가하고 음극을 접지 시키면 위와 같은 반응이 일어난다. 이 과정에서 전자와 정공이 재결합이 일어나게 되어 전자·정공 쌍(pair)인 문자 여기자(molecular exciton) 혹은 문자 여기상태(molecular excited state) 가 형성된다. 한편, 재결합되지 않은 전자, 정공은 빛의 생성에 기여하지 않고 전류 성분으로만 나타난다.⁶⁾⁷⁾

2.1.3 OLED 특징

OLED의 주요 특징은 다음과 같다. 1) OLED는 유기박막 내에서 빛이 생성되는 자발광 (self-emission) 표시 소자이다. 2) OLED는 유기박막 내에서 생성된 빛이 방향성이 없으며 소자 밖으로 균일하게 방출되기 때문에 시야각이 넓어 대면적 TV에 등에 사용될 수 있으며, 방출 각도가 넓은 고체조명으로 사용할 수 있다. 3) OLED 전기적인 신호에 의해 빛이 생성되는 시간이 수 마이크로 이하로 매우 짧기 때문에 빠른 응답속도가 필요한 동화상 표시에 적합하며, 광통신이 가능하다. 4) OLED는 약 50 ~ 300nm 두께의 유기박막을 이용하므로 구동전압이 일반적으로 10V 이하로 낮아 소비전력이 작은 특징이 있다. 5) 기존의 디스플레이 제조에 사용되는 박막 공정을 OLED 제작에 그대로 이용할 수 있다. 6) 마지막으로, OLED 는 플라스틱 필름기판을 사용하여 휘거나 구부릴 수 있는 디스플레이(Flexible display)의 제작이 가능하여 응용범위를 크게 확대시킬 수 있다. 하지만 아직까지 수명이 상대적으로 짧으며, 재료 및 소자의 특성 향상에 대한 연구가 필요하다.⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾

2.1.4 다층 박막 OLED

현재 사용되는 OLED 소자는 주로 다층의 유기박막으로 구성되어 있다. 다층 구조의 OLED 소자가 발광효율(양자효율) 및 구동전압을 낮추는데 유리하기 때문이다. 정공주입층(HIL, hole Injection Layer)은 유기박막내로 정공의 주입을 용이하게 하는 특성이 있으며, 정공 수송층(HTL, Hole Trans Layer)은 주입된 정공 발광층(EML, Emission Layer)으로 효율적으로 전달하는 역할을 한다. 또한 전자 주입층(EIL, Electron Injection Layer)은 음극으로부터 유기박막내로 전자의 주입을 활성화시키며, 주입된 전자는 전자 수송층(ETL, Electron Transport Layer)에 의해 발광층으로 전달된다.

정공 수송층 및 전자 수송층에 의해 전달된 정공 및 전자는 발광층에서 효율적인 재결합이 일어난다. 정공 수입층, 정공 전달층, 전자 주입층, 전자 수송층과는 별도로 발광층과 정공 수송층 사이에 전자 저지층(EBL, Electron Blocking Layer)을 두어 양극에 주입된 정공이 발광층에서 재결합되지 않고 전자 수송층으로 넘어가는 것을 방지한다. 별도의 전자 저지층 혹은 정공 저지층을 두기도 하지만, 전자 수송층이 정공 저지층의 역할을 동시에 하기도하고 정공 수송층이 전자 저지층 역할을 동시에 하기도 한다.

정공 주입층 및 전자 주입층에 의해 낮은 전압에서 많은 수의 정공 및 전자를 주입시킬 수 있기 때문에 구동전압을 낮출 수 있으며, 정공과 전자의 개수를 비슷하게 조절할 수 있어 발광효율을 향상시킬 수 있다. 발광층으로 도달하는 정공과 전자의 개수가 서로 비슷하지 않고 어느 한쪽이 많으면, 궁극적으로 재결합에 의해 생성되는 광자의 수가 적게 되어 내부 양자효율이 작게 된다. 정공 이동층 및 전자 이동층 또한 발광층으로 이동되는 정공과 전자의 개수를 효율적으로 조절하며, 전자와 정공의 이동속도를 증가시켜 구동전압 감소 및 발광효율 향상에 기여한다.

발광층은 발광재료 만으로 구성되어 있거나, 미량의 발광재료(도판트, dopant)가 포함되어 있는 구조로 되어 있다. 발광재료가 포함될 경우 발광재료가 포함되는 재료를 호스트(Host) 재료 혹은 매트릭스(Matrix) 재료라고 하고 발광재료를 토판트 혹은 게스트(Guest) 재료라고 하며 이를 호스트-게스트 시스템(Host-Guest-System)이라고 한다. 발광재료는 여기자로부터 더욱 많은 광자를 생성시킴에 의해 OLED의 색을 조절하는데 유리하다. 다층 유기박막구조는 소자의 수명 또한 향상시키는 효과가 있는 것으로 알려져 있다.^{11) ~ 14)}

2.1.5 저분자 OLED

분자량이 작은 유기물로 OLED가 구성 될 경우 이를 저분자 OLED라 하며 단분자 OLED 라고도 한다. 대표적인 저분자 물질로는 발광재료와 전자수송재료로 사용되는 Alq₃ 및 정공수송재료인 NPB가 있으며, 수십~수백 가지의 유기물이 개발되고 있다.

저분자 OLED 소자는 진공 증착장치(Vacuum evaporator)로 비교적 쉽게 제작할 수 있다. 진공 증착장치는 Fig. 3.에 나타난 바와 같이 진공챔버 및 진공을 만들기 위한 진공펌프로 구성되어 있다. 진공챔버는 기판을 고정시키기 위한 시편홀더, 유기박막의 두께를 모니터링하기 위한 센서, 유기물 증착을 시작하거나 끝내기 위한 셔터 및 유기발광물질, 금속 등 증착하고자 하는 물질을 넣는 보트(boat), 보트를 가열하기 위한 히터로 구성되어 있다.

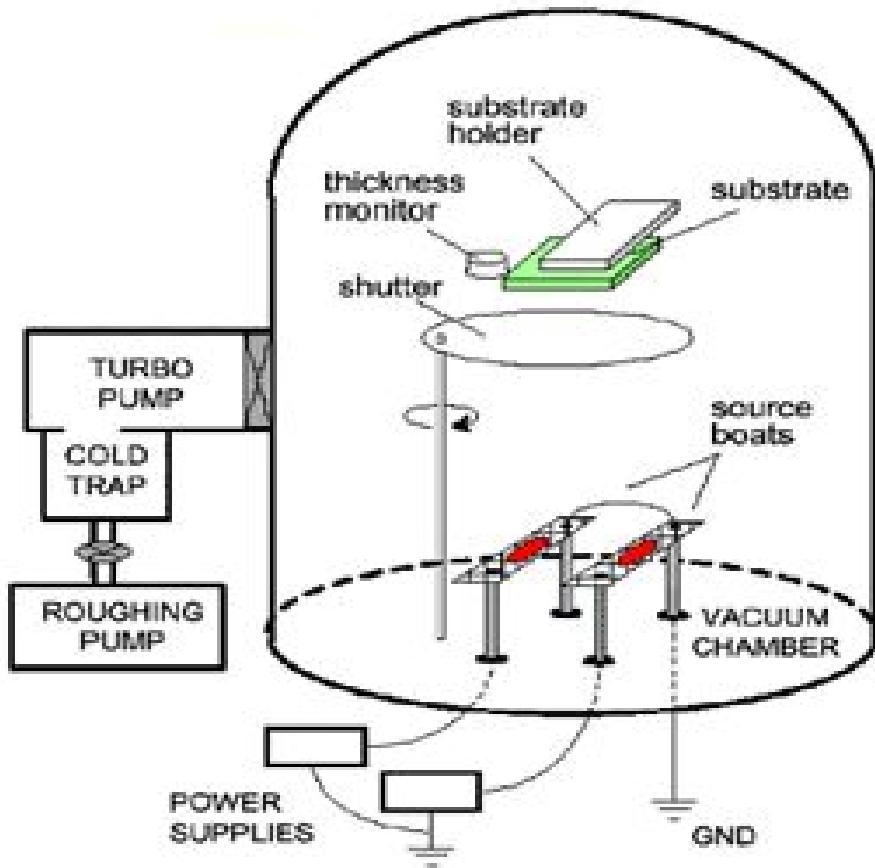


Fig. 3. Schematic of organic evaporator

2.1.6 형광 및 인광 OLED

OLED는 발광 방식에 따라 형광 및 인광 OLED로 구분된다. 양극과 음극에서 주입된 전자와 정공이 발광층에서 재결합됨에 의해 일중항 여기자 및 삼중항 여기자가 생성되며 일중항 여기자에 의해 발광이 일어날 경우를 형광 발광이라 하며, 형광 발광재료를 이용하여 제작된 OLED를 형광 OLED라 한다.

전자는 분자의 에너지 상태 E1에 하나의 전자가 있는 경우를 말하며, 정공은 에너지 상태 E0에 전자가 하나 비어 있는 경우를 말한다. 전자와 정공이 만나면 기저 상태 및 여기자가 생성될 수 있으며, 전자의 방향이 그림에서와 같이 놓여 있을 경우를 일중항 여기자라고 한다. 일중항 여기자에서 E1 에너지 상태에 놓인 전자는 에너지 상태 E0로 쉽게 에너지 상태가 변하며, 이 과정에서 여분의 에너지가 빛으로 전환되며 이를 형광 발광이라고 한다. 형광발광의 경우 에너지 천이가 쉽게 일어나기 때문에, 천이시간이 수 나노초 이하로 짧다.

일중항 여기자는 삼중항 여기자 보다 높은 에너지 상태에 놓여 있기 때문에, 일중항 여기 에너지 상태로부터 삼중항 여기 에너지 상태로 에너지 전달이 일어날 수 있으며, 이를 계간 교차라(inter-system-crossing) 한다.

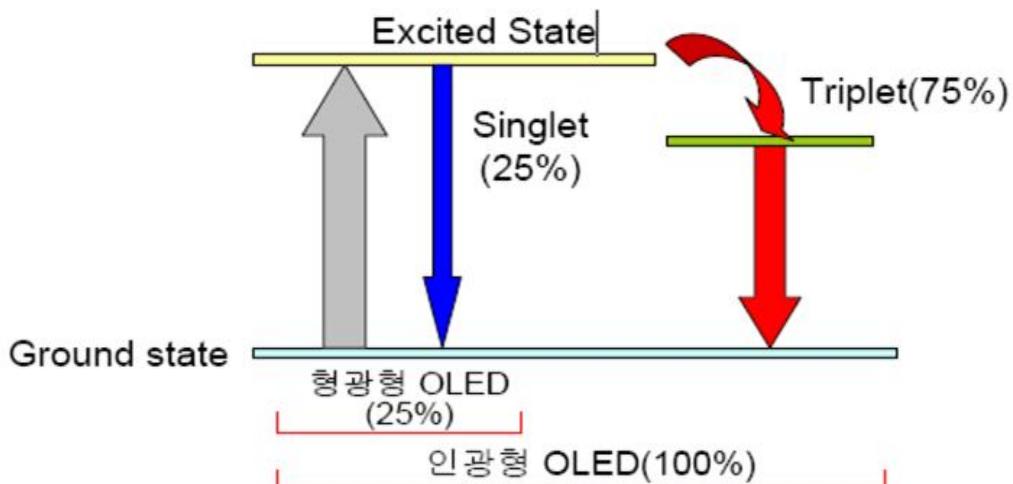


Fig. 4. 일중항 여기 에너지 상태, 삼중항 여기 에너지 상태 계간교차

에너지 E2에 있는 전자의 스핀(화살표) 방향과 에너지 E0에 있는 정공의 스핀방향이 같은 경우 전자와 정공의 재결합에 의해 형성되는 여기상태에 있는 전자의 스핀방향이 서로 같게 되며 이를 삼중항 여기자라 한다. 전자와 정공의 재결합에 의해 75%의 삼중합 여기자가 생성된다.¹⁵⁾

삼중항 여기자는 전자의 스핀 방향이 서로 같기 때문에 여기자 내에서 E2 상태에 있는 전자 E0의 에너지 상태로 천이가 쉽게 일어나지 않는다. 따라서 대부분의 발광재료의 경우 상온에서 빛으로 방출되지 못하고 열로 방출되지만, 원자번호가 큰 금속으로 구성된 유기재료에서 삼중항 여기자에 의해 빛이 방출되는 인광현상이 상온에서 관찰되고 있다. 또한 앞에서 언급했던 것처럼 계간교차에 의해 일중항 여기자로부터 삼중항 여기상태로 에너지가 전달 될 수 있다. 따라서 인광 OLED는 재결합된 여기자를 모두 빛으로 전환시킬 수 있기 때문에 이론적으로 얻을 수 있는 최대 내부양자효율은 100% 최대 외부 양자 효율은 20%가 되어 형광 OLED에 비해 4배 높은 효율을 얻을 수 있다.¹⁶⁾¹⁷⁾

제 2.2절 OLED 조명

2.2.1 OLED 조명의 정의

OLED 조명 소자는 전기에너지를 광 에너지로 전환하는 반도체 자발광소자로써, 기존의 광원에 비해 에너지 효율이 높고 친환경적이다. 디스플레이용 OLED 패널은 적녹청(RGB) 픽셀의 구분이 있고 각 픽셀을 따로따로 점멸하고 조광하는 백플레인이 있는 반면 조명용 OLED 패널은 디스플레이와는 달리 픽셀의 구분이 없고 다층의 유기 발광층을 사용하여 백색광을 방출하는 것이 일반적이다. 또한 OLED는 발광 구조에 따라서 유리기판 방향으로 빛을 방출하는 배면발광과 반대 방향으로 방출하는 전면 발광으로 나눌 수 있는데 현재 연구되고 있는 대부분의 조명용 OLED 패널은 배면발광형이다.

2.2.2 OLED 조명의 요구 특성

OLED 조명으로 사용하기 위해서는 보통의 사람이 충분히 “좋아할만한” 빛을 낼 수 있어야 한다. 인류는 오랜 경험을 통하여 사람이 좋아하는 빛을 규정하기 위하여 색온도와 연색성을 고안하였으며, 이를 광원을 규정하는 속성으로 인식하여 왔다.

가. 효율

광원의 효율을 나타내는 지표로 사람의 눈이 빛에 반응하는 것을 고려한 lm/W 단위의 램프 효율(luminous efficacy)을 사용한다.

$$K = k_m \frac{\int V(\lambda) S(\lambda) d\lambda}{\int S(\lambda) d\lambda} \quad (2-1)$$

J는 전류밀도(A/m²)이며 V는 인가전압 L는 휘도(cd/m²)를 나타낸다.

램프 효율(ε)은 광원의 출력과 사람 눈의 시감 특성을 고려한 복사선속 발광효율(luminous efficiency of radiant flux, K)과 wall-plug 효율 (WPE)로 표현된다($\varepsilon = K \times WPE$). 복사선속 발광효율 K는 특정 파장에서 시감 곡선, V(λ)과 광원의 출력 스펙트

럼, $S(\lambda)$ 에 의해 결정된다.

OLED는 발광 스펙트럼 범위가 넓어 최적의 출력 스펙트럼이 250 ~ 350 lm/W의 범위에 오는 K 값을 가질 수 있다. Fig. 5는 250 lm/W와 350 lm/W의 K 값에 대한 램프효율(luminous efficacy)과 Wall plug 효율(WPE)과의 관계를 나타낸 것이다. 조명용 OLED 광원은 이두 곡선 상에 위치하며 정확한 위치는 백색광이 생성되는 방식에 따라 다르게 된다.

