



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 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](#)

공 학 석 사 학 위 논 문

용액공정으로 제작한 투명 유기 발광 다이오드



2019년 2월

부경대학교 대학원

융합디스플레이공학과

이 동 진

공 학 석 사 학 위 논 문

용액공정으로 제작한 투명 유기 발광 다이오드

지도교수 김 용 현

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2019년 2월

부경대학교 대학원

융합디스플레이공학과

이 동 진

이동진의 공학석사 학위논문을 인준함.

2019년 2월 22일



위 원 장 이학박사 임 권 택 (인)

위 원 이학박사 정 연 태 (인)

위 원 이학박사 김 용 현 (인)

목 차

목차	i
표 목차	iii
그림 목차	iv
ABSTRACT.....	vi
제 I 장 서 론.....	1
제 II 장 이 론.....	2
제 1절 유기발광 다이오드 (OLED).....	2
1.1 유기발광 다이오드의 개념 및 종류.....	2
1.2 유기발광 다이오드의 구조 및 발광 원리.....	9
1.3 유기발광 다이오드의 구성요소.....	11
1.3.1 양극 (Anode).....	11
1.3.2 정공 수송층 (Hole transport layer).....	11
1.3.3 발광층 (Emissive layer).....	12
1.3.4 전자 수송층 (Electron transport layer).....	12
1.3.5 음극 (Cathode).....	13
제 2절 디스플레이용 유기발광 다이오드.....	14
2.1 디스플레이용 유기발광 다이오드의 개념 및 특성.....	14
2.2 디스플레이용 유기발광 다이오드의 응용 분야.....	16
제 3절 조명용 유기발광 다이오드.....	18
3.1 조명용 유기발광 다이오드의 개념 및 특성.....	18
3.2 조명용 유기발광 다이오드의 응용 분야.....	20
제 4절 광 추출 (Light extraction).....	21
4.1 광 추출의 개념 및 필요성.....	21
4.2 외부 광 추출 구조.....	23
4.3 내부 광 추출 구조.....	25

제 III장 실험	27
제 1절 n-type소자 제작	27
1.1 용액공정으로 제작한 n-type 소자	27
제 2절 p-type소자 제작	29
2.1 PDMS (Polydimethylsiloxane)의 정의	29
2.2 PDMS를 활용한 플렉시블한 기판 제작	30
2.3 PEDOT:PSS전극을 활용한 p-type 소자 제작	32
제 3절 양면발광이 가능한 유기발광 다이오드제작	35
3.1 n-type 소자와 p-type 소자의 접착으로 제작한 OLED	35
제 IV장 결과 및 고찰	36
제 1절 투명한 유기발광 다이오드의 특성	36
1.1 투명한 유기발광 다이오드의 전압-전류, 전압-휘도 특성	36
1.2 투명한 유기발광 다이오드의 효율 특성	39
제 V 장 결 론	44
제 VI 장 참고 문헌	45

표 목차

[표 1] PMOLED와 AMOLED의 장점 및 단점	5
[표 2] 저분자 유기 EL와 고분자 유기 EL	6
[표 3] 배면 발광방식과 전면 발광방식	7
[표 4] 형광(fluorescence)과 인광(phosphorescence)의 특성	8
[표 5] 발광 재료, 발광 방식, 발광 구조, 구동 방식에 따른 OLED의 특성 정리 · 8	
[표 6] OLED 조명과 LED조명의 비교	19
[표 7] PEDOT:PSS (PH1000)의 특성	33
[표 8] PEDOT:PSS (AI4083)의 특성	33
[표 9] ITO방향으로 측정한 유기발광 다이오드의 성능 (1)	41
[표 10] ITO방향으로 측정한 유기발광 다이오드의 성능 (2)	41
[표 11] PDMS방향으로 측정한 유기발광 다이오드의 성능 (1)	43
[표 12] PDMS방향으로 측정한 유기발광 다이오드의 성능 (2)	43

그림 목차

[그림 1] LCD와 OLED의 기본 구조	3
[그림 2] PMOLED와 AMOLED.....	4
[그림 3] 배면발광방식과 전면발광방식	7
[그림 4] OLED의 기본 구조.....	9
[그림 5] 유기발광 다이오드의 에너지 밴드 다이어그램.....	10
[그림 6] W-OLED와 RGB-OLED.....	14
[그림 7] OLED의 다양한 픽셀 구조.....	15
[그림 8] 디스플레이용 OLED의 다양한 응용.....	17
[그림 9] 조명용 유기발광 다이오드.....	20
[그림 10] OLED의 광 추출 모드.....	21
[그림 11] OLED의 외부 광 추출 구조.....	23
[그림 12] AMOLED 디스플레이 적용시 마이크로/나노 렌즈의 특성 비교.....	24
[그림 13] 고 굴절률 기판 + 외부 광 추출 구조.....	24
[그림 14] OLED의 내부 광 추출 구조.....	25
[그림 15] 다양한 내부 광 추출 기술.....	26
[그림 16] n-type 소자의 구조.....	27
[그림 17] n-type 소자의 제작 과정.....	28
[그림 18] PDMS의 구조식.....	29
[그림 19] PDMS의 재료:Silicone elastomer base와 Silicone elastomer.....	30
[그림 20] PDMS 기판의 유연성과 탄성.....	31
[그림 21] 플라즈마 처리 전 과 후의 PDMS표면 차이.....	31
[그림 22] p-type 소자의 구조.....	32
[그림 23] PEDOT:PSS의 구조식.....	32
[그림 24] p-type 소자의 제작과정.....	34
[그림 25] 핸드프레스기를 사용한 n-type과 p-type 소자 결합.....	35
[그림 26] OLED의 ITO방향 측정 전류-전압, 휘도-전압 곡선.....	37

[그림 27] OLED의 PDMS방향 측정 전류-전압, 휘도-전압 곡선.....	38
[그림 28] OLED의 ITO방향 측정 전력 효율 곡선.....	40
[그림 29] OLED의 PDMS방향 측정 전력 효율 곡선.....	42



The Transparent Organic Light Emitting Diode by All Solution Process

Dong Jin Lee

Department of Display Science and Engineering,
The Graduate School, Pukyong National University

Abstract

We develop the fully solution-processed transparent organic light-emitting diodes (OLEDs) where all organic layers are prepared by spin-coating method without any evaporation process. The fully solution-processed OLEDs consist of solution-processed electron transport layers and emissive layers as well as the laminated hole transport layer/top electrode. The solution-processed transparent OLEDs show a clear double side emission. This method provides readily processed devices where thermal evaporation, which is complicated and expensive process, is not required. We believe that the fully solution-processed transparent OLEDs investigated here can greatly contribute to the development of low-cost, solution-processed transparent OLEDs.

제 I 장 서 론

유기발광 다이오드(Organic Light Emitting Diode, OLED)의 상용화가 이루어지면서 평판 디스플레이 및 조명 분야에서 큰 주목을 받고 있다. 이에 따라 OLED의 광 추출 효율 및 수명 등 다양한 분야에서 OLED의 성능을 향상 시키고자하는 실험들이 진행되고 있다. 기존의 OLED는 대표적인 투명전극인 ITO전극을 사용하여 제작하였다. 하지만 ITO의 희소성으로 인한 가격 상승과 부러지기 쉬운 특성 때문에 현재는 ITO를 대체할 수 있는 투명전극의 개발도 빠르게 이루어지고 있다. 대체 투명전극의 개발과 더불어 양면발광이 가능한 OLED, 플렉시블(flexible)한 OLED 등의 개발도 동시에 이루어지고 있다. 본 연구에서는 용액공정만으로 제작한 양면발광이 가능한 유기발광 다이오드를 제작하였다. 유기물로 구성된 발광층은 수분에 취약하기 때문에 발광층위에 직접적으로 용액공정을 할 수 없었다. 따라서 본 연구에서는 glass / ITO / ETL / EML 의 n-type 소자와 PDMS / PEDOT / HTL 의 p-type소자를 각각 용액공정으로 제작하여 접착(lamination)시켜 소자를 완성 하였다. 양면발광이 가능한 구조를 만들기 위해 기존의 진공증착으로 제작한 불투명한 알루미늄 전극을 전도성 고분자인 투명한 PEDOT:PSS로 대체하므로 양쪽이 모두 투명한 유기발광 다이오드를 제작하였다.

제 II 장 이 론

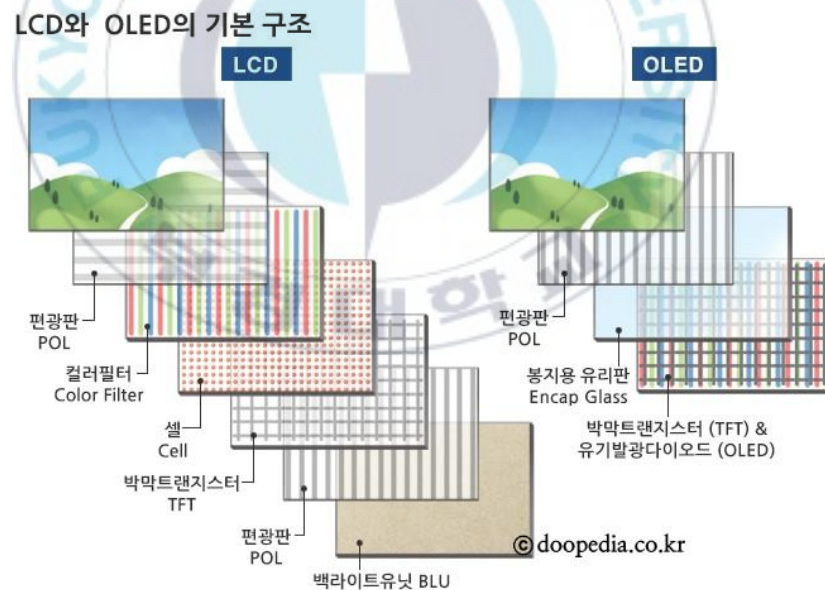
제 1절 유기발광 다이오드 (OLED)

1.1 유기발광 다이오드의 개념 및 종류

유기발광 다이오드(Organic Light Emitting Diode, OLED)는 형광성 유기 화합물에 전류가 흐르면 빛을 내는 전계발광현상을 이용하여 스스로 빛을 내는 자체발광형 유기물질을 말한다. 백라이트가 필요 없는 특징 때문에 제품의 두께를 더욱 얇게 만들 수 있으며, 특수 유리나 플라스틱을 이용해 구부리거나 휘 수 있는 디스플레이 기기도 제작할 수 있다. 화질 측면에서도 OLED는 기존 LCD(Liquid Crystal Display)에 비해 유리하다. 대표적인 것이 바로 명암비(contrast ratio)이다. 명암비란 화면상에서 가장 밝은 부분과 어두운 부분이 얼마나 잘 구분되는지를 나타내는 기준이다. 명암비가 높은 디스플레이 기기는 어두운 배경이나 야경 속에 묻힌 회색빛의, 혹은 크기가 작은 사물을 제대로 표현할 수 있지만, 명암비가 낮은 디스플레이 기기는 상대적으로 그러하지 못하다. LCD는 백라이트에서 전달되는 빛에 의존하여 화면을 구성하므로 각 소자 별로 밝기를 세밀하게 조정하기가 어렵다. 하지만 OLED는 각 소자 별로 자체 발광을 하며, 발광을 멈추는 것만으로 검은색을 명확하게 표현할 수 있으므로 LCD에서는 구현하기 어려운 높은 수준의 명암비를 발휘할 수 있다.

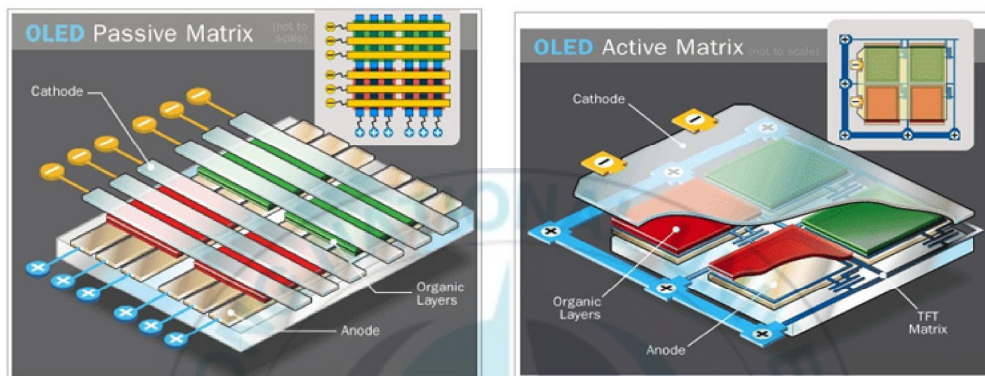
또한, 화면의 응답 속도 측면에서도 OLED가 유리하다. LCD의 경우 기본적으로 액정의 분자 배열을 변형시키는 과정을 거쳐 화면의 변화를 표현하므로, 움직임이 빠른 화면에서는 액정 분자의 변형 속도가 이를 따라가지 못하는 경우가 있다. 때문에 그 한계를 넘는 속도로 변화하는 화면에서는 잔상이 남기 마련이다. 하지만 OLED는 공급되는 전류의 변화에 따라 순간적으로 다른 빛을 내므로 응답 속도가 매우 빠르다. 따라서 이론적으로는 OLED방식의 디스플레이 기기에서 사람의 눈으로 잔상을 느끼는 것은 거의 불가능하다고 할 수 있다.