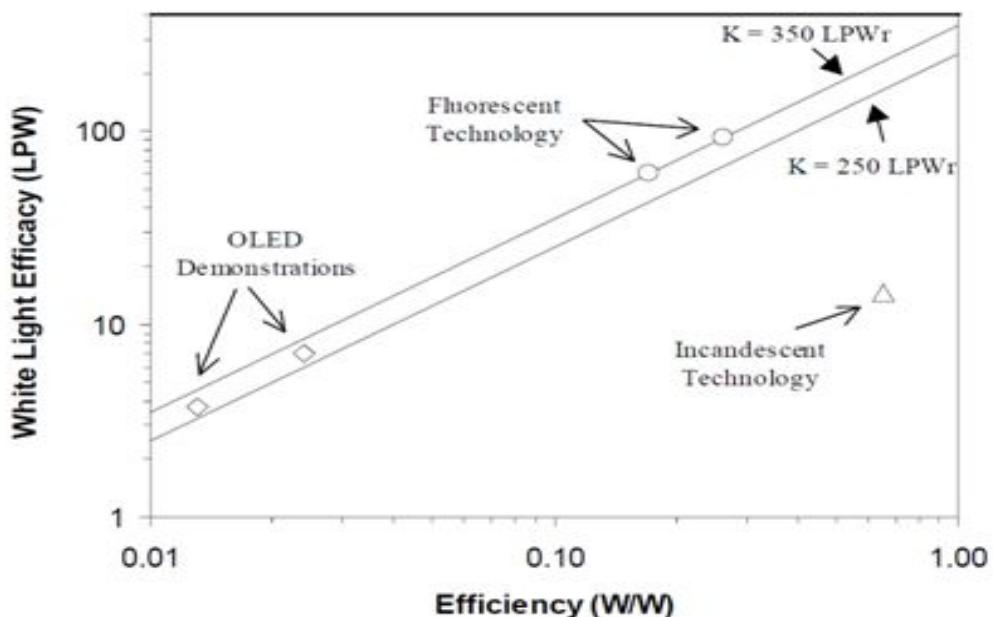


Fig. 5. 램프 효율과 Wall plug 효율과의 관계

나. 발광휘도(Luminance)

휘도는 특정 방향으로 표면의 단위 면적당 방출되는 광도에 관한 개념이다. 그 표면은 램프 또는 태양의 표면처럼 자체 발광하거나 방사할 수 있지만, 다른 광원(EX 가로등)로부터 빛을 반사하여 2차 광원으로 작용하는 도로처럼) 으로부터 빛을 반사하는 것도 가능하다. 이는 기호 L로 표시 된다. 단위는 cd/m^2 이다.

광원의 목적은 특정 영역으로 특정 광속(lumen)을 전달하는 것이다. 특정 광속을 얻기 위해선 작은 면적의 OLED를 이용하여 높은 휘도로 동작 시키던가 넓은 면적의 OLED를 이용하여 낮은 휘도로 동작시킬 수 있다. 이와는 별도로 응용 분야가 다르면 필요로 하는 휘도 또한 달라진다. 따라서 OLED 광원이 필요로 하는 특정한 휘도는 정해져 있지 않지만, 휘도를 결정할 경우 두 가지 요인을 고려해야 한다. 첫째는 OLED의 휘도와 수명과의 관계이다. OLED는 일반적으로 휘도를 높일수록 수명이 감소한다. 두 번째는 휘도가 낮은 OLED 조명으로 이용하면 OLED의 면적이 넓어야 필요한 광속을 맞출 수 있다. 이는 제조 가격을 높이는 요인이 될 수 있다.

형광등을 기준으로 출력 광속을 고려하여 OLED 광원에 필요한 면적을 도출 할 수 있다. 4개의 형광등을 천정에 다는 조명기구의 광속은 약 9000 루멘이고, 형광등 등기구의 효율이 70% 이하이다. OLED의 경우 눈부심이 생기지 않는 범위에서 동작하므로 눈부심을 줄이기 위한 별도의 등기구 디자인을 필요로 하지 않으므로 등기구 효율을 고려하지 않으면 $1000 \text{ cd}/\text{m}^2$ 의 휘도에서 동작하는 OLED 조명이 형광등 조명기구에 해당하는 광속을 내기 위해서는 약 2 m^2 의 면적이 필요하다. 따라서 소면적 고휘도 OLED 광원 혹은 넓은 면적의 저휘도 OLED 광원을 사용할 것인가는 수명, 가격과 같은 요인을 고려하여 결정해야 한다.

다. 수명

OLED 광원을 위해 필요한 수명은 응용분야와 현재 사용되는 광원의 성능에 따라 다르다. OLED 광원은 약 1000 시간 이상의 수명을 가져야 한다. 형광등의 수명을 수많은 램프를 연결하고 이중의 50% 가 못쓰게 되었을 때의 시간으로 정의 하면, 형광등 수명은 약 15000 시간 이상이 된다. 15000시간동안 램프의 실제 출력 감소는 약 20% 이하가 된다. OLED는 어느 시간이 되면 광출력이 급속히 저하되어 사용할 수 없게 되지 않고, 시간에 따라 광출력이 서서히 연속적으로 감소된다. 따라서 OLED의 수명은 고정된 전류 혹은 전압에서 초기 휘도가 감소되는 시간으로 규정된다. 따라서 형

광등의 수명과 비교할 때 OLED의 목표 수명은 휘도가 초기 휘도의 80% 가 되는 시간을 수명으로 정의할 경우 15000 시간 정도가 된다.

OLED의 수명에서 고려해야 될 요소는 색안정성(Color Stability) 이다. 가장 이상적으로는 동작수명 시간동안에 색이 변하지 말아야 한다. 색이 어느 정도 변하지 않아야 하는 기준은 정해져 있지 않지만, 색좌표 상에서 x, y 값의 변화가 약 0.01 보다 작아야 한다. 백색 OLED에서 적색, 녹색, 청색 등 각 색의 수명이 다르면 색좌표 변화가 동작수명 시간 내에서 휘도 변화보다 빨리 일어날 수 있다.

라. 가격

OLED 광원은 형광등이나 백열등과 같은 조명기술에서는 거의 불가능한 새로운 특징을 제공할 수 있다. 특히 OLED는 얇고, 기계적으로 유연하며 말 수 있는 시트 형태의 조명이 가능하여 조명에 대한 기존의 패러다임을 바꿀 수 있다. 일반소비자는 이런 특별한 디자인의 OLED 조명을 프리미엄 가격으로 구매하려 할 수도 있다. 하지만 공장, 가게, 사무실과 같은 곳을 위한 광원으로 형광등의 대부분이 사용되고 있다. 이러한 곳에서 사용되기 위한 조명을 선택하는 첫 번째 요소는 조명의 전체비용이고, 디자인 요소는 2차 요소가 된다. 조명의 전체비용은 램프 가격 및 사용비, 설치 및 유지비용 등을 종합한 비용을 의미한다.

설치 및 유지비용이 기존의 조명과 같다고 가정하면 전체비용은 램프 가격과 전기료 만을 고려하면 되므로, OLED 조명에서 중요한 요소는 램프의 가격과 효율이다. 1000 루멘의 빛을 제공하는데 있어서 시간의 함수로서 가격은 다음과 같이 정의된다.

$$Cost(t) = Cost(source) + \frac{1000L \times Duty-Cycle \times Electricity - Cost \times t}{\varepsilon \times Fixture - Efficiency} \quad (2-2)$$

제 2.3절 OLED 조명 제조 공정 기술

OLED 조명의 제조에 전체 적인 공정 순서는

- 1) 전극 백플레이인 제조공정
- 2) 유기물 및 음극 증착 공정
- 3) 봉지 공정 순으로 구성된다.

Fig. 6. 은 전체 적인 OLED 제조 공정 순서를 도식화 하였다.

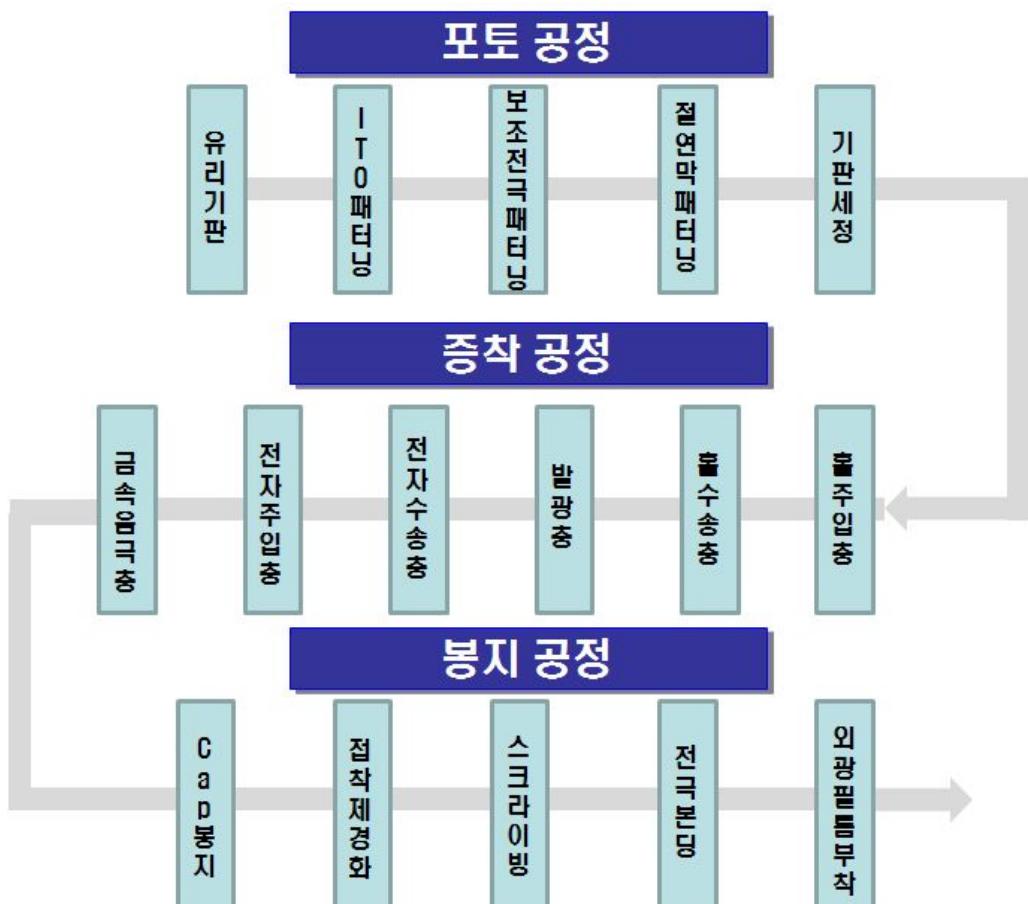


Fig. 6. OLED 조명 제조공정

2.3.1 전극 백플레이인 제조 공정

전극 백플레이인 제조 공정은 기판상에 투명전극인 ITO 패턴 보조전극, 격벽 또는 절연막 제조 공정으로 구성된다.

가. 전극 증착 기판에 ITO 전극을 증착한다. ITO 전극은 반응성 스퍼터링, 이온플레이팅 등과 같은 플라즈마를 이용하는 진공 증착 공정에 의해 주로 형성된다. 전기저항이 낮고 투과도가 높은 ITO 박막을 형성하기 위해 스퍼터링 온도, 분압, 타겟 조성 등을 조절한다.

나. 전극 패턴

ITO 전극 패턴을 형성하는 방법으로 노광 공정이 일반적으로 사용되고 있다. 노광 공정은 패턴 형성 시 일반적으로 사용되는 PR 코팅/Baking, 노광 현상/Baking, PR 제거 등의 여러 공정으로 구성되어 있다.

다. 보조 전극 코팅

ITO 패턴을 형성한 후, 전극의 전기저항을 감소시키며 패드 부분 형성을 위해 보조 전극을 코팅한다. 보조전극으로 Cr, Mo 등의 금속 박막이 주로 사용되며 스퍼터링 방식에 의해 일반적으로 코팅된다.

라. 보조 전극 패턴 형성

보조전극 패턴을 형성한다. 보조 전극 패턴을 위해 ITO 패턴 형성시와 마찬가지로 노광 공정이 가장 일반적으로 사용되고 있다. 보조 전극은 비발광 영역이므로 패턴을 수십 ~ 수백 μm 의 폭으로 아주 얇게 형성하는 기술 또한 개발되고 있다.

마. 절연막 패턴 형성

보조전극 패턴을 형성한 후 OLED 누설전류, 재현성, 절연 등의 특성 안정성을 향상시키기 위해 절연 패턴을 형성한다. 절연패턴은 주로 유기절연막이 주로 사용된다. 앞에서와 마찬가지로 절연 패턴의 형성을 위해 노광 공정이 필요하다.

2.3.2 유기박막/음극전극 형성 공정

유기박막/전극 공정은 유기박막 형성과 음극 전극 형성 공정으로 크게 구분된다. 유기박막 형성 공정은 기능성 유기박막을 코팅하기 위한 공정이고 음극 전극 형성 공정은 OLED를 완성하기 위한 공정이다.

가. 기판 전처리 공정

전극 백플레이인 기판을 세정 후 기판 전처리를 수행한다. 세정은 기판 백플레이인 절연막 종류에 따라 세정액을 달리할 수 있다. 절연막이 세정액에 손상을 받지 않도록 세정액을 선택한다. 세정과 기판 전처리는 동시에 수행할 수 있다. 기판 전처리에 의해 ITO 표면의 이물질이 제거됨과 동시에 ITO 의 표면특성이 개질되어 OLED 특성이 향상 된다. 기판 전처리는 플라즈마 또는 오존 등과 같은 가스에 노출시켜 ITO 표면을 개질하는 방식이다. 주로 산소플라즈마 및 오존 처리가 이용되며, 산소 플라즈마 처리 또는 오존 처리 중 하나만을 수행하기도 하고 둘 다 수행하기도 한다.

나. 유기 박막 형성

유기 박막을 형성한다. 증착 방식으로는 OLED 재료가 small molecule polymer로 열이나 plasma에 약하기 때문에 일반적인 sputter나 CVD로 증착이 힘들어서 thermal evaporation 법을 사용하고 있다.

다. 금속 음극 형성

음극을 형성한다. 음극은 주로 진공증착 방식에 의해 형성된다. 음극은 패드 및 버스라인의 역할을 하기도 하며 원하지 않는 부분에 음극 금속이 형성되는 것을 방지하게 위하여 마스크가 이용된다. 음극 증착 마스크는 디스플레이 정도의 정밀도가 요구되지 않지만 광원의 크기가 작을 경우 정밀도 또한 중요한 요소가 된다.

2.3.3 봉지 공정

OLED 소자의 열화 원인들은 공정 요인에서부터 재료에 이르기까지 다양하게 문헌에 보고되어 있다. 이와 같은 열화 원인 중에서 가장 중요한 영향을 미치는 것이 수분과 산소에 의해 유기 물질의 물리적 화학적 변화와 전극의 산화 또는 박리 현상이다. Fig. 7은 수분에 있는 환경에서 시간에 따라 OLED 소자가 열화되는 것을 보여주고 있다. 수분은 주로 소자의 결합 부분으로 침투한다. 시간이 지남에 따라 빛이 나오지 않는 영역(Dark Spot)이 커지는 것을 볼 수 있다.

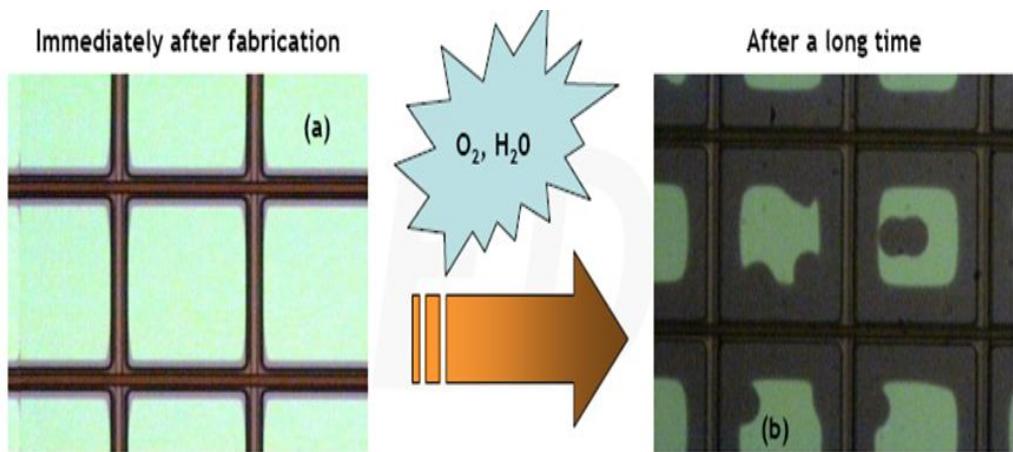


Fig. 7. OLED 발광 상태 : (a) 소자 제작 직후, (b) 봉지공정이 미흡한 소자의 일정시간 경과 후 발광 상태

따라서 모든 공정에서 산소 및 수분에 노출되지 않도록 엄격하게 제어해야 한다. 봉지 공정의 수행을 위하여 봉지 커버에 있는 이물, 먼지 등의 제거를 위해 봉지커버를 세정한다. 봉지 커버는 금속 캔, 유리 등이 주로 사용되어 왔으며 현재는 유리가 주로 사용되고 있다. OLED 광원에서 발열이 중요할 경우 봉지 캔의 열전도도가 중요하다. 세정 후 공기 중에 노출되지 않고 수분이나 산소가 적은 질소 혹은 불활성 가스 분위기에서 getter를 붙인다. 봉지커버에 접착제를 도포한다. 접착제는 UV 또는 열경화성 에폭시 등이 주로 사용된다. 접착제를 도포한 후 OLED 기판과 봉지 기판을 정렬하여 접착제를 가부착한다. OLED 기판과 봉지 기판의 부착 또한 외부의 수분이나 산소가 차단된 분위기에서 진행한다.

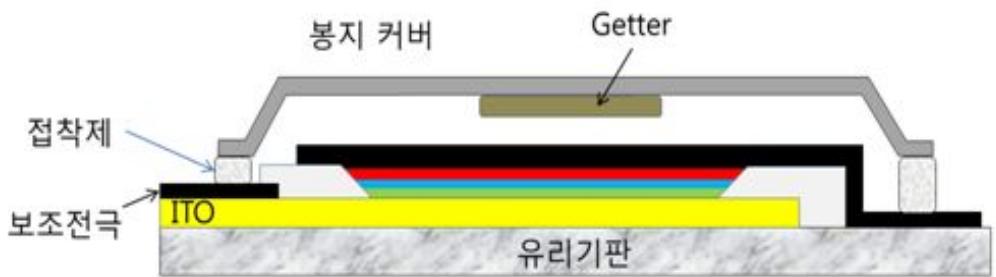


Fig. 8. Schematic of OLED device

자외선 경화제를 사용하는 경우 접착제에 자외선을 쪼여 경화한다. 자외선이 경화제에 흡수될 수 있도록 자외선이 투과되는 유리기판 쪽으로 자외선을 조사한다. 이 때 자외선이 유기 박막에 조사되면 유기 박막이 손상되므로 자외선 가림판 등을 이용하여 자외선이 유기 박막에 조사되지 않도록 한다. ^{18)~20)}

제 2.4절 Sputtering

2.4.1 Sputtering 현상

스퍼터링 현상은 1852년 Grove에 의하여 처음 보고 되었으며 현재는 여러 가지 박막의 형성에 광범위하게 사용되고 있다. 고에너지 입자가 고체 표면에 조사될 때 고체 표면(타겟 표면)의 원자는 조사 입자와 탄성 또는 비탄성 충돌되어, 고체표면의 구성 원자가 표면에서 분리되는 것을 스퍼터링 혹은 스퍼터링 증발이라 부른다. 스퍼터링 증발이라고 부르는 이유는 스퍼터링 메커니즘(mechanism)이 조사된 입자의 입사 에너지에 기인된 국소적 가열 때문에 타겟 원자가 증발하는 열의 증발 메커니즘(mechanism)인지 운동량 전달 메커니즘(mechanism)인지 명확하지 않고 서로 복합적으로 설명되기 때문이다.²¹⁾

이때 사용되는 조사입자 이온, 원자, 중성자, 전자, 광전자 등이 이용될 수 있으나 주로 클로우 방전이라 부르는 플라즈마 내의 이온화된 불활성 가스이온을 이용한다.

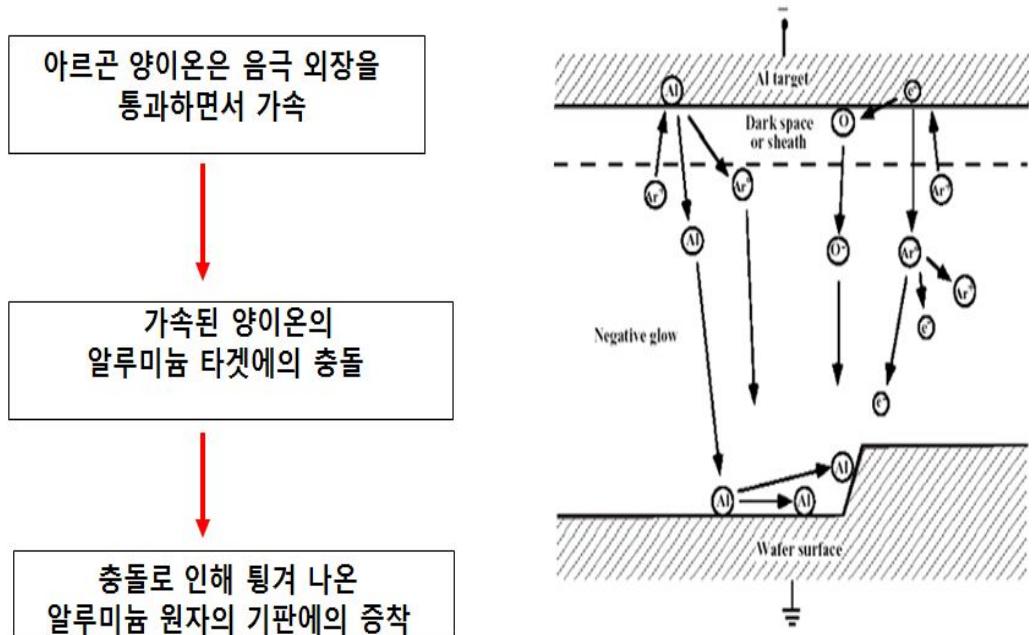


Fig. 9. Sputtering deposition process

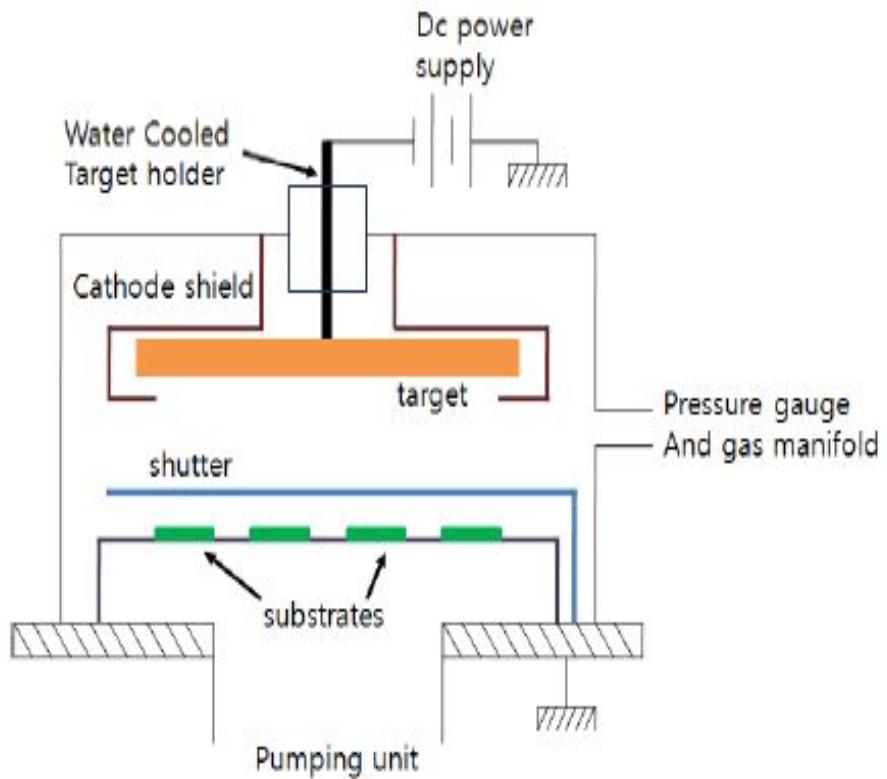


Fig. 10. DC sputtering system

글로우 방전을 발생 시키는 방법은 DC와 RF 방법이 있다. Fig. 10은 DC 스퍼터링 시스템의 기본 구조이며, DC 방전은 타겟이 메탈과 같이 어느 정도의 도전성($10^{-3} \Omega *cm$ 의 비저항 이하)을 갖는 경우로 제한되어지며 따라서 세라믹스와 같은 부도성 재료는 RF에 의해 구동된 글로우 방전을 이용하게 된다. 또한 RF 방전은 DC 방전에 비하여 보다 효율적으로 이온화시키기 때문에 더 낮은 가스 압력 하에서도 방전을 유지할 수 있게 해준다. 이러한 현상은 RF 마그네트론 스퍼터링의 경우 더욱 뛰어나다. 즉 움직임이 빠른 전자를 보다 효율적으로 이용하기 위하여 스퍼터링 시스템에 마그네트론 필드(field)를 이용한 것이다. 음극(타겟 부분)에 두 극성의 마그네트론을 배열시킴으로써 자장 주위의 전기장을 형성시켜 전자를 잡아둘 수 있게 하여 이온화 율을 증대 할 수 있으며 따라서 더욱 낮은 스퍼터링 가스 압력 하에서도 방전을 유지할 수 있게 해주게 된다.²²⁾

이상과 같이 RF 방전 즉 플라즈마가 발생되면서 조사 이온이 만들어짐과 동시에 플라즈마 내부에 만들어진 DC 오프셋(offset) 전압에 의해 구동된 이온이 타겟을 충돌함으로써 스퍼터링이 시작되면 타겟에서 떨어져 나온 원자를 적당한 기판위에 침착시켜 페막 또는 코팅(coating)을 형성하게 되고 이를 스퍼터링 증착이라 부른다. 이들 스퍼터 된 입자들은 대부분이 중성 원자이고 1~1[%] 정도가 이온화 되어 있다고 알려져 있다. 이들 중성자의 평균 에너지는 10~30[eV]에 상당하여 증발된 원자보다 100배 이상의 에너지를 갖고 있다.

타겟으로부터 조사된 이온 당 떨어져 나오는 입자의 수를 스퍼터링 비율이라 부른다. 스퍼터링 비율은 입사이온의 에너지, 타겟 재료, 입사이온의 입사각, 타겟 표면의 결정구조 등에 영향을 받는다.²³⁾

2.4.2 Sputtering 성막 방향

Particle 대책의 의미에서 Sputter Side, Sputter Up이 종종 사용되어 왔으나, 중력의 영향이 지배적인 Particle은 비교적 크기가 큰 것들이다.

$1\mu\text{m}$ 이하의 작은 Particle은 Gas의 운동의 영향을 받아서, Sputtering 방향에는 좌우되지 않는 것이 판명되었다. 이후 구조가 단순한 Sputtering Down이 일반적으로 사용되고 있다.

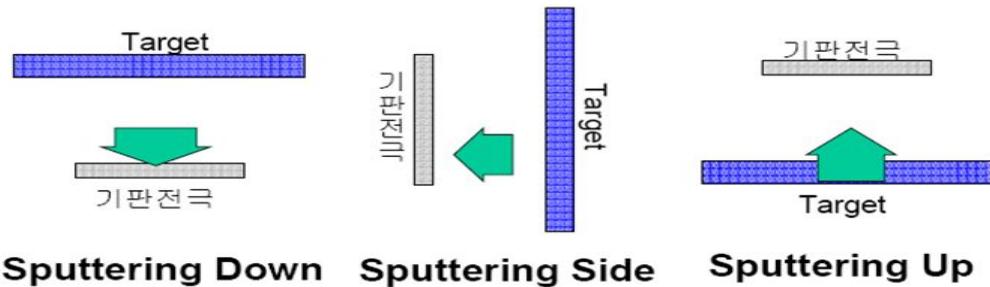


Fig. 11. Sputtering 의 다양한 성막 방향

2.5 절 OLED 단위소자 특성 평가

일반적으로 유기물질 또는 유기 소자의 특성은 단일 소자를 통하여 평가하게 되며, 단위 소자의 평가 데이터는 풀 칼라 소자의 기초 데이터를 제공한다. 단위 소자에서 평가해야 하는 기본특성은 전류-전압-휘도이며 이를 통하여 효율 및 수명에 관한 데이터를 함께 얻게 된다.

2.5.1 I-V-L 특성 평가

일반적으로 증착공정을 통하여 제작한 단색 소자는 I-V-L 특성을 평가하게 되며, I-V-L 특성평가는 전압을 단계별로 변화시켜 가면서 측정하거나 전류를 단계별로 변화시켜 가면서 측정하게 된다. 전류 및 전압은 전원 공급 장치에 의하여 측정되게 되며, 휘도는 spectrophotometer로 일반적으로 측정하게 된다. spectrophotometer 이외에 photodiode를 이용하여 측정하는 것도 가능하다. 전류 변화의 경우에는 전압 변화에 따른 전류 밀도 및 휘도가 얻어지게 되며, 상기 측정 값으로부터 소자의 전류 효율 및 전력 효율, 외부 양자 효율 등의 값을 얻을 수 있다. 전압 변화의 경우 전압의 범위는 보통 -전압에서부터 + 전압까지 측정하게 되며, -전압 테스트를 할 경우 소자의 누설전류를 병행해서 평가할 수 있다. 소자의 누설전류는 정류비로 표시되며, 전류비는 - 전압조건에서 전류밀도에 대한 구동영역에서의 전류 밀도 값을 상재적인 비율로 얻어지게 된다. I-V 곡선으로부터 평가 할 수 있는 또 하나의 특성은 켜짐 전압이다. 켜짐 전압은 전류-전압 곡선에서 전류가 급격히 증가하는 전압으로 규정되며, 전류와 전압을 log plot 하여 변곡점으로부터 켜짐 전압을 구할 수 있다. I-V-L 평가로부터 얻을 수 있는 또 다른 데이터는 소자의 효율에 관한 데이터이다. 휘도 빛을 전류밀도로 나누어 전류 효율(Cd/A)을 구할 수 있으며, 일반적으로 휘도는 전류 밀도와 plot 하였을 때 선형의 관계를 갖는다. 전류 효율 이외에 소자의 효율은 저력 효율로도 표시되며 전력효율은 전체 광량을 전류와 전압의 곱으로 나누어 계산할 수 있으며, lm/W로 표시된다.

$$\text{전력 효율(lm/W)} = \text{전류 효율(cd/A)} \times 3.14/\text{전압(V)} \quad (2-3)$$

2.5.2 수명 평가

일반적으로 OLED 소자의 수명은 초기 휘도에서 휘도가 50%까지 떨어질 때까지 걸리는 시간으로 정의된다. 테스트 소자의 경우에는 pulse 구동으로 반감기까지의 수명을 측정하는 방법이 사용된다. Pulse 구동을 하는 OLED 소자의 경우는 순간 요구 휘도가 높기 때문에 정 전류 구동에 비하여 수명이 감소하는 특성을 보이며 OLED 소자의 수명은 duty비, 휘도 등에 크게 의존한다. 일반적으로 수명과 초기 휘도와는 다음의 관계식을 따르는 것으로 알려져 있다.

$$T = T_0(L_0/L)^n \quad (2-4)$$

T 는 휘도 L 에서의 수명, T_0 는 휘도 L_0 에서의 수명이며 n 은 가속계수이다. 가속 계수는 여러 휘도 범위에서 수명을 측정하여 T/T_0 와 L_0/L log plot을 liner fitting 하여 얻어지게 되며, 일반적으로 1~2 사이의 값을 갖는다. n 값이 1에 가까울수록 휘도 변화에 대하여 수명의 차이가 크지 않다는 의미이며, n 의 값이 2에 가까울수록 초기 휘도에 대한 의존도가 크다는 것을 나타낸다. n 의 값은 유기재료의 종류, 유기 소자의 적층 구조 등에 의하여 크게 영향을 받으며, 또한 휘도 영역에 의해서도 달라지는 특성을 갖기 때문에, n 값의 측정은 사용하고자 하는 휘도 영역에서 테스트하고자 하는 소자 구조에 평가되어야 한다. 따라서 일반적인 소자의 수명 측정은 휘도에 따른 수명 반감기를 측정하여 가속계수를 구한 후에 휘도 가속테스트를 통하여 구한다. 가속 테스트 방법은 휘도 가속 및 온도 가속 테스트가 가능하며, 휘도가속만을 사용하거나 또는 휘도 가속 및 온도 가속 테스트를 병행하여 실시하기도 한다.