그 외에 OLED는 이론상 시야각이 완전한 180도에 이르기 때문에 LCD와 달리 상하, 혹은 좌우측 면에서 화면을 봐도 이미지의 윤곽이나 색상에 왜곡이 생기지 않는다는 장점도 있다.



[그림 1] LCD와 OLED의 기본 구조

OLED는 구동방식에 따라 수동형(Passive Matrix, PM)OLED와 능동형(Active Matrix, AM)OLED로 구분할 수 있다. 수동형(PMOLED)은 하나의 라인 전체가 한꺼번에 발광하여 구동하는 라인 구동방식인 데 비하여, 능동형(AMOLED)는 발광소자가 각각 구동하는 개별 구동방식이다.



자료: 특허청

[그림 2] PMOLED와 AMOLED

수동형(PMOLED)은 순간적으로 EL 소자를 높은 밝기로 발광시키므로 해상도가 높아짐에 따라 순간 발광 휘도가 높아야 하고, 짧은 시간 동안 소자를 동작시키므로 전력 소모가 크며 대면적화에 부적합하다. 반면, 능동형(AMOLED)은 유기 EL을 원하는 밝기에서 지속적으로 발광시키므로 낮은 전류로 구동이 가능하며 대면적화 고해상도 패널 제작이 가능하다. 하지만 능동형은 유기 EL 소자 하나에 한 개 이상의 트랜지스터를 사용하기 때문에 수동형에 비해 비용이 많이 들며 제조 공정 또한 복잡하다.[표 1]

	PMOLED	AMOLED
장점	- 제조 공정 단순 - 상대적으로 저비용	- RowLine 증가에 따른 휘도 저하X - 전력 소비 적음 - 고해상도 가능 - 대면적 구현 가능
단점	- 전력 소비 많음 - RowLine 증가에 따른 휘도 저하 - 전력소비 기준 대면적에 부적합	- 제조 공정 복잡 - 고비용

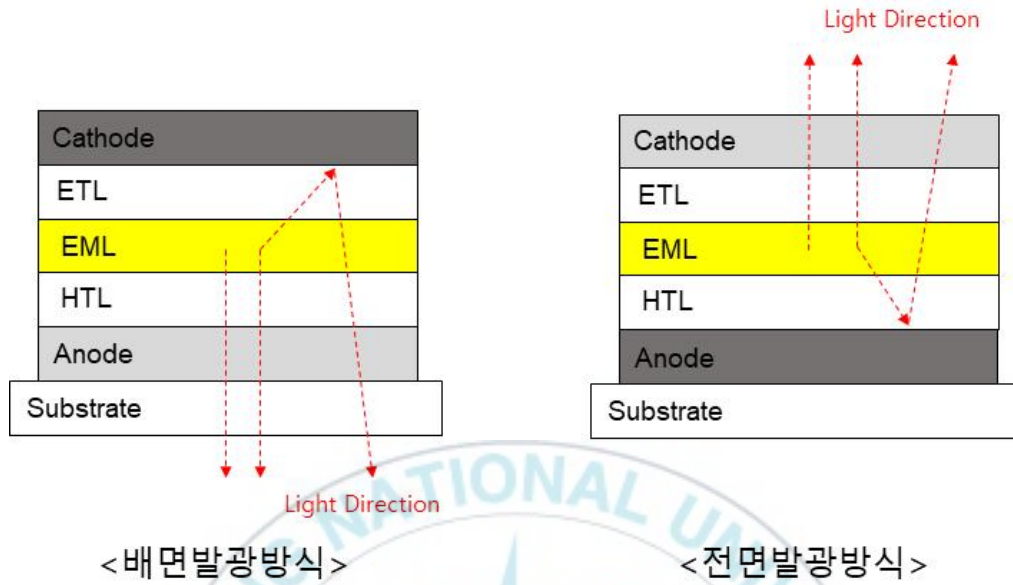
[표 1] PMOLED와 AMOLED의 장점 및 단점

OLED는 구동방식 뿐만 아니라 발광재료의 종류, 발광방식, 발광원리 등에 따라 다양하게 분류된다. 발광재료에 따라 저분자(small molecule) 및 고분자(polymer) OLED로 구분된다. 저분자형 OLED는 많이 알려진 재료를 사용하고 있어서 개발이 쉽고, 대량 생산이 가능하며 컬러 패터닝 공정 완성 단계까지 도달하였다. 하지만 박막증착으로 고르게 퍼지지 않고 가운데 부분이 더 증착되고 스퍼터링등으로 사용효율이 떨어지며, FMM(Fine Metal Mask)로 증착을 하다보니 대형화가 어렵다. 반면에 고분자형 OLED는 저분자형 보다 열적 안정성이 높으며, 기계적 강도가 우수하며, 자연색과 같은 색감을 나타낼 수 있다. 단점으로는 아직 재료의 신뢰성 확보가 미흡한 실정이다.[표 2]

	장점	단점
저분자	- 조기 양산 가능 - 증착법에 의한 전자동 생산 - 방식의 적용가능 - 재료정제가 용이	- 대화면 곤란 - 증착률 낮고 수분에 약함
고분자	- 고색상 가능 - 고가격의 진공장치 불필요 - 디바이스구조의 간단함 - 내실성이 뛰어나	- 재료 신뢰성 확보 미흡 - 재료 손실이 많음 - 잉크젯 방식의 경우 작은 노즐 막힘 현상 발생

[표 2] 저분자 유기 EL와 고분자 유기 EL

OLED는 발광방식에 따라 배면발광 구조와 전면발광 구조로 분류할 수 있다. 배면발광은 유기물 층에서 생성된 빛이 박막 트랜지스터(Thin Film Transistor, TFT)가 위치하고 있는 기판 아래로 향하지만 전면발광은 빛을 기판 위쪽 방향으로 내보낸다. 배면 발광 방식은 OLED 개발 초기에 등장한 방식으로 발광층에서 빛이 생성되어 나올 때 음극이 금속소재였기 때문에 빛이 통과될 수 없었지만 양극은 투명전극을 사용하여 빛이 통과될 수 있다. 빛의 일부는 투명한 양극을 통과하고 불투명하지만 반사율이 높은 음극에 의해 반사되어 양극을 통과할 수 있다. 그러나 스마트폰 같은 소형 디스플레이에 배면발광 OLED는 적합하지 않다. 그 이유는 TFT에 의해 개구율이 줄어들기 때문이다. 개구율이란 단위 화소 당 실제 빛을 낼 수 있는 면적을 말한다. 배면발광은 캐패시터(capacitor)나 TFT등에 의해 발광층에서 나온 빛을 가리는 경우가 생겨 개구율이 하락한다. 하지만 전면발광은 빛을 기판 위쪽 방향으로 내보내기 때문에 TFT 소자 수에 관계 없이 높은 개구율을 얻을 수 있다. 하지만 전면발광 방식은 빛이 통과하기 위해서는 음극이 투명해야 한다.[그림 3],[표 3]



[그림 3] 배면발광방식과 전면발광방식

	배면발광방식	전면발광방식
구조(음극)	투명 양극 / 반사 음극	반사 양극 / 반투명 음극
발광방향	TFT 쪽으로	TFT 반대 방향으로
개구율	낮음(<40%)	높음(40~70%)
적용	대형 디스플레이	중소형 디스플레이
장점	단순한 공정 및 구조	장수명, 고해상도
단점	낮은 소자특성 및 해상도	복잡한 공정 및 구조

[표 3] 배면발광방식과 전면발광방식

또, OLED는 발광원리에 따라 형광(fluorescence)과 인광(phosphorescence)으로 분류되며 아래 [표 4]와 같은 특징을 각각 가진다.