제 3장 실험 방법

제3.1절 OLED backplane 제작

본 실험에서는 두 가지 서로 다른 공정 방법을 통해 OLED backplane을 제작 하였다. Fig. 12에서 보여주는 것처럼 공정시간과 설비투자에 따른 비용 등 많은 차이점을 가지고 있다.



Fig. 12. photolithography vs photoless

3.1.1 기판세정

본 실험에서는 OLED backplane을 제조하기 위해서 기판을 크기가 $200 \times 200 \text{ mm}^2$ 의 무 알카리 glass를 사용하였다. 먼저 증착하기 전 기판의 표면 불순물 및 산화막에 의해 생기는 막의 오염을 제거하기 위해서 5% detergent로 세정한 후 QDR(Quick Drain Rinse)과 SRD(Spin Rinse Dry)으로 세척하여 사용하였다. 또한 기판 표면에 남아있는 수분을 제거하기 위하여 100°C에서 건조하였고, 광학현미경을 통하여 기판 표면에 이물질이 남아 있는지 확인하였다.

3.1.2 ITO 박막 증착 및 패터닝

ITO 박막은 photolithography 공정과 shadow metal mask를 이용한 photoless 공정으로 각각 패터닝 하였다.

가. photolithography process

세척된 glass를 in-line sputter를 이용하여 기판 전면에 ITO를 1500 Å 두께로 증착하고 그 위에 PR(Photoresist) 코팅 한 후 shadow metal mask를 통해 노광 및 ITO 식각을 실시하였다. 또한 PR 제거를 위하여 유기용제를 이용하여 stripper 용액을 사용하였다.

※ ITO 패턴 형성 공정

- Photoresist(ZPP-1850) 코팅 : 두께 $1\mu\text{m}$ (spin coating 1000~1200 rpm)
- 노광 : 수온램프 405nm, 15 sec
- developer(MIF 300) : puddle type
- ITO etchant : 일동제약 ITO etchant (2min, at 45°C)
- 유기 용제 : PR 제거용, 일동제약 PR stripper (20 min, at 80°C)

나. photoless process

photoless 공정을 위해서 기판위에 shadow metal mask를 부착한 뒤 in-line sputter를 이용하여 ITO 박막을 500 Å 두께로 증착 하였다. Fig. 13의 왼쪽의 그림은 shadow metal mask이며, 오른쪽 그림은 shadow metal mask에 의해 만들어지는 패턴을 도식화한 그림이다. 아래의 Fig. 14와 table. 1은 in-line sputter의 그림 및 증착 조건을 보여 주고 있다.

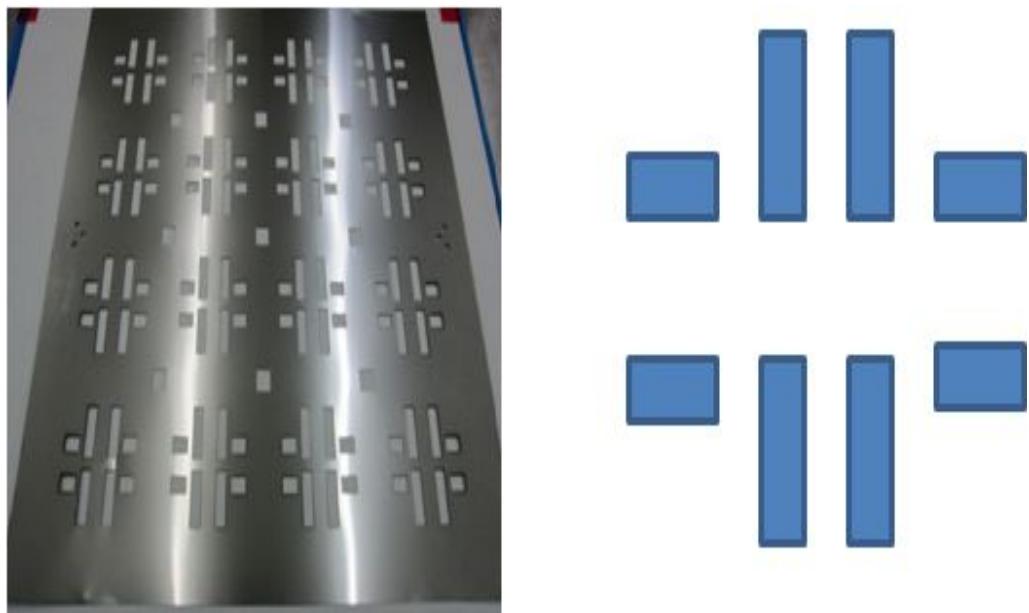


Fig. 13. shadow metal mask for anode

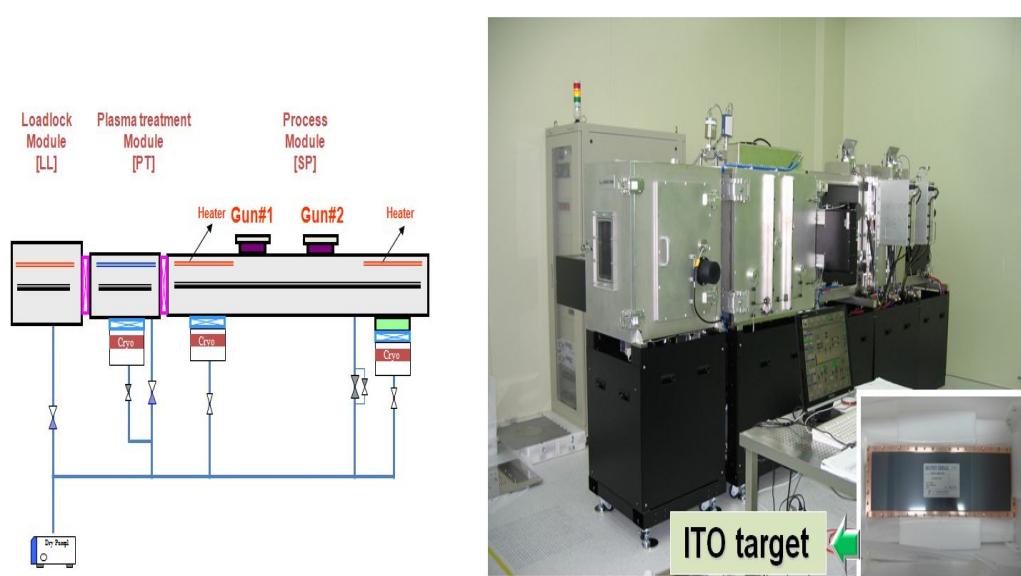


Fig. 14. in-line sputter (SUNIC - IS3000)

Table 1. ITO thin film deposition condition

Target	ITO, $\text{In}_2\text{O}_3\text{-SnO}_2$ (90:10wt%), 4N
Substrate	200*200 E-glass
Base pressure (Torr)	5.37×10^{-7}
Ar flow rate (sccm)	100
O ₂ flow rate (sccm)	1.0
Working pressure (mTorr)	2.0
DC power (w)	500
Target to substrate distance (mm)	50
Heating Temperature (°C)	250
Time (Sec)	650
Thickness (Å)	1500

3.1.3 ITO 박막 표면처리

ITO 박막의 전기적 특성 및 거칠기를 향상을 위해 표면처리를 하였다. 표면처리방법은 RTP(Rapid Thermal Processing)열처리와 O₂ plasma 처리를 하였다. Table 2는 ITO 박막의 표면처리에 사용된 RTP 열처리 조건이며 Table 3은 O₂ plasma 조건을 보여주고 있다.

Table 2. RTP(Rapid Temperature Process) condition

RTP(Rapid Temperature Processing)	
Temperature(℃)	250
Time(Hr)	1

Table 3. O₂ plasma treatment condition

Plasma Treatment	
RF Power (W)	150
O ₂ flow (sccm)	50
Pressure (mtorr)	20
Time (sec)	90

3.1.4 절연막 증착

photolithography와 photoless 공정에 의해 패턴 된 ITO 박막위에 비전도성의 절연막을 공정 조건에 알맞은 재료를 선정하여 증착하였다.

가. photolithography Process

photolithography 공정에서는 일반적으로 가장 많이 사용하는 PI(polyimide)를 절연막 재료로 사용하였다. PI는 스픬 코팅법을 통하여 증착한 후 photo mask를 사용하여 선택적 UV 노광을 실시하여 불필요한 부분을 제거하기 위하여 developer를 이용하여 패턴 하였다.

※ 절연막 공정

- PI 코팅 (DL-1602) : 두께 1 μm (spin coating 1000~1200 rpm)
- 노광 : 수은 램프 405 nm, 15 sec
- developer (AZ-300)

나. photoless process

photoless 공정은 직접 설계하여 제작한 2장의 shadow metal mask를 사용하여 절연막을 증착하였다. Fig. 15는 직접 설계하여 제작된 shadow metal mask와 증착하면 형성되는 패터닝 이미지를 나타낸다. 이때 절연물질로 써는 고분자인 PMMA(polymethyl methacrylate)와 반도체 passivation 물질로 잘 알려진 무기물인 Al_2O_3 를 사용하였다.

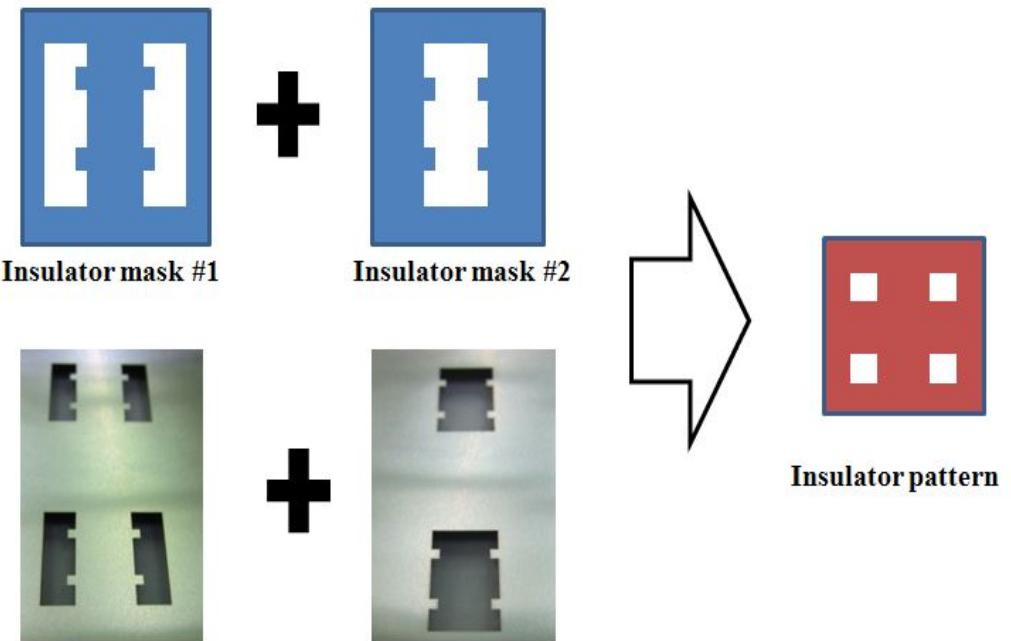


Fig. 15. shadow metal mask for insulator

(1). PMMA 절연막 증착

고분자인 PMMA 물질은 Flash evaporator(SNU Precision) 장비를 이용하여 증착하였다. 증착 전 PMMA 물질은 초음파세척기를 통하여 미립자 상태로 만든 후 스프레이 분사 법을 통하여 증착하였고 UV를 통해 경화시켰다. 이때 PMMA 물질의 두께 제어는 scan 속도 및 분사량 그리고 scan 횟수에 의해 조절하였다. 증착 장비의 대략적인 구조와 공정 조건은 Fig 16과 Table 4에 나타내었다.

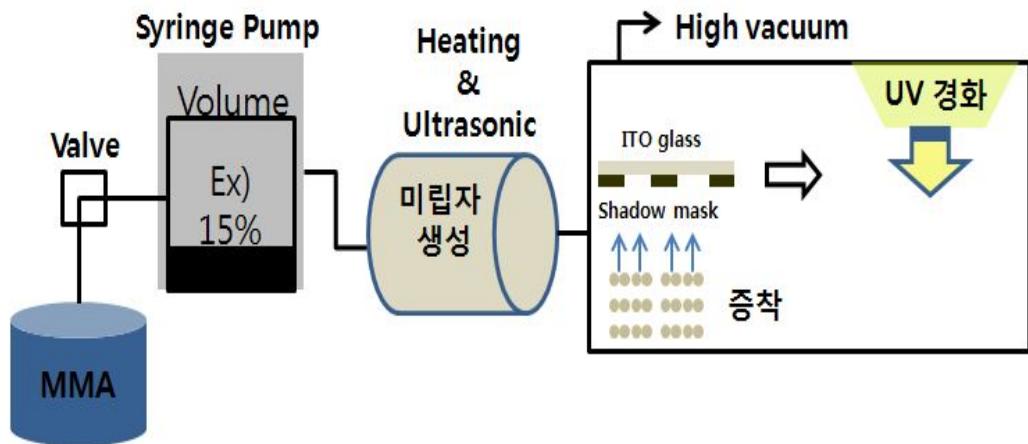


Fig. 16. schematic of flash evaporator

Table 4. PMMA deposition condition

PMMA Deposition	
UV Power (%)	75
UV Process Scan Speed (cm/min)	60
First Stable Flow Rate (ml/min)	0.50
First Stable Flow Rate Stability Time (sec)	10
Scan Speed (cm/min)	75
Process Flow Rate (ml/min)	0.30
Process Stabilization Time (sec)	33
Ultra Sonic Power Voltage (V)	2.5

(2). Al₂O₃ 절연막 증착

Al₂O₃ 박막은 Al 타겟을 사용하여 reactive sputtering를 통해 증착하였다. reactive sputter 장비에 의한 박막의 두께 조절은 일반적인 sputter와는 다르게 증착 시간 보다는 scan count 및 scan speed 따라 조절 된다. 예를 들어 50 nm 두께를 증착 하기 위해서는 4번의 scan 하였으며 100 nm의 두께를 얻기 위해서는 8번의 scan이 필요하다. 증착 공정 조건 및 장비 구조는 Fig. 17 및 Table 5에 나타내었다.