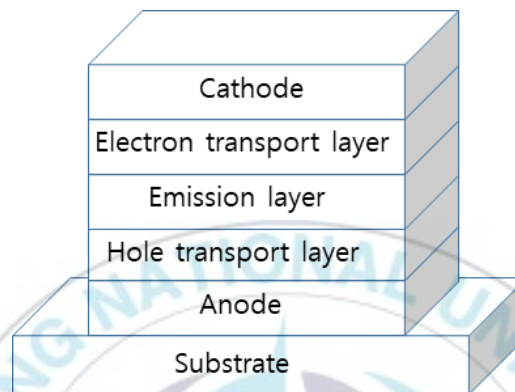
구분	특성
형광	- 효율 향상에 제한 - 수명이 상대적으로 우수 - 적색 발광 소자의 개발이 미진함 - 현재 양산에 주로 이용되고 있음
인광	- 고효율의 OLED 제작 가능 - 수명이 상대적으로 짧음 - 청색 소자의 개발이 미진함

[표 4] 형광(fluorescence)과 인광(phosphorescence)의 특성

구분방법	구분	특성
발광 재료	저분자	분자량이 작은 유기물 진공증착 방식으로 제작 수명특성이 상대적으로 우수
	고분자	분자량이 큰 유기물 스핀코팅 또는 잉크젯 프린팅으로 제작
발광 방식	형광	최고 외부효율이 약 5%로 효율 향상에 제한 수명특성이 상대적으로 우수
	인광	최고 외부효율이 약 20%로 고효율의 OLED 제작 가능
발광 구조	전면발광	유기층의 빛을 기판을 통과하지 않고 위로 발광
	배면발광	유기층에서 발광된 빛이 기판을 통과
구동 방식	수동형(PM)	양극배선과 음극배선을 교차배열
	능동형(AM)	각 화소 마다 TFT(Thin Film Transistor) 형성

[표 5] 발광 재료, 발광 방식, 발광 구조, 구동 방식에 따른 OLED 특성 정리

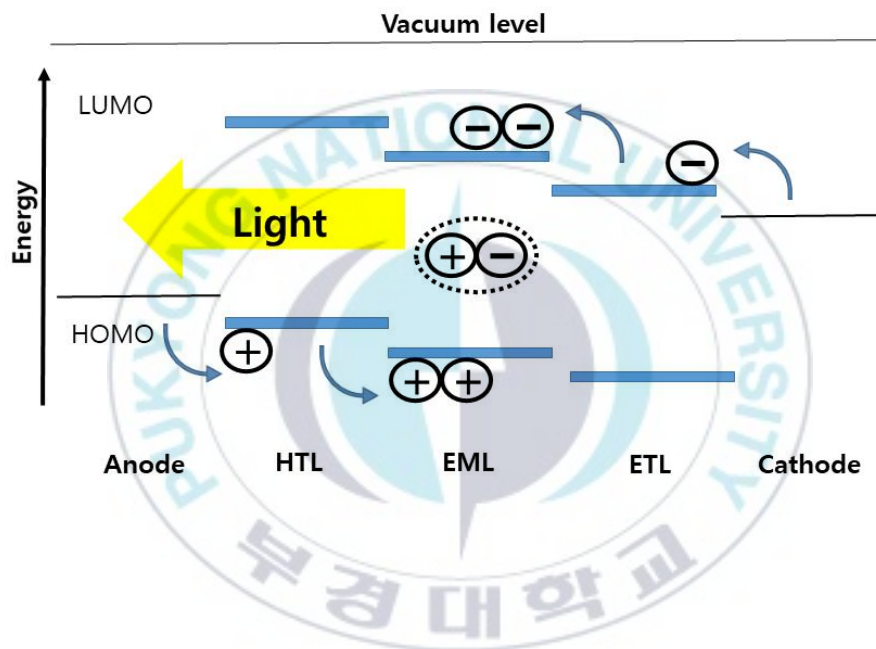
1.2 유기발광 다이오드의 구조 및 발광 원리



[그림 4] OLED의 기본 구조

OLED의 구조를 살펴보면 [그림 4]와 같이 양극(Anode), 정공 수송층(Hole transport layer, HTL), 발광층(Emissive layer, EML), 전자 수송층(Electron transport layer, ETL), 음극(Cathode)으로 구성된다. 양극(Anode)으로 주입된 정공이 발광층까지 효과적으로 전달하게 하는 정공 수송층(Hole transport layer, HTL), 전달된 정공과 전자가 만나 빛을 내는 발광층(Emissive layer, EML), 음극(Cathode)으로부터 전자의 주입과 전달을 원활하게 하는 전자 수송층(Electron transport layer, ETL)과 전자를 주입하는 음극(Cathode) 등 각 기능별로 최적화된 소재들을 적층하는 다층 박막구조를 사용한다. 두 전극사이에 전압이 인가되면 정공이 양극으로부터, 전자는 음극으로부터 주입이 되고 각각의 주입층, 수송층에 의해 발광층까지 도달한다. 이동 캐리어(carrier)는 발광층 내에서 만나 재결합하여 여기자(exciton)를 형성한다. 여기자(exciton)의 발광재결합에 의해 빛을 얻

게 되고 기저상태(ground state)가 된다. 이때, 발광층은 여기자의 에너지 즉, HOMO-LUMO 사이의 에너지 차에 의해 색 스펙트럼이 결정되는 것으로 이는 발광층 형성재료에 따라 색이 결정된다.[그림 5] 그리고 생성된 빛은 외부로 방출이 되는데 이때, OLED의 수직구조에서 빛이 방출이 되기 위해서는 디스플레이의 박막이 투명해야하고 또, 소자가 작동하기 위해서는 전도성을 가지고 있는 투명전극이 필요하다.