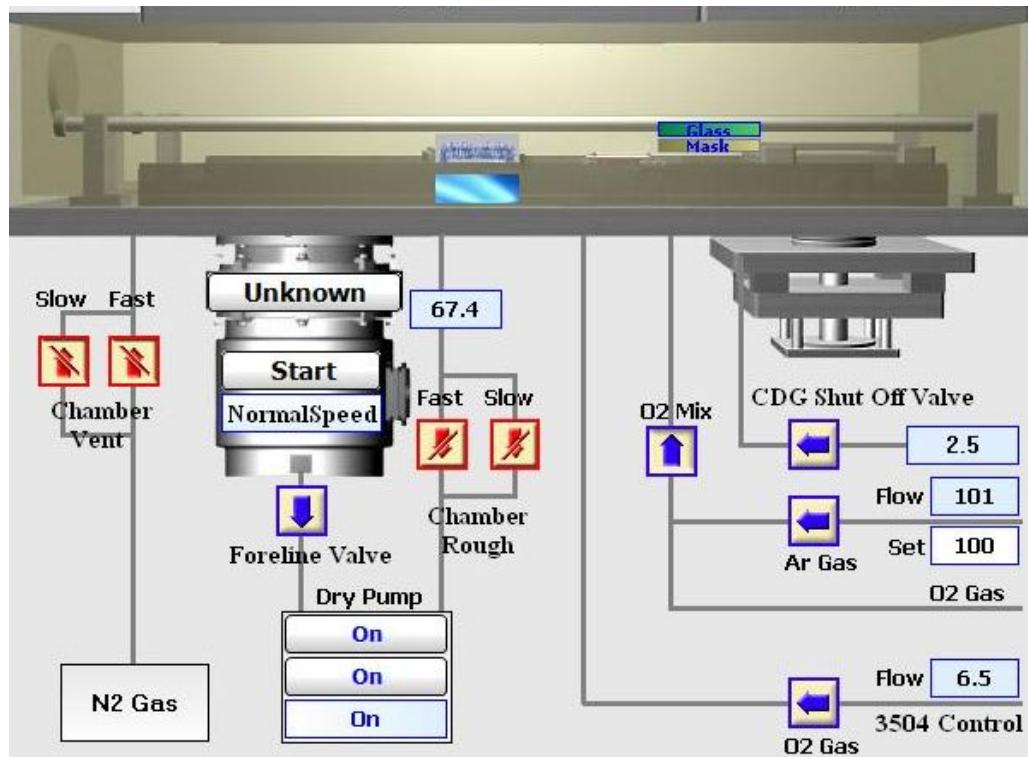


Fig. 17. Structure of reactive sputter chamber

Table 5. Al₂O₃ thin film deposition condition

Al ₂ O ₃ (50nm) Deposition	
Scan set	
Process Scan Speed(cm/min)	55
Process Scan count	4
Power set	
DC power set point (watt)	1000
Pressure & Gas set	
pressure(mTorr)	2.5
Ar gas set point(sccm)	100

제3.2절 OLED 소자 제작

OLED 조명 소자는 photolithography 공정과 photoless 공정을 통하여 제작된 기판 위에 유기물 및 음극 전극을 증착하여 제조하였다. Fig. 18r과 Fig. 19는 OLED의 인광그린 소자 구조와 전체적인 구조를 도식화한 것이다.

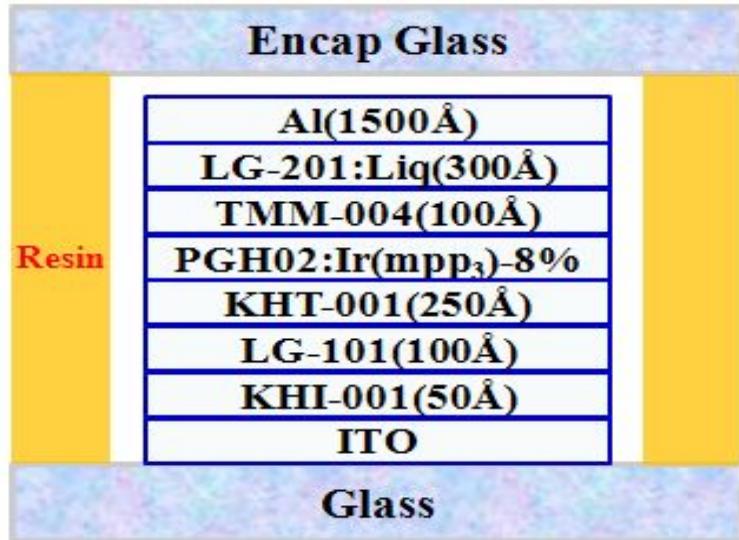


Fig. 18. Structure of phosphorescence green OLED

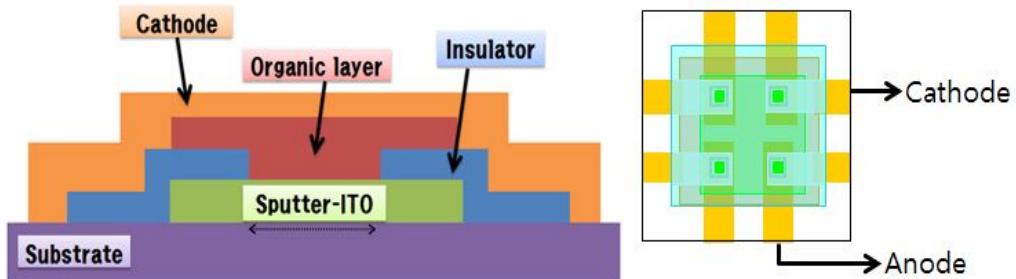


Fig. 19. Cross-section view of OLED test device

3.2.1 유기물 증착

유기물 재료는 small molecule polymer로 열이나 plasma에 약하기 때문에 일반적인 sputter나 CVD로 증착하여 균일한 막을 형성하기 어렵기 때문에 thermal evaporation 법을 사용하고 있다. thermal evaporation 법은 증착원이 아래에 있기 때문에 기판이 아래로 향하는 phase down 방식을 사용하였으며 선택적 증착을 위하여 shadow metal mask를 사용하였다.

Fig. 20은 본 유기물 증착에 사용된 thermal evaporator 챔버 내부 모습을 나타낸 것이다.



Fig. 20. Organic Evaporation Chamber (SUNIC SYSTEM plus200)

유기물과 전극의 증착은 진공도가 8.5×10^{-8} torr의 고진공 조건에서 열증착 방식에 의해 증착하였다. OLED 조명 소자는 모두 동일한 인광그린 소자를 제작하였다. 유기 물은 KHI - 001이 HIL(Hole Injection Layer) / LG - 101과 KHT - 001 이 HTL(Hole Transport Layer) 역할 / PGH02:Ir(mpp₃)이 Green EML(Emission Layer) 역할 / TMM - 004 가 HBL(Hole Blocking Layer) 역할 / LG201 : Liq 가 ETL(Electron Transport Layer) / EIL(Electron Injection Layer) 역할로 구성하였다.

3.2.2 음극(Cathode) 증착

음극은 다층 유기물 위에 Al(aluminum)을 1500 Å 두께로 증착하였다. Fig. 21은 metal chamber 내부 모습이다. 그림에서와 같이 Boat 형태의 Cell을 이용하여 Al 음극을 증착하였다. 이때 기본 진공도는 $\sim 10^{-7}$ torr이며, 증착률은 5Å/sec이다.

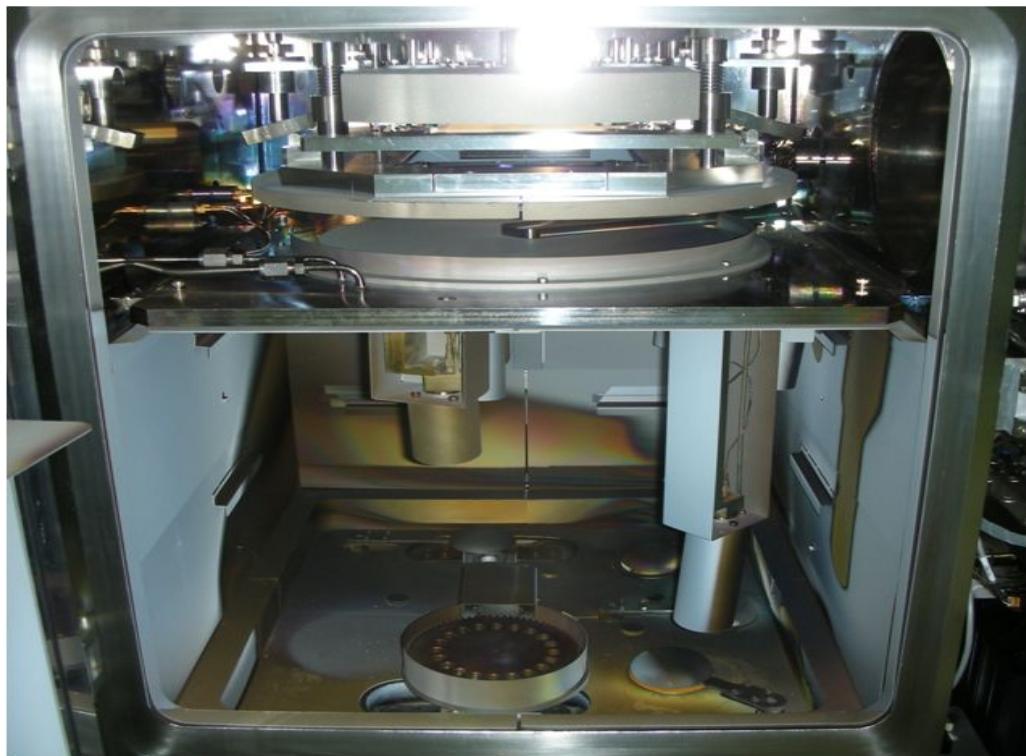


Fig. 21. Metal Chamber (SUNIC SYSTEM plus200)

3.2.2 봉지 작업

유기물 및 전극이 증착 된 OLED 소자는 수분과 산소에 매우 취약하기 때문에 진공이나 불활성기체 내에서 밀봉성 패키징을 하여 수명을 향상 시켜야한다. 따라서 증착 완료된 OLED 조명용 소자를 수분 5ppm이하로 유지하는 glove box 안에서 glass encap으로 패키징을 진행하였고 잔존하는 수분제거를 위하여 흡착제인 게터를 삽입하여 봉지작업을 실시하였다.

Fig. 22는 photolithography 공정과 photoless 공정으로 제조된 후 봉지 과정을 통하여 완성 된 OLED test 소자 모습이다. 서로 다른 두 공정으로 제작된 소자 모습은 크게 다르지 않으나, PI를 사용했을 경우 경화하면 절연막 색이 노랗게 변하는 특성을 가지고 있다.

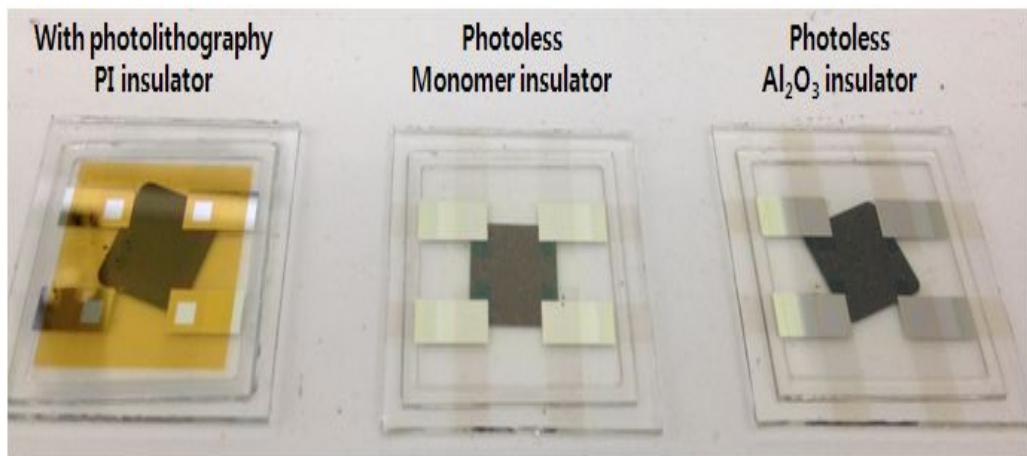


Fig. 22. 공정 조건 및 절연막 재료에 따른 OLED 조명 소자

제 3.3절 특성 분석

3.3.1 ITO 박막의 전기적 및 구조적 특성 조사

200 × 200 mm² 기판위에 증착된 ITO 박막의 면저항은 4 point probe(RT-3000, NAPSON Corporation)를 이용하여 측정하였으며 측정 오차를 줄이기 위하여 총 16 point를 측정하여 평균치를 얻었다. ITO 박막의 표면 거칠기는 AFM(XE-200 System, PSIA)을 이용하였고, Cantilever는 non-contact mode로 0.5Hz의 scan rate로 측정하였다. ITO 박막의 절연막 두께 등을 Alpha Step(P -16 + (KLA Tencor)과 FE-SEM(Quanta 3D FEG, FEI COMPANY)을 이용하여 측정하였다. ITO 박막의 투과도는 UV/VIS spectrometer(Lamda 35)를 통하여 측정하였다.

3.3.2 절연막 특성 분석

Flash evaporator를 통하여 증착 된 PMMA나 Reactive sputter를 통하여 증착된 Al₂O₃에 대한 절연 특성은 4 point probe를 사용하여 검증 하였다. 절연막의 특성 및 두께는 Elipsometer와 FE-SEM을 통하여 측정 하였다.

3.3.3 OLED 소자 특성 평가

가. I-V-L 측정

공정 조건에 따른 OLED 조명 소자의 전류-전압-휘도 특성은 0 V에서 6 V까지 0.2V step 단위로 측정하였다. 전류-전압 특성은 Source meter(Keithley 2440)을 사용하였고 휘도는 chromameter(Minolta CS-1000)을 사용하여 측정하였다.(Fig. 23) 또한 누설전류는 0 V에서 -10 V까지 전압을 주입하여 측정하였다.

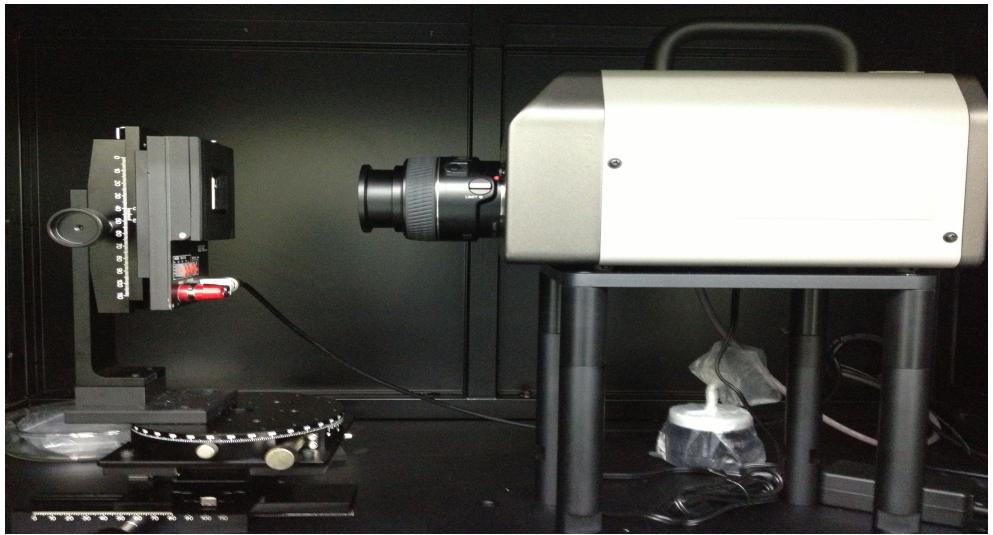


Fig. 23. OLED 소자 측정에 사용된 CS-1000

나. OLED 소자 수명 측정

소자의 수명은 OLED life time Tester를 사용하여 전원을 인가하고 3000 cd/m^2 를 기준으로 가속 수명을 휙도 변화를 통해서 측정하였다. 각 소자들은 power supply를 통해 원하는 전류를 인가 받을 수 있고, 각 소자에 달려있는 휙도측정기를 통하여 각 pixel의 밝기를 시간에 따라 측정하게 된다. 이를 통하여 제작 한 소자의 신뢰성을 평가 하였다.

4장 결과 및 고찰

제 4.1절 ITO 박막의 특성

4.1.1 Shadow metal mask 사용 시 ITO tail

Fig. 24는 Photoless 공정을 통해 제조된 ITO 박막의 Tail 부분을 AFM을 이용하여 측정한 결과를 보여주고 있다. 그림에서 확인할 수 있듯이 ITO Tail 부분은 최대치로 가정하면 약 60 μm 정도임을 알 수 있다. ITO Tail 부분에 단차가 생기는 이유는 shadow metal mask와 기판사이에 gap이 발생하여 shadow effect가 나타나는 것으로 생각되어 진다. 따라서 ITO Tail 부분의 shadow effect를 줄이기 위해서는 기판과 mask 사이의 gap을 최소화시킬 수 있는 부착 방법이 필요하다고 사료된다.