[그림 5] 유기발광 다이오드의 에너지 밴드 다이어그램

1.3 유기발광 다이오드의 구성요소

1.3.1 양극 (Anode)

양극(Anode)은 전기 기기에서 전류가 흘러 들어가는 전극을 뜻한다. 전하 운반자가 전자인 경우, 전자의 전하가 음이므로 전자가 기기로부터 흘러나오는 전극이 양극이 된다. 이때 전자는 흘러나오지만 전류의 방향에 대한 관례상 전류가 기기로 흘러 들어간다고 말한다. OLED소자에서 양극(Anode)의 역할은 정공을 정공 주입층 및 정공 수송층에 주입해준다. 일반적으로 양극의 재료로는 ITO가 사용되고 있다. ITO는 표면 저항이 낮고, 광 투과율이 높기 때문에 상용화되어 있다. 산화인듐(In_2O_3)은 도전성을 가지고 있으나, 이것에 산화주석(SnO_2)을 수~10%첨가하여 더욱 더 도전성을 높인 것을 말한다. ITO를 스퍼터링 타겟(Sputtering Target)으로 가공하여, 글래스판에 스퍼터링을 하면, 투명한 도전막을 얻을 수 있다. 또는 ITO를 용해하여 유리기판에 스프레이를 하거나, 유리기판을 용액에 침적시키는 방법으로 투명한 전극막을 얻을 수 있다.

1.3.2 정공 수송층 (Hole transport layer)

정공 수송층(Hole transport layer)은 양극으로부터 주입된 정공을 발광층(Emission layer)으로 효율적으로 주입하는 역할을 한다. 그리고 양극(Anode)과 유기층 사이의 계면 접착을 향상시키며 전자 차단층(electron blocking layer)의 역할로서 소자의 수명 향상에도 영향을 준다. 정공 수송층(Hole transport layer)에 사용되는 물질은 외부 양자효율을 높이기 위해

서 가시광 영역에서의 흡수를 최소화 시키는 물질을 사용함이 바람직하다. 그리고 정공 이동도가 높아야하며 전자를 발광층에 속박하여 여기자(exciton)가 형성 될 확률을 높여 주어야한다. 현재 정공 수송층의 재료로는 PEDOT이 가장 많이 알려져 있다.

1.3.3 발광층 (Emission layer)

발광층을 구성하고 있는 유기물질이 어떤 것이냐에 따라 빛의 색깔은 달라지며, R,G,B를 내는 각각의 유기물질을 이용하여 Full Color를 구현 할 수 있다. 단순히 픽셀(pixel)을 열고 닫는 기능을 하는 LCD와는 달리 직접 발광하는 유기물을 이용한다.

발광 메커니즘에 따라 형광재료 또는 인광재료로 구분한다. 호스트 물질과 도펀트 물질을 혼합하여 호스트에서 도펀트로 에너지 전이를 통해 발광하는 호스트-도펀트 시스템(host-dopant system)의 물질을 사용한다.

1.3.4 전자 수송층 (Electron transport layer)

전자 수송층(Electron transport layer)은 음극(Cathode)으로부터 주입된 전자를 발광층(Emission layer)까지 효율적으로 전달하는 역할을 한다. 그 외에도 음극(Cathode)으로 정공이 주입되지 않도록 정공 차단층(Hole blocking layer)의 역할도 한다. 전자 수송층의 재료로는 음극으로부터 전자가 쉽게 주입되도록 해주는 전자 친화력이 좋은 물질이 바람직하다. 일반적으로 Alq₃, Gaq₃, TPBi, Bphen, BCP 등이 사용되고 있다.

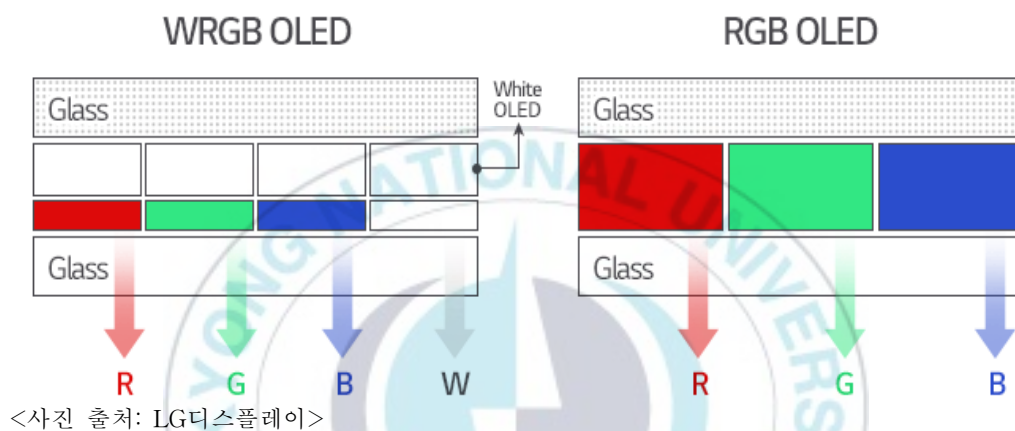
1.3.5 음극 (Cathode)

음극(Cathode)은 전자를 유기 박막층에 쉽게 주입하기 위해 일함수가 낮은 물질이 적합하다. 일함수가 낮은 금속으로는 Li(2.9eV), Ca(2.9eV), Mg(3.7eV) 등이 주로 사용된다. 음극은 일반적으로 Ca/Al, Li:Al, Mg:Al 등의 더블 레이어(double layer) 구조나 LiF/Al CsF/Al, BaF₂/Al, LiF/Ca/Al 등의 절연체/금속의 구조를 사용하여 제작한다.



제 2절 디스플레이용 유기발광 다이오드

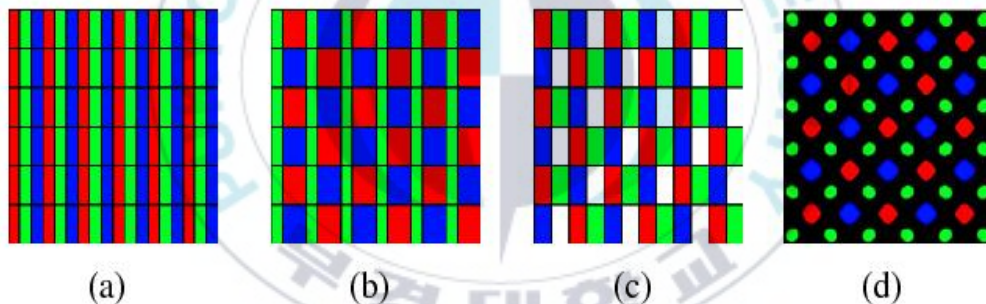
2.1 디스플레이용 유기발광 다이오드의 개념 및 특성



[그림 6] W-OLED와 RGB-OLED

디스플레이용 유기발광 다이오드는 소형의 디스플레이기기부터 중대형의 디스플레이기기까지 다양한 디스플레이에 적용된 것을 의미한다. 현재 쓰이는 OLED 디스플레이는 대부분 AMOLED 발광 방식을 이용한다는 점에선 거의 같지만, 소자의 배열 구조에 따라 몇 가지 형식으로 구별되기도 한다. 가장 많이 쓰이는 방식은 3원색(적색, 녹색, 청색)의 OLED 소자를 일정한 간격으로 패넬에 수평 배치한 RGB 방식 OLED(RGB-OLED)이다. 이는 3원색의 OLED 소자가 각기 다른 색을 내면서 하나의 픽셀을 구성한다. 또 하나는 백색으로 발광하는 OLED 소자를 이용해 하나의 픽셀을 구성한 뒤, 여기에 3원색을 투과하는 컬러 필터를 씌워 다양한 색상을 구현

하는 White OLED(W-OLED) 방식이다. RGB-OLED는 컬러 필터를 투과하지 않고 화면을 구성하므로 색 재현성과 휘도면에서 좀 더 유리하다. 반면, W-OLED는 좀 더 안정적으로 대량 생산이 가능하다는 생산 수율에서 이점을 가진다.[그림 6] 이 때문에 RGB-OLED는 주로 스마트폰과 같은 작은 화면의 제품에, W-OLED는 TV와 같이 큰 화면의 제품에 주로 쓰인다. 그 외에 RGB-OLED 방식의 생산 수율을 높이기 위해 하나의 픽셀이 인접 픽셀과 일부 색상의 OLED 소자를 공유해 컬러를 구현하는 펜타일(Pentile) 기술이 적용되기도 하며, W-OLED 경우, 3원색 외에 백색을 픽셀을 추가해 화질을 개선하는 WRGB 방식을 도입하기도 하는 등, 각자의 단점을 보완하기 위한 시도도 이루어지고 있다.[그림 7]



[그림 7] OLED의 다양한 픽셀 구조: (a) RGB stripe, (b) Pentile RGBG, (c) Pentile RGBW, (d) diamond-shaped Pentile matrix.

가까운 미래에 OLED는 LCD를 대체해 차세대 디스플레이 시장의 주류가 될 것으로 예측되고 있다. 다만 LCD도 본래 가지고 있던 단점(명암비, 시야각, 응답 속도 등)을 개선한 신제품들이 계속 개발 중이며, 비교적 쉽고 저렴하게 큰 화면을 구현할 수 있다는 점에서는 여전히 우위에 있다.

2.2 디스플레이용 유기발광 다이오드의 응용 분야

초기의 디스플레이용 유기발광 다이오드는 이동전화 단말기나 PDA 등의 휴대정보기기 분야와 디지털 카메라, 캠코더, 휴대용 게임기, 카오디오 및 네비게이션 등 패널 사이즈가 작은 소형 디스플레이기기에 적용되었다. 효율, 수명 등에서 진전이 이루어져 왔고 경쟁 기술인 LCD에 비해 고해상도, 칼라화 등에서 상대적으로 우월한 것으로 나타나, 소형, 저전력, 저가격을 특징으로 하는 휴대형 디스플레이의 대명사로 등장했다. 디스플레이용 유기발광 다이오드는 노트북 PC와 모니터, TV등의 중대형 디스플레이 분야에서도 많이 적용된다. 초기에는 퍼스널 TV, 노트북 PC, 모니터 등 PC용 디스플레이 시장에서, 이후에는 벽걸이 TV와 대형 광고판 등 대형 디스플레이 시장에서도 유기발광 다이오드의 쓰임이 더욱 커지고 있다. 유기발광 다이오드는 화질의 반응속도가 TFT-LCD에 비해 1,000배 이상 빠르고 두께와 무게도 LCD보다 3분의1로 줄일 수 있어 차세대 평판 디스플레이로서의 쓰임과 응용이 더욱 더 커질 것이다. 앞으로는 휘어지거나 구부릴 수 있는 중소형의 디스플레이기기를 비롯해 투명한 자동차 전면 유리에 운전자에게 운행정보를 알려주는 디스플레이를 접합시킨 HUD(Head Up Display)의 상용화가 이루어질 것이며 가정에서 사용하는 창문이 대형 디스플레이의 기능을 할 수 있는 제품 등 유기발광 다이오드를 활용한 많은 디스플레이들이 개발될 것이다.



<출처: 삼성디스플레이, ROYOLE, Audi>

삼성디스플레이의 유기발광다이오드(OLED)를 탑재한 아우디의 범용형 익스테리어 미러 / 사진제공-아우디

[그림 8] 디스플레이용 OLED의 다양한 응용

제 3절 조명용 유기발광 다이오드

3.1 조명용 유기발광 다이오드의 개념 및 특성

조명용 유기발광 다이오드는 기존의 형광등, 백열등 등의 진공상태 조명이 아닌 반도체를 이용한 조명을 통칭한다. OLED 조명은 OLED를 이용한 조명기구(OELD모듈과 방열 및 광학 기구로 구성) 및 시스템(전원장치, 구동회로, S/W 및 시스템 제어)을 의미한다. 백열등, 형광등에 비해 뛰어난 에너지 효율과 오랜 수명, 안전성으로 각광받고 있는 LED 조명에 대적할 OLED조명은 탄소가 주성분인 유기화합물에 전기를 흘려 스스로 빛을 낸다. 현존하는 조명 중 유일한 면(surface) 형태의 광원으로 자연광에 가장 가까운 빛의 스펙트럼을 지니고 있다. 인공조명의 궁극적 목표는 다른 아닌 자연광이라 할 수 있다. 자연광과 비슷하다는 의미는 오랜 시간 조명을 사용해도 눈의 피로가 덜하고 직접 쳐다봐도 눈부심이 적다는 뜻이다. 이는 사람을 정서적으로 편안하게 만든다. 또한 발열이 적어 오래 켜둔 상태에서 손으로 만져도 상해를 입지 않으며, 자외선(UV)과 중금속도 전혀 발생하지 않는다. 특히 LED조명과 달리 눈의 망막을 손상시키거나 시력을 악화시키는 청색광의 위험이 없어 안전성을 더욱 확보하는 등 기존 소재와 분명히 차별화되는 많은 장점이 있다. 다만 한 가지 걸림돌이 있다면 바로 가격 경쟁력이다. 그러나 기술의 개발과 양산으로 가격은 점차 낮아지고 시장의 판도가 서서히 변함에 따라 이러한 문제를 해결하고 앞으로 일반 주거, 상업 공간에서도 이상적이지 일상적인 조명으로 자리 잡을 수 있을 것이다.