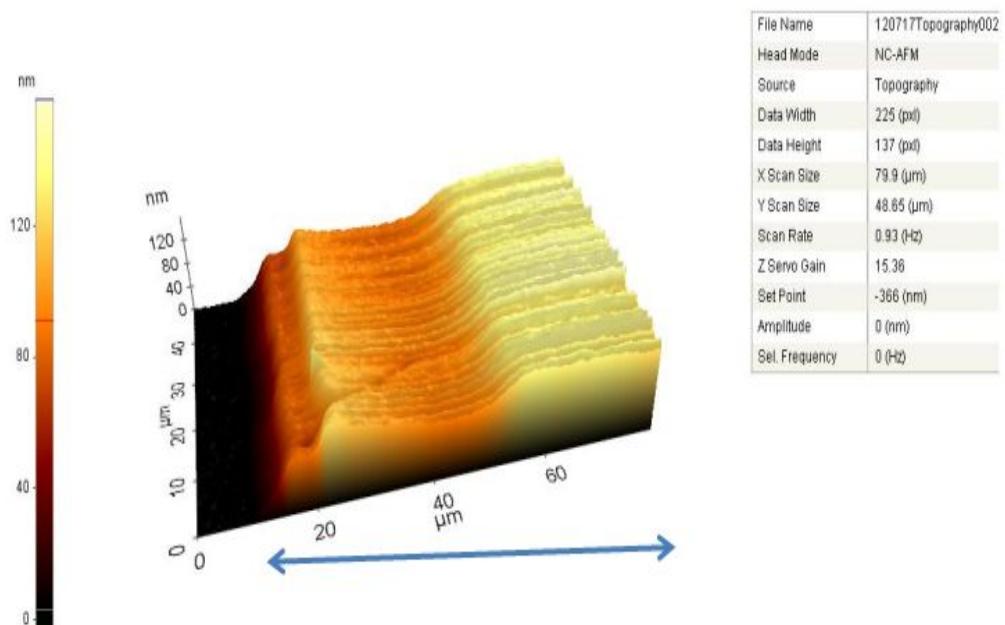


Fig. 24. 3D image of ITO Tail

4.1.2 박막의 표면처리에 따른 거칠기 및 면적항 특성

Fig. 25는 in-line sputter를 이용하여 증착된 ITO 박막과 표면 처리 방법에 따른 표면 거칠기와 면적항 변화를 나타낸 것이다. 각각의 다른 박막의 상대비교를 위하여 Z 축에 범위를 모두 동일하게 적용하였다.

그림에서 보여주는 것처럼 as-deposited ITO 박막 표면에 커다란 spike들이 존재하였으며 거칠기는 22.5 nm이고 면적항은 $29.66 \Omega/\square$ 이었다. 그러나 250°C 에서 1시간 동안 RTP 열처리 한 박막에서는 줄어들었으며 거칠기는 7.644 nm, 면적항은 $12.5 \Omega/\square$ 이고 열처리와 O_2 플라즈마 처리를 한 박막에서는 spike들이 거의 존재하지 않았으며 거칠기는 3.877 nm 면적항은 RTP 열처리를 한 박막과 동일한 결과를 얻었다. 이와 같이 표면처리 전에 나타나는 spike들은 OLED 소자 제조 시 spike 부분의 전류의 집중과 전류의 누설로 인하여 소자의 특성과 수명에 영향을 미치기 때문에 표면처리를 통하여 표면의 거칠기 및 면적항을 향상시켜야 한다.

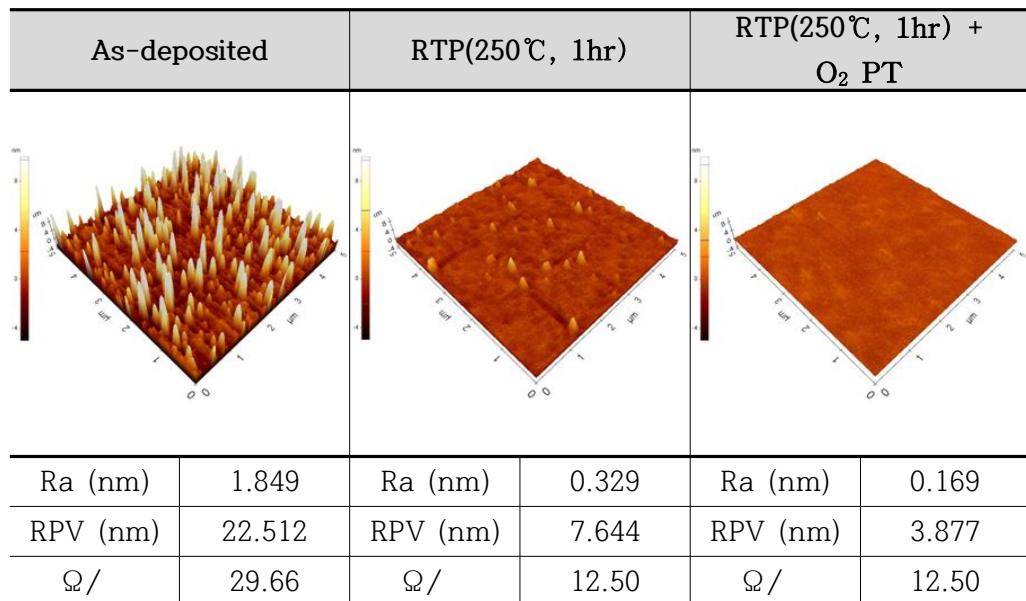


Fig. 25. 표면처리 조건에 따른 ITO 박막의 표면 거칠기

4.1.3 박막의 표면처리에 따른 광학적 특성

Fig. 26은 열처리 및 O₂ PT 처리를 했을 경우 ITO 박막의 투과율을 나타내었다. RTP 열처리를 통한 sample이 550 nm 파장에서 97 %로 가장 높은 수치를 보였으며, As-dep. 상태가 95 %로 가장 낮은 수치를 보여주었다. 이를 통하여 열처리를 하였을 경우 ITO 박막의 투과도는 더 좋아진다는 것을 확인할 수 있었다. 이는 ITO 박막 특성상 열처리를 통해 비정질 이었던 구조가 결정질로 바뀌면서 투과도 향상을 가져오기 때문이라고 사료된다.

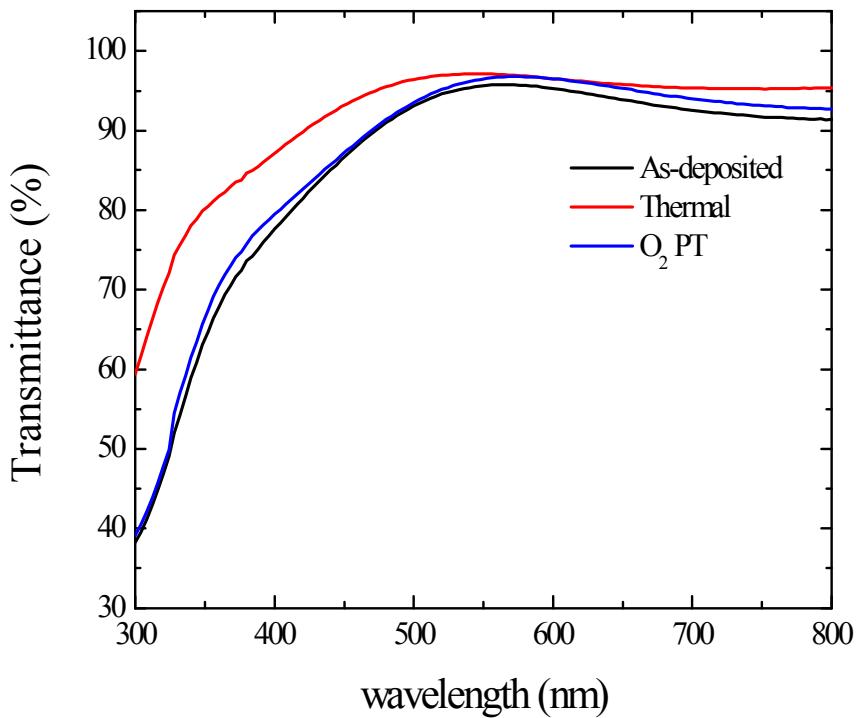


Fig. 26. 표면 처리 조건에 따른 ITO 박막의 투과율 변화

4.2 절연막

4.2.1 PMMA 막의 미세구조 및 굴절률 특성

Fig. 27은 150 nm ITO가 증착되어 패터닝 된 기판을 사용하여 Flash evaporator를 통하여 증착된 PMMA의 두께를 SEM으로 측정한 결과를 나타낸 것이다.

그림에서 보여주는 것처럼 PMMA로 150 nm ITO 패터닝 된 박막위에 1.14 μm 두께로 균일하게 형성되어 있는 것이 확인 되었다.

또한 Elipsometer를 통하여 PMMA를 측정한 결과 두께는 1 μm , 굴절률은 1.6으로 나타났다. 이와 같은 1 μm 로 증착된 절연막은 양극과 음극을 충분히 분리해 줄 것으로 생각된다.

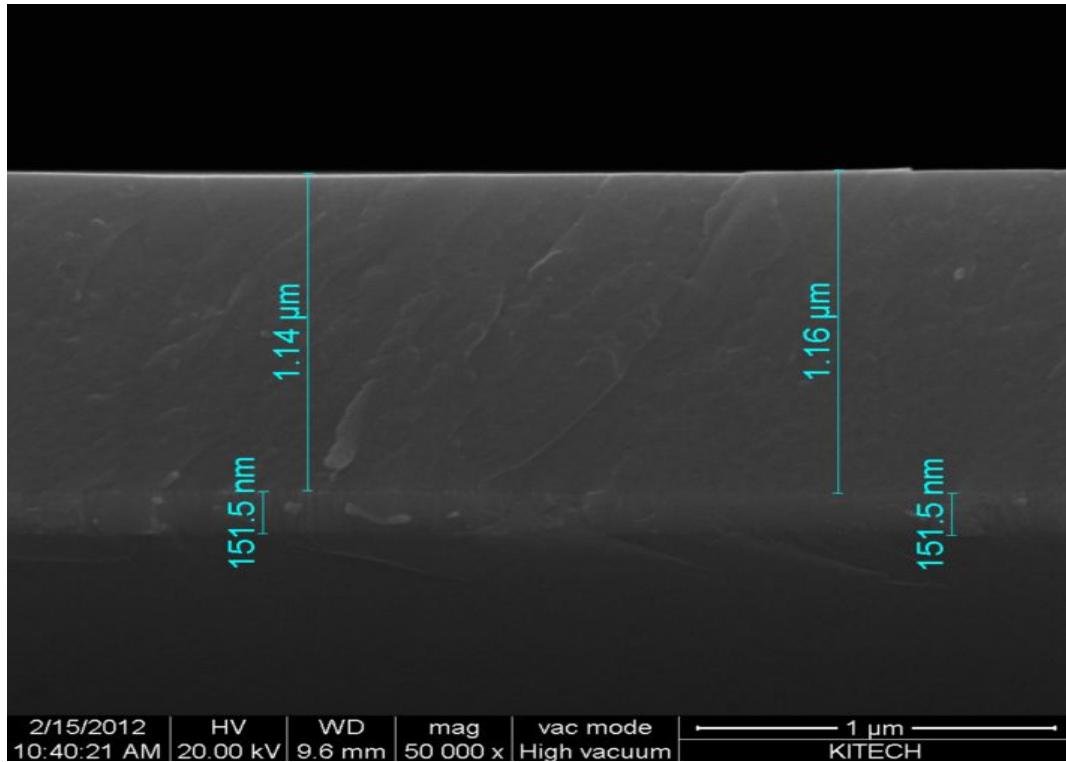


Fig. 27. Cross-Section image to PMMA Insulator

4.2.2 Al₂O₃ 막의 미세구조 및 굴절률 측정

Fig. 28은 150 nm ITO가 증착되어 패터닝 된 기판위에 Al 타겟을 사용하여 reactive sputter를 통하여 증착된 Al₂O₃ 절연막의 두께를 SEM으로 측정한 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 보여주는 것처럼 패터닝 된 150 nm ITO 박막의 중앙과 모서리 부분에 증 두께가 200 nm 인 Al₂O₃ 막이 균일하게 증착되어 있는 것을 알 수 있다. 그러나 reactive sputter 법은 Al 타겟을 사용하여 증착 과정 중에 산화과정을 통하여 Al₂O₃ 증착하기 때문에 Ellipsometer를 통하여 굴절률을 검증하는 것이 필요하다. 따라서 reactive sputter 통하여 증착된 Al₂O₃ 박막은 Ellipsometer로 측정한 결과 굴절률이 1.556으로 Al₂O₃가 가지고 있는 굴절율과 동일하게 측정되었으며 두께는 200 nm로 측정되었다.

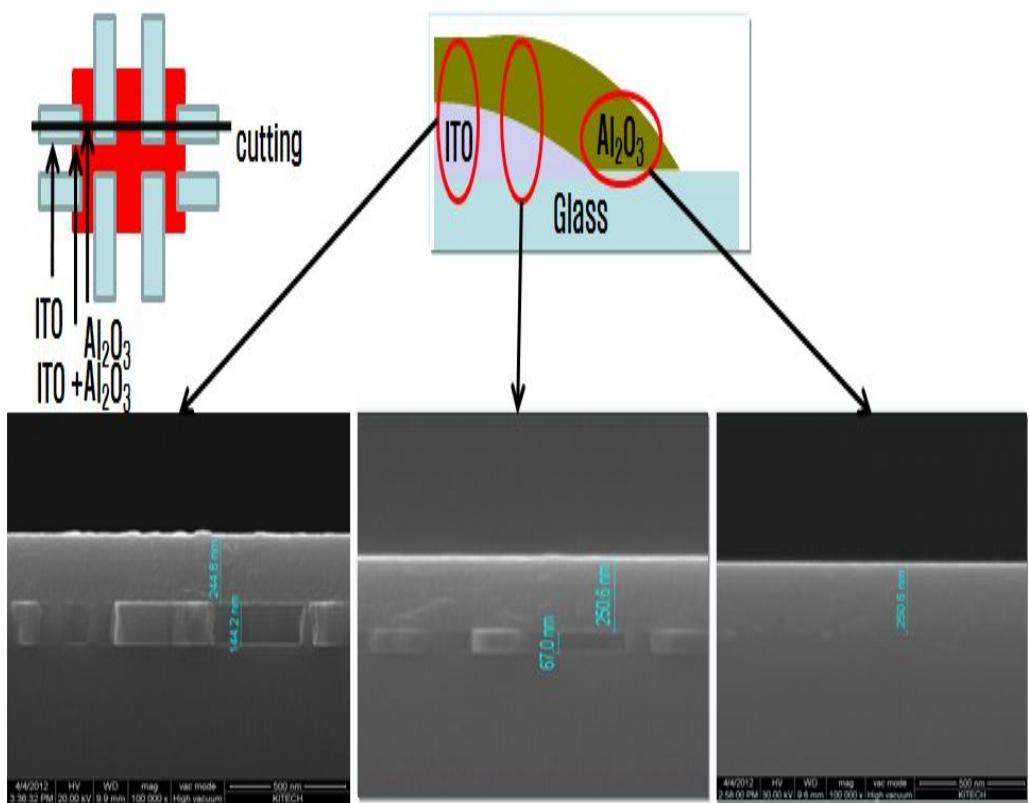


Fig. 28. Cross-Section image to Al₂O₃ Insulator

4.3절 OLED 소자의 특성 평가

Fig. 29는 photolithography 공정은 PI를 절연체로 사용하였고 photoless 공정은 PMMA와 Al_2O_3 를 절연막으로 사용하여 제조된 인광그린 OLED 소자의 발광이미지를 보여주고 있다. 그림에서 보여주는 것처럼 모든 소자에 4V의 전압을 인가하여 구동해 본 결과 절연막 및 제조공정에 따라 발광영역의 차이는 있지만 구동에는 문제없이 작동하는 것을 알 수 있다.