OLED 조명의 가장 큰 특징으로 꼽을 수 있는 2가지는 얇고 가볍다는 것과 유연하게 휘는 성질이다. OLED의 두께는 LED의 10분의1, 무게는 5분의 1 수준이다. 또한 플렉시블 형태로 디자인의 자유는 무궁무진하게 커졌다. 현재 벤더블(bendable) OLED 패널은 얇은 유리기판을 기반으로 지름 75mm의 제한적인 곡률 반경을 구현한 상태인데, 최근 LG화학에서 개발한 플라스틱 기반의 신규 OLED 패널은 곡률 반경을 30mm까지 늘렸으며 강한 힘을 가해도 패널이 손상될 위험이 없다. 그리고 OLED는 물질 자체가 빛을 내는 면광원이기 때문에 빛을 내기 위한 다른 부품이 필요하지 않아 보다 쉽고 간편하게 조명을 제작하고 설치할 수 있는 장점이 있다.

	OLED조명	LED조명
광원 형태	면 또는 선	점
유연성	쉽게 구부릴 수 있음	구부리기 어려움
광효율	90 lm/W	120~130 lm/W
수명	4만시간	5만시간
기타 특성	생산단가 상대적으로 높음 피로도 상대적으로 낮음	생산단가 상대적으로 낮음 피로도 상대적으로 높음

<출처: LG디스플레이>

[표 6] OLED 조명과 LED 조명의 비교

3.2조명용 유기발광 다이오드의 응용분야

조명용 유기발광 다이오드는 기존의 광원에 비해 에너지 효율이 높고, 수은 등의 유해물질을 포함하지 않아 차세대 조명으로 각광 받고 있다. 두께가 얇은 고체 평면 광원으로서, 대면적 조명에 완전히 새로운 응용 분야를 개척할 것으로 기대된다. 색깔 조절이 가능한 조명 시스템에도 응용이 가능하며 가정 내에서 조명의 분위기 변화를 요구하는 소비자의 니즈(needs)에도 부합한다. 향후 구부러지는 기관 위에서도 제작이 가능할 것이므로 다양한 형태의 평면 조명에도 응용이 가능할 것이다.[그림 9] 그 외 유기발광 다이오드는 LCD용 backlight, LCD projector 등의 백색 면광원으로도 활용이 가능할 것이다.



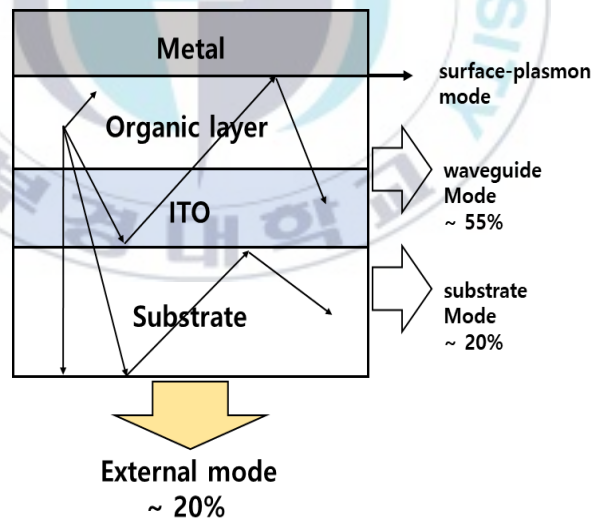
<출처: LG화학>

[그림 9] 조명용 유기발광 다이오드

제 4절 광 추출 (Light extraction)

4.1 광 추출의 개념 및 필요성

기존의 OLED는 내부 양자효율이 100%가 되더라도 각 층(layer)의 굴절률 차이로 인해 내부에 빛이 갇히게 되어 실질적인 외부 양자효율은 20-25%정도 이다. 이러한 빛의 손실로 인한 낮은 광 추출 효율의 근본적인 문제점을 해결 하고자 광 추출의 개념이 필요하다. 광 추출 효율을 증가시키기 위해서는 외부 광 추출 효율을 증가시키는 방법과 내부 광 추출 효율을 증가시키는 방법이 있다.

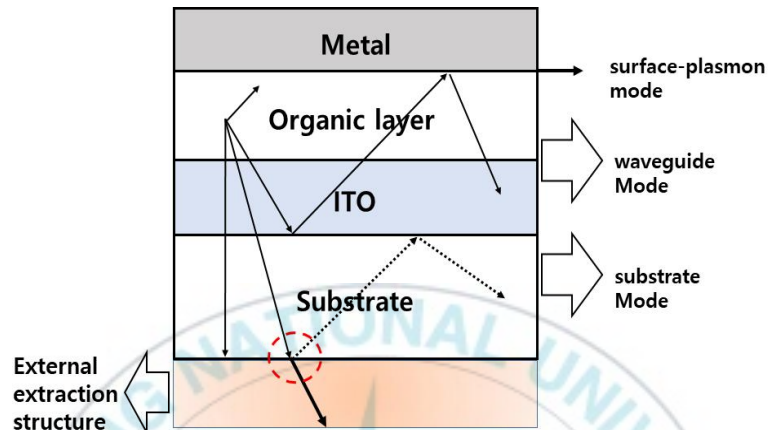


[그림 10] OLED의 광 추출 모드

현재 OLED는 [그림 10]과 같이 소자 내에서 생성된 빛의 75-80%가 갇혀 있다. 20%의 빛이 substrate mode에, 약 55%의 빛이 ITO/Organic mode (waveguide mode)에, 약 5%의 빛이 금속의 진동수와 빛의 파장이 일치하여 일어나는 공명현상으로 해당되는 파장의 빛이 금속 표면에 묶여서 빠져 나오지 못 하여 surface-plasmon mode에 갇혀 있다.

OLED의 각 층(layer)들의 굴절률이 달라서 내부 전반사가 일어나기 때문에 빛이 소자 내부에 갇히게 된다. 즉, 굴절률이 높은 곳에서 낮은 곳으로 빛이 통과할 때 일어나는 전반사에 의해 소자에서 만들어진 빛이 모두 방출 되지 못하고 소자 내부에 갇히는데 각각의 layer 사이의 굴절률 차이를 줄임으로써 소자의 광 추출 효율을 향상 시켜야 한다. 광 추출 효율을 향상시키는 기술에는 크게 외부 광 추출 구조(External light extraction structure)와 내부 광 추출 구조(Internal light extraction structure) 두 가지가 있다.