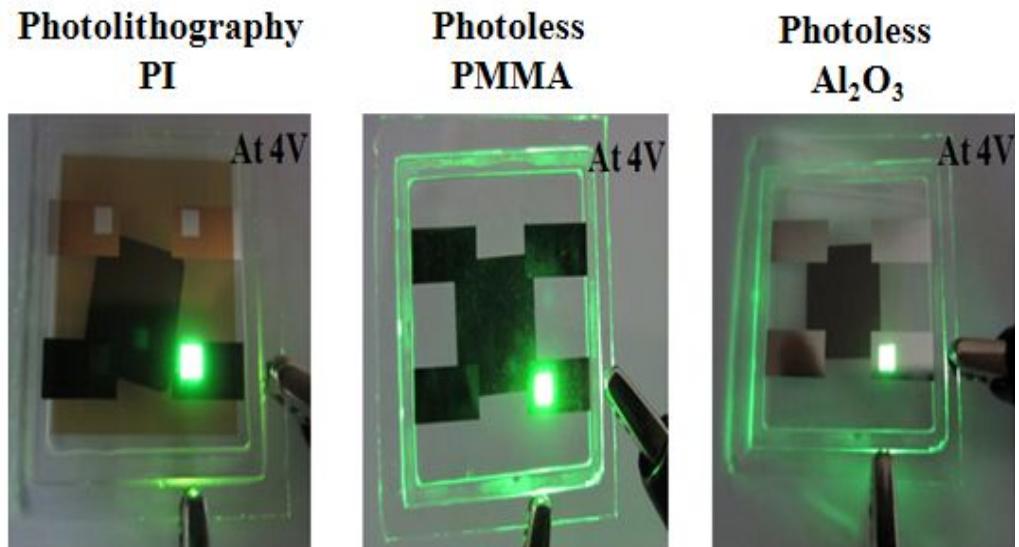


Fig. 33. Image of green light emission

4.3.1 OLED 소자의 EL spectrum

Fig. 30은 photoless 공정 중 절연막 재료가 photolithography 공정에 의해 제조된 소자 (Ref.) 와 4 V에서 EL spectrum을 측정한 결과로 나타낸 것이다.

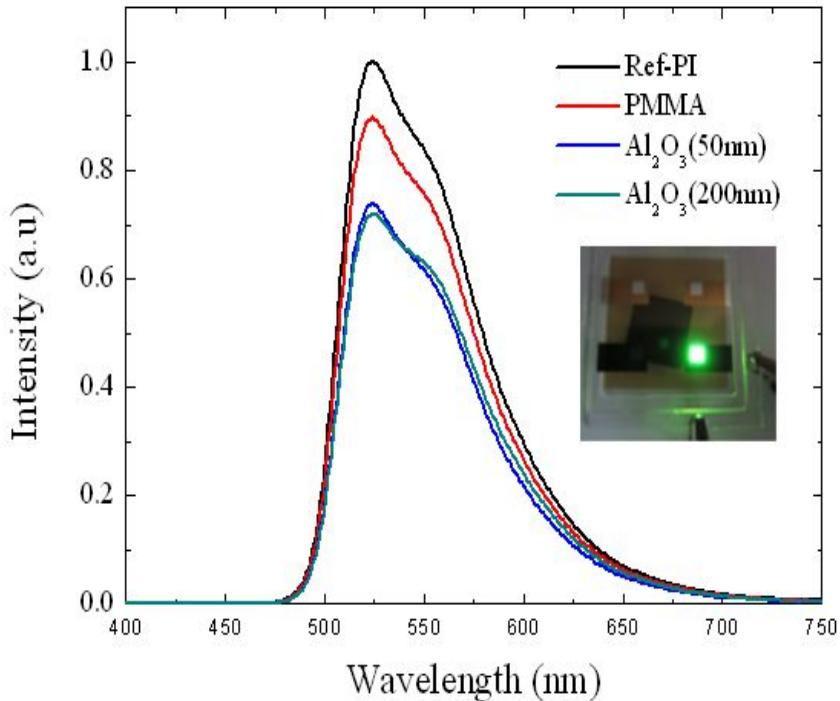


Figure 30. EL spectrum of phosphorescent green OLED

그림에서 보여주는 것처럼 520 nm 파장에서 Ref. 소자의 EL peak 강도를 1로 했을 때 PMMA를 사용한 소자가 0.9이고 200 nm 두께의 Al₂O₃를 사용한 소자가 0.74이고 50 nm 두께의 소자가 0.71로 가장 낮게 나타났다.

4.3.1 OLED 소자의 전류 밀도 특성

Fig. 31은 Fig. 34의 EL 스펙트럼을 측정한 동일한 소자를 이용하여 전압에 따른 전류 밀도를 측정한 결과는 나태 낸 것이다. 그림에서 보여주는 것처럼 photolithography 공정에 의해 제조된 Ref. 소자가 가장 전류밀도의 기울기가 크고 그 다음으로 photoless 공정으로 제조 된 소자 중 절연체로 PMMA를 1 μm 코팅된 소자였고 Al_2O_3 를 절연체로 사용한 것은 두께가 200 nm가 50 nm보다 높게 나타났다. 그리고 4개의 소자를 전압 4V에서 평가한 결과 Ref. 소자에서는 전류 밀도가 15.61 mA/cm^2 이고(붙여주셈) PMMA에서는 12.21 mA/cm^2 , 200 nm Al_2O_3 에서는 7.28 mA/cm^2 50 nm Al_2O_3 는 4.24로 가장 낮게 나타났다.

Table. 6. 전압에 따른 전류밀도 특성

	Photo Process PI(1 μm)	Photoless PMMA(1 μm)	Photoless $\text{Al}_2\text{O}_3(50\text{nm})$	Photoless $\text{Al}_2\text{O}_3(200\text{n})$
Operating Voltage(V)	4	4	4	4
Current Density (mA/cm^2)	15.61	12.21	4.24	7.28

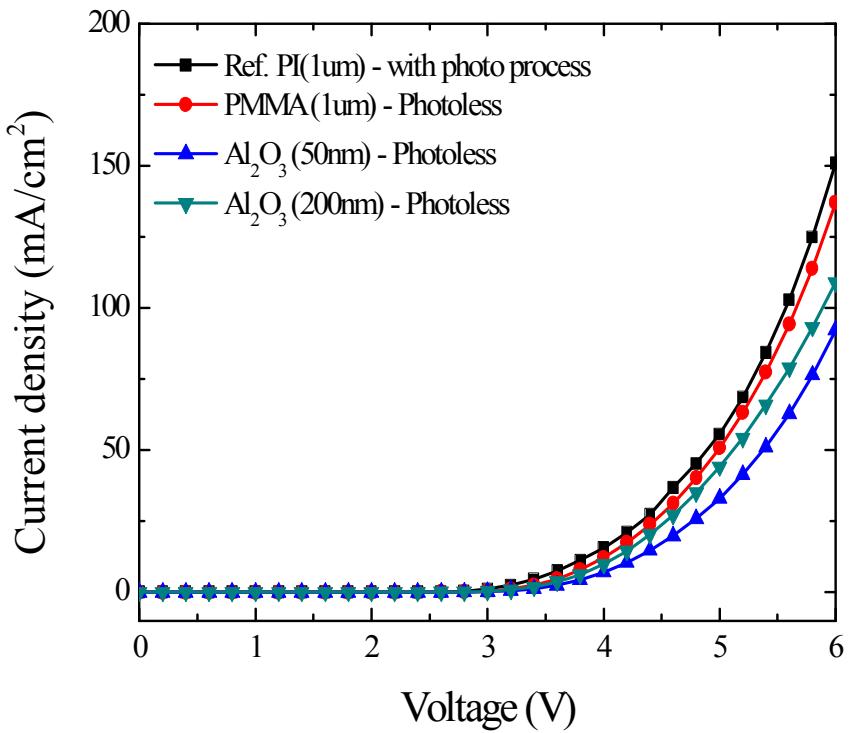


Fig. 31. Photo Process를 적용한 소자와 절연막에 따른 Photoless를 적용한 소자의 전류-전압 특성

4.3.2 OLED 소자의 전압 - 발광 특성

Fig. 32는 photolithography 공정에 의해 제조된 Ref. 소자와 photoless 공정과 절연체를 변화시킨 3개의 소자에 대한 L-V 측정 결과를 나타낸 것이다. 전압을 3.6 V에서 휘도를 평가한 결과 Ref. 소자의 경우 Luminance 는 4361 cd/m^2 로 나타 났으며, PMMA 소자에서는 3520 cd/m^2 이고 Al_2O_3 의 두께가 200 nm에서는 1667 cd/m^2 이고 50 nm Al_2O_3 에서는 1008 cd/m^2 로 나타났다. 또한 Luminance 기울기가 낮을수록 2.2 V이하에서도 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 소자에서 누설전류가 발생하고 있다는 것을 의미한다.

Table 7. 전압에 따른 절연막 종류에 따른 휘도 특성

	Photo Process PI($1\mu\text{m}$)	Photoless PMMA($1\mu\text{m}$)	Photoless $\text{Al}_2\text{O}_3(50\text{nm})$	Photoless $\text{Al}_2\text{O}_3(200\text{n})$
Operating Voltage(V)	3.6	3.6	3.6	3.6
Luminance (Cd/cm^2)	4361	3520	1008	1667

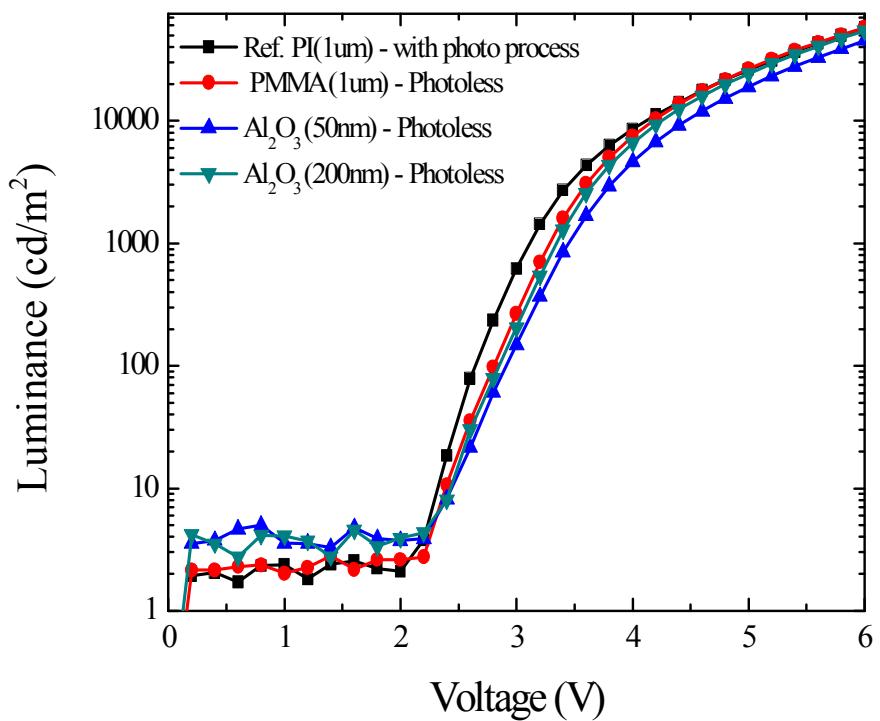


Fig. 32. Photo Process를 적용한 소자와 절연막에 따른 Photoless 공정을 적용한 소자의 전압-발광 특성

4.3.3 OLED 소자의 전압 - 전력효율 특성

Fig. 33은 Ref. 소자와 photoless 공정 중에 절연체 재료를 PMMA, Al₂O₃를 사용하여 제조된 소자의 전류밀도에 따른 전력 효율을 측정한 결과로 나타낸 것이다. 그림에서 보여주는 것처럼 전류밀도가 10 mA/cm²에서 전력효율을 평가한 결과 photolithography 공정에 의해 제조된 Ref. 소자에서는 48.21 lm/w가 나타났으며, photoless 공정을 사용하고 PMMA 를 절연체로 사용하여 제조한 소자에서는 46.37 lm/w이고, 200 nm 두께의 Al₂O₃를 절연체로 한 소자에서는 43.02 lm/w이고 50 nm 두께의 Al₂O₃ 소자에서는 39.53 lm/w로 가장 낮게 나타났다. 이와 같이 전류밀도에 따른 전력효율 그래프는 휘도 결과와 유사하게 나타났다.

Table 11. 전류밀도에 따른 전력효율 특성

	Photo Process PI(1μm)	Photoless PMMA(1μm)	Photoless Al ₂ O ₃ (50nm)	Photoless Al ₂ O ₃ (200n)
Current Density (mA/cm ²)	10	10	10	10
Power Efficiency (lm/w)	48.21	46.37	39.53	43.02

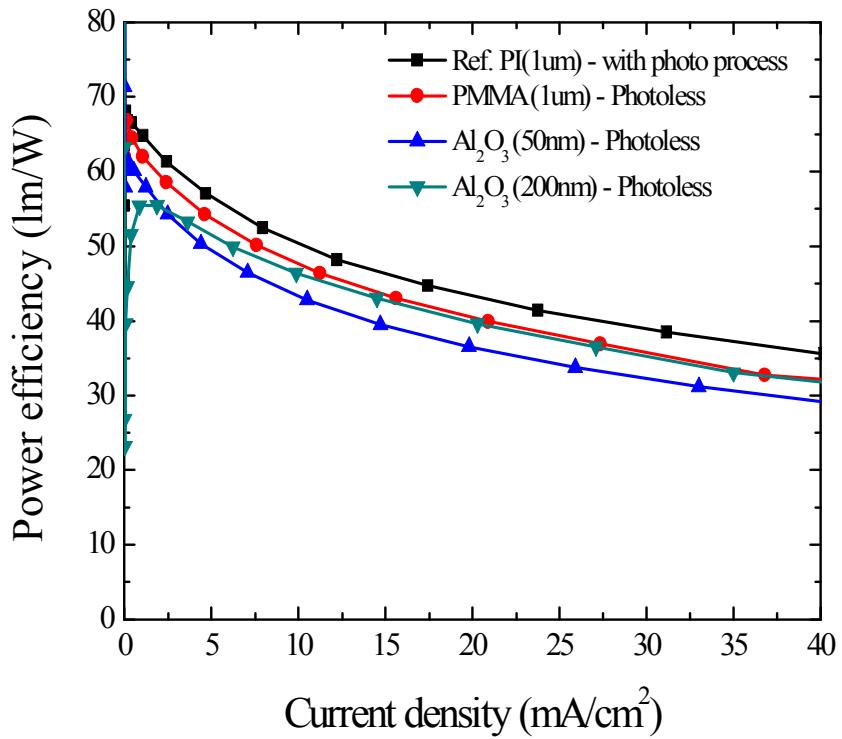


Fig. 33. Photo Process를 적용한 소자와 절연막에 따른 Photoless를 적용한 소자의 전류밀도-전력효율 특성

4.3.4 OLED 소자의 누설 전류 특성

Fig. 34는 photolithography 공정에 의해 제조된 Ref. 소자와 photoless 공정 중 절연체 재료와 두께로 변화시켜 제조된 소자의 누설전류를 측정한 결과를 나타낸 것이다. 그럼에서 보여주는 것처럼 photolithography 공정에 의해 제조된 Ref. 소자의 경우에는 -10 V에서 0.01 mA/cm²가 나타났다. -5 V에서는 4.4×10^{-4} mA/cm²로 가장 낮게 나타났으나 photoless 공정 중 PMMA를 절연체로 사용한 소자에서는 -10 V와 -5 V에서 각각 0.1과 8×10^{-3} mA/cm²로 나타났으며 200 nm 두께의 Al₂O₃ 절연체 재료로 사용하여 제조된 소자에서는 0.8과 0.07 mA/cm²이고 50nm의 Al₂O₃ 절연체로 사용한 소자에서는 6과 0.95 mA/cm²로 나타났다. photoless 공정과 절연체 재료의 두께가 얇게 증착된 소자에서 누설전류가 크게 나타났다. 특히 Al₂O₃를 절연막으로 사용한 경우는 shadow metal mask로 ITO 패터닝 후 절연막이 증착되기 때문에 스텝 커버리지 부분에서 누설전류가 생기는 것으로 사료된다.

Table 12. 전압에 따른 누설전류 특성

	Photo Process PI(1μm)	Photoless PMMA(1μm)	Photoless Al ₂ O ₃ (50nm)	Photoless Al ₂ O ₃ (200n)
Operating Voltage (V)	-5	-5	-5	-5
Leakage Current (mA/cm ²)	4.40×10^{-4}	8×10^{-3}	0.95	0.07

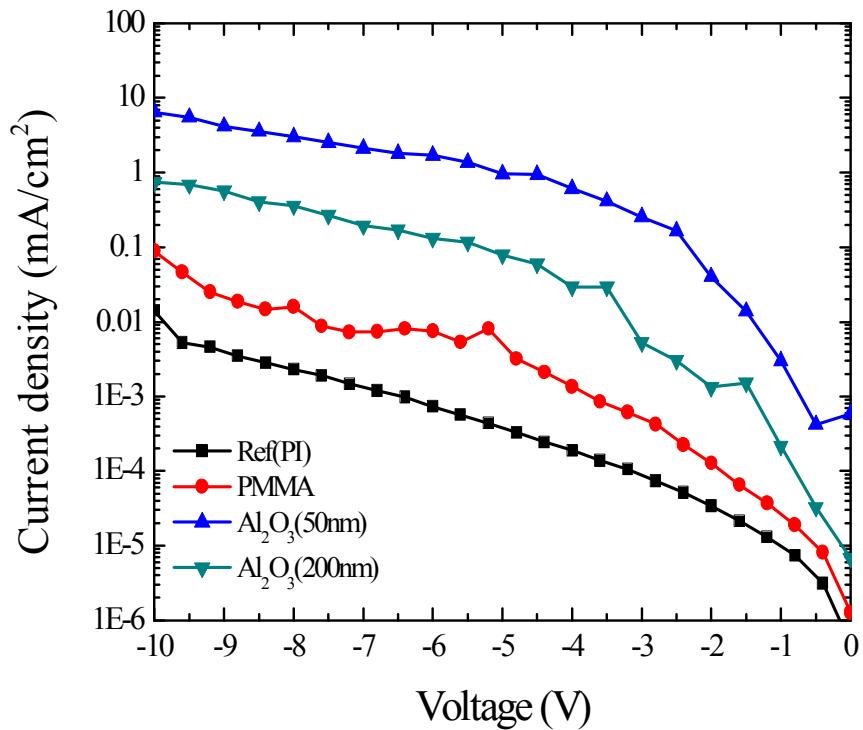


Fig. 34. Photo Process를 적용한 소자와 절연막에 따른 Photoless를 적용한 소자의 전압-누설전류 특성

4.3.4 OLED 소자의 수명 특성

Fig. 35는 photolithography 공정에 의해 제조된 Ref. 소자의 photoless 공정 중 PMMA 와 Al_2O_3 절연체를 사용하여 제조된 소자의 수명 특성을 평가한 결과를 나타낸 것이다. 소자수명 특성은 $3000 \text{ cd}/\text{m}^2$ 기준으로 가속수명을 측정하였다. 400 시간에서는 Ref. 소자의 수명은 92 %, photoless 공정과 PMMA 절연막을 사용한 소자에서는 91 % 50nm 두께의 Al_2O_3 절연막을 사용한 소자에서는 76 %를 나타내었다. 또한 가속 수명 테스트에서 $3000 \text{ cd}/\text{m}^2$ 를 적용했을 때 input 전류값을 Ref. 소자의 경우는 0.16 mA가 나타났고 PMMA 절연막을 사용한 소자에서는 0.17 mA이고 Al_2O_3 절연막을 사용한 소자에서 0.25mA로 가장 높은 값을 나타내었다. 따라서 Ref. 소자와 비교해서 photoless 공정 중 PMMA 절연막으로 사용한 소자가 가장 안정적인 결과를 나타내었다.

Table 13. 가속 수명 테스트 경우 소자에 적용 된 Input 전류 값

Life Time Test	
PI - Photolithography	0.16 mA - $3000 \text{ cd}/\text{m}^2$
PMMA - Photoless	0.17 mA - $3000 \text{ cd}/\text{m}^2$
Al_2O_3 - Photoless	0.25 mA - $3000 \text{ cd}/\text{m}^2$

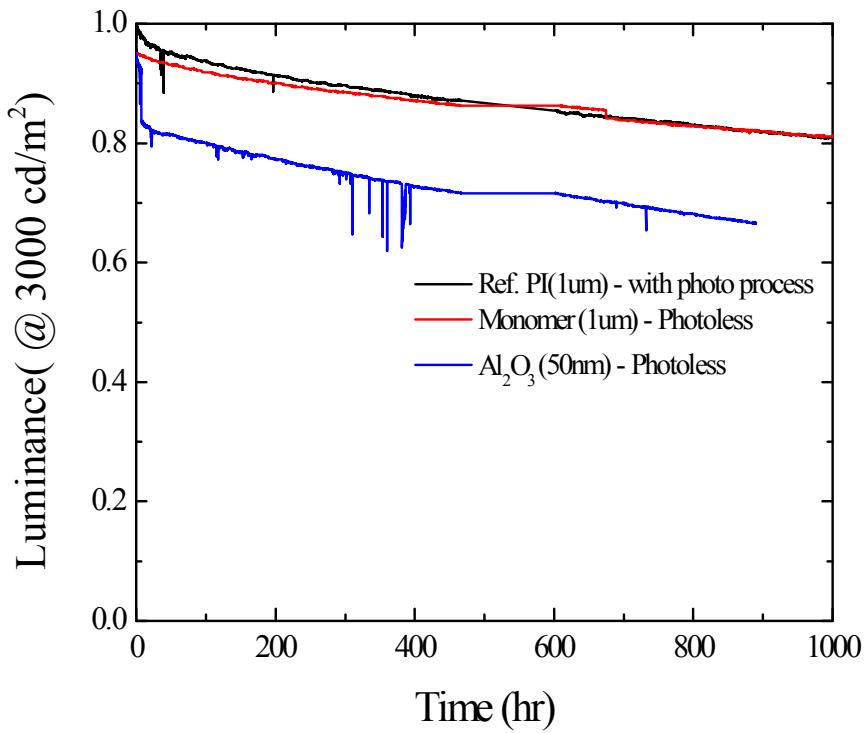


Fig. 35. Photo Process를 적용한 소자와 절연막에 따른 Photoless를 적용한 소자의 수명 결과

제 5장 결론

차세대 OLED 조명은 점이나 선 광원 뿐만 아니라 넓은 면적의 패널조명도 구현이 가능해 두께 2~3mm의 초 슬림 제품도 제작할 수 있고 눈부심도 거의 없어 은은한 빛이 필요한 실내조명에 적합하며, 또한 구부릴 수 있는 플렉시블 특성으로 인해 다양한 디자인이 가능하다. 하지만 무엇보다도 조용용 OLED 제품은 가격 경쟁력 측면에서 디스플레이용에 비해 상당한 압박을 받으며 기존 시장에 진출하게 되는 분야로 기존의 다른 조명 제품에 대한 가격 경쟁력을 확보하여야만 시장 진입이 가능할 것이다.

OLED 소자 제작 과정 중 Backplane 공정은 투명전극, 보조전극, 절연막을 포함하고 있으며 patterning을 위해 모든 것이 photolithography 공정으로 이루어지고 있어 공정 단가를 높이는 주요한 요인으로 작용하고 있다. 따라서 이번 연구는 photoless 공정을 통하여 ITO 박막 패턴 형성과 표면처리를 통하여 특성을 평가 하였다. 절연막 공정은 고분자인 PMMA와 무기막인 Al_2O_3 를 Full photoless 공정을 통하여 OLED backplane 을 제작하였다. 이 후 동일한 인광그린 소자를 제작하여 I-V-L 특성 및 누설전류, 수명 측정으로 특성평가 하였다.

ITO 박막 증착 후 열처리를 통하여 면저항 감소 ($29.66 \Omega/\square \rightarrow 12.50 \Omega/\square$) 되었고, O_2 plasma 처리 후 박막 거칠기 감소(R_{pv} 기준 $22.512 \text{ nm} \rightarrow 3.877 \text{ nm}$)를 확인하였다.

소자 특성에서는 Photoless 공정을 통한 소자 중 PMMA 절연막을 이용한 sample 이 Ref. 대비 가장 유사한 I-V-L 특성과 누설전류 그리고 오랜 수명시간을 보여주었다. 반면 Al_2O_3 절연막을 이용한 sample은 박막 두께의 증가에 따라 I-V-L 특성이나 누설 전류 특성이 좋아짐을 확인 할 수 있었다. 각 절연막에 따라 소자 특성 차이가 나는 다른 이유는 누설전류에서의 손실 값이 소자의 휘도, 전류밀도, 전력효율 등에 영향을 미쳤다고 볼 수 있다. 이에 따라 누설 전류의 제어가 OLED 소자 특성에서 매우 중요한 요인을 차지함을 알 수 있었다.

이번 실험의 결과를 토대로 소자의 누설전류 값을 최대한 줄인다면 대면적 OLED 조명 패널 제작할 경우 photoless 공정으로 인한 시간의 최소화, 초기투자 및 제품의 원가 감소 등으로 인해 충분히 OLED 조명 시장에서의 가격 경쟁력을 가질 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 문대규, "OLED 조명과 시장전망", 특별 기고문, 전자정보센터 전자부품연구원 (2006)
- [2] J.kido "유기 EL" 광문각 (2004)
- [3] M. A. Lampert nad P. Mark : Current injection in Solids, Academic Press. Inc. 1970
- [4] M. Popo and C. E. Swenberg, Electronic Processes in Organic Crystals and Polymer, Oxford Science Publications 1999
- [5] E. A. Silinsh, Organic Molecular Crystals, Springer-Verlag 1980
- [6] H.I Guo, X.P. Zhao, Poticla materials, 26, 297(2004)
- [7] S.Jahromi, Macromol.Chem. Phys., 200, 2230(1999)
- [8] P.S Vicett, W.A Barlow, R.A Hann, G.G. Roberts, Thin Solid Films 94, (1982). pp171~183
- [9] G. Gustafasson, Y.Cao, G.M. Treacy, F.Klavetter, N.F. Colaneri, and A.J.Heeger, Nature 357, (1992), pp477~479
- [10] 유기 EL의 이야기, 일간 공업 신문사(2003)
- [11] R. H. Friend, R. W. Gymer, A. B. Holmes, J. H. Burroughes, R. N. Marks, C. Taliani, D. D. C. Bradley, D. A. Dos Santos, J. L. Bredas, M. Logldund and W. R. Salane다, Nature 397, 121, 1999.
- [12] Kide, M. Kimura, K. Nagai, "Mutilayer White Light-Emitting Organic Electroluminescence Device", Science 267, 1332(1995)
- [13] J. R. Sheats, H. Antoniadis, M. Hueschen, W. Leonard and A. Stocking, Science, 273, 884, 1996.
- [14] Jeffrey P. Spindler and Tukaram K. Hatwar, "Development of Tandem White Architecture for Large-Size AMOLED Displays with Wide Color Gamut", SID07 Digest, 89, 2007
- [15] Y.Shirota, T. Kobata, N. Noma, Chem. Lett., 1145(1989)
- [16] Y. L. Kim, S. H. Hwang, Chem. Lett., 35, 120(2006)
- [17] J. Li, C. Ma J. Tang, C. S. Lee, S. Lee, Chem. Mater., 17, 615(2005)
- [18] K. Goushi, Y. Kawamura, H. Sasabe and C. Adachi, Jpn. J. Appl. Phys., 43,

L937, 2004.

- [19] C. Adachi, M. A. B[이] and S. R. Forrest, J. Appl. Phys., 87, 8049, 2000.
- [20] K.Goushi, Y. Kawamura, H Sasbe and C.Adachi, Jpn. J. Appl. phys., 43, 937, 2004
- [21] 김현우, 김원식, 박대희, 임기조 공저, 디스플레이 공학, 내하출판사, 2010
- [22] Zakya. H. Kafari et al, "Organic Electroluminiscence" Taylor&Francis (2005)
- [23] Burrows, P. E., Bulovic, V., Forrest, S. R., Sapochak, L. S., McCarty, D. M. and Thompson, M. E., "Reliability and Degradation of Organic Light Emitting Devices", Appl. phys. Lett., 65(23), 2922–2924 (1994)
- [24] Kim, H. K., M. S., Kang, J. W., Kim, J. J. and Yi, M. S., "High-Quality Thin-Film Passivation by Catalyzer-Enhanced Chemicla Vapor Deposition for Organic Light-Emitting Diodes," Appl. Phys. Lett., 90(1), 013502 (2007)
- [25] Kim, N., Potscavage, W. J., Domercq, Jr., B., Kiooelen, B. and Graham, S., "A Hybrid Encapsulation Method for ORganic Electronics", Appl. Phys. Lett., 94(16), 163308(2009)
- [26] W.R. Grove, Philos Trans. R. Soc. London, A142, (1852) p. 87
- [27] 이형직 외. 박막프로세서의 기초, 피어슨 에듀케이션 코리아 1992
- [28] B. Chapman, "Glow Discharge Process", John Wiley & Sons, Inc., (1980) P.116.
- [29] J. E. Mahan, "Physical Vapor Deposition of Thin Films", John Wiely & Sons, Inc., Mew York, (2000) P. 163

감사의 글

학부기간동안 많은 부족함을 알았기에 그 큰 부족함을 채우기 위해 나노광소재연구실의 문을 두드리던 때가 엊그제 같은데 벌써 졸업이라는 것이 믿기지가 않습니다. 언제나 그렇듯 아쉬움이 많이 남지만 후회는 하지 않습니다. 처음 석사 생활을 시작하면서 생각했던 기대에는 미치지 못하지만 저 스스로 최선을 다했다고 생각하고, 2년이라는 시간동안 많은 것을 얻었기 때문입니다. 지금까지 배운 것을 바탕으로 더 나은 사람이 되기 위해서 노력할 것입니다. 그동안 부족한 저를 아껴주시고 감싸주신 많은 분들의 감사함을 이 글로써 조금이나마 보답하였으면 합니다.

본 논문이 완성되기까지 부족한 저를 항상 지도해주신 신 동찬 교수님께 진심으로 머리 숙여 감사드립니다. 앞으로 어디 가서든 교수님의 가르침을 잊지 않고 부끄럽지 않은 제자가 되겠습니다. 또한 바쁘신 와중에도 심사를 맡아주신 박진성 교수님과 강현철 교수님께도 깊은 감사를 드립니다. 그리고 항상 학생의 입장에서 생각해주시고 많은 도움주시는 오용택 교수님께도 감사인사를 드립니다.

2년이라는 학생연구원 생활 내내 바쁜 시간을 쪼개 많은 실험 지도와 인생에 조언을 해주시는 한국생산기술연구원에 최범호 박사님, 이종호 박사님, 김영백 박사님께도 감사인사 드립니다. 박사님들 덕분에 이곳에서 정말 많은 배움과 추억을 가지고 갑니다. 나노광소재실험실의 자랑으로 항상 따끔한 충고와 따뜻한 위로를 준 제 카리스마 세연누나, 멘토 효균이형, 든든한 버팀목 석의형, 척척박사 건웅이형 너무 고맙습니다. 부족한 선배를 묵묵히 따라와 준 이쁜 후배들 보~라, 유리, 수연이 너무 고맙고, 학교를 자주 가지 못해 부탁만 해서 미안한 내 동기들 신영이, 병곤이, 주현이 너무 고맙다. 니들 도움이 없었으면 대학원 생활 무사히 마무리 하지 못했을 거야. 또한 2년이라는 생기원 생활을 알차게 보낼 수 있게 해준 영모형, 준민이형, 철영이형, 혼택씨, 동찬씨, 측정의 신 영웅이형, 상남자 베프 무열이, 똑똑이 혜진이, 오리진 신 도현이에게 큰 고마움을 전합니다. 그 외에도 이곳에서의 실험에 도움을 주신 분들께 감사드립니다.

마지막으로 언제나 같은 자리에 지키고 계시며 물심양면으로 지원해주시고, 사랑과 관심으로 보살펴주신 아버님, 어머님께 감사드립니다. 어떠한 말과 글로도 표현 할 수 없지만 부족하게나마 결실을 맺은 이 논문을 바칩니다. 앞으로 다가올 새로운 시간이 두

렵고 떨리기도 하지만 자신감을 잃지 않고 긍정적으로 사회생활을 할 수 있도록 항상 노력하는 사람이 되겠습니다.