4.2 외부 광 추출 구조 (External light extraction structure)



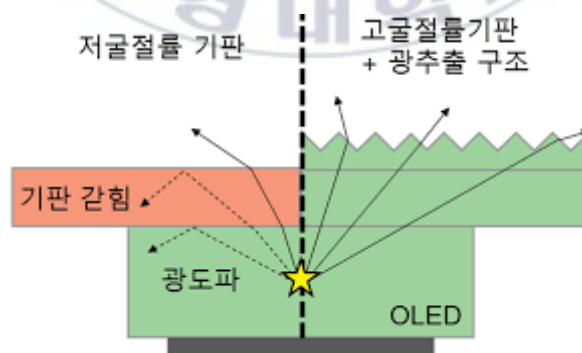
[그림 11] OLED의 외부 광 추출 구조

외부 광 추출 구조(External light extraction structure)는 [그림 11]와 같이 소자의 기판 외부에 별도의 광 추출 층을 만들어 substrate mode의 빛을 추출하는 기술이다. 이러한 외부 광 추출 기술로는 마이크로 렌즈 어레이(micro lens array), 광 산란층(sputtering layer), 저 반사 코팅 기술 및 기판외부 에칭을 통한 외부 광 추출 향상 기술 등이 있다.[1] 일반적으로 기판 외부에 다양한 광 추출 형태를 만들어 광 추출 효과를 향상시키려 하지만 이러한 기판 공정과정에서 원재료의 가격 상승의 문제를 야기하기도 한다. 마이크로 렌즈 어레이를 필름 형태로 제작하여 기판 외부에 부착하는 기술 또한 많이 사용되고 있다. 최근에는 마이크로 단위를 넘어 나노 단위의 렌즈 어레이를 제작하여 마이크로 렌즈 어레이의 한계를 뛰어넘으려고 한다. 마이크로 렌즈를 적용할 경우, 기존의 픽셀과 비슷한 크기를 지니기 때문에 화질 저하가 나타날 우려가 있다. 또한 마이크로 렌즈를 만들

기 위해 ‘습식(Wet)공정법’을 주로 사용했는데, 이 또한 산업체 적용을 어렵게 하는 요소 중 하나였다. 습식공정을 사용하는 경우 OLED 기판에서 결정화가 되지 않는 모습을 보였다. 딱딱한 기판 위에서만 결정화가 진행되는 특성 때문에 이전까지만 해도 OLED 제품을 개발하는 데에는 한계가 있었다. 하지만 한국전자통신연구원(ETRI)은 유기물질로 구성된 나노급 렌즈를 ‘건식(Dry)공정’으로 개발하는데 성공하여 외부 광 추출 효율을 기존에 비해 1.5배 증가 시켰다.[그림 12]



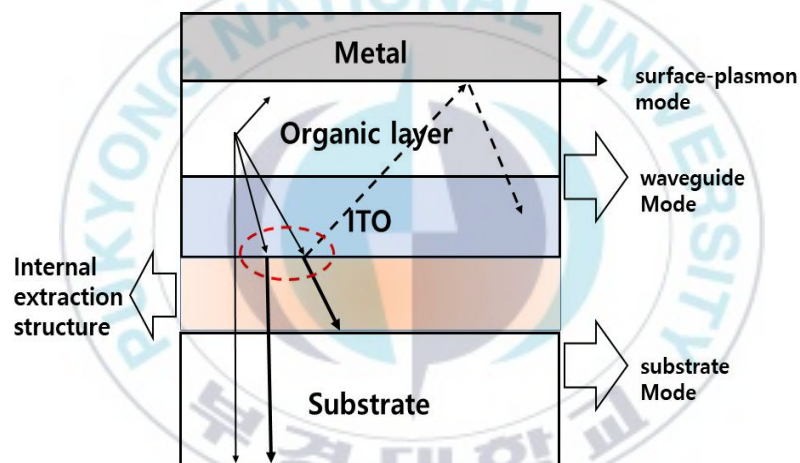
[그림 12] AMOLED 디스플레이 적용 시 마이크로 렌즈와 나노 렌즈의 특성



[그림 13] 고 굴절률 기판 + 외부 광 추출 구조

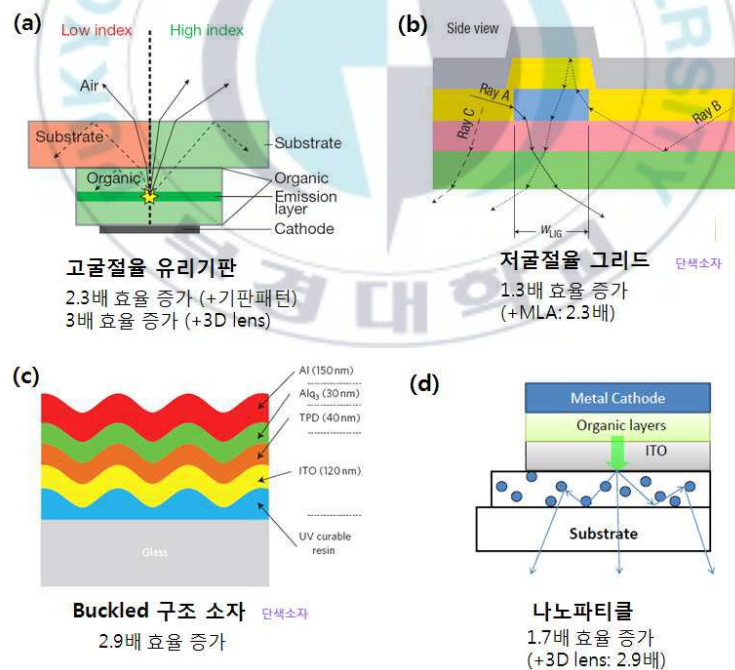
4.3 내부 광 추출 구조 (Internal light extraction structure)

내부 광 추출 구조(Internal extraction structure)란 소자의 내부에 그리드 구조, 광산란 나노파티클 구조, Buckled 기판 구조, photonic crystal 기술 등 기판과 투명전극 사이에 별도의 층을 형성하거나 정공 수송층(Hole transport layer, HTL)의 두께를 변화시켜 보강간섭을 증가시키므로 빛을 추출해내는 방법 등이 있다.[2,3]



[그림 14] OLED의 내부 광 추출 구조

내부 광 추출 효율을 높이는 구조는 Substrate mode 뿐만 아니라 waveguide mode의 빛도 추출이 가능하다. 그러므로 외부 광 추출 구조 (External light extraction structure)보다 광 추출 효율이 더 많이 증가한다. 또한 효율이 높고 시야각에 따른 색 안정성이 높다는 장점을 가지고 있다. 하지만 유기물질 사이에 만들어야 하므로 유기물질을 손상 시킬 위험이 따르며 누설 전류가 유도되고 전기적인 쇼트(short)가 발생하는 문제점이 있으며, 대부분의 내부 광 추출 구조는 기판과 투명전극의 사이에 제작되거나 기판 또는 투명전극의 형태를 변형시키는 기술을 활용하는데, 이는 투명전극의 증착 공정 시 박막 성장을 저해하여 광학적, 전기적 특성이 제한된다. 따라서 내부 광 추출 구조의 상용화를 위해서는 뛰어난 광 추출 기능과 함께 낮은 표면 거칠기를 구현할 수 있는 기술이 요구된다.[4]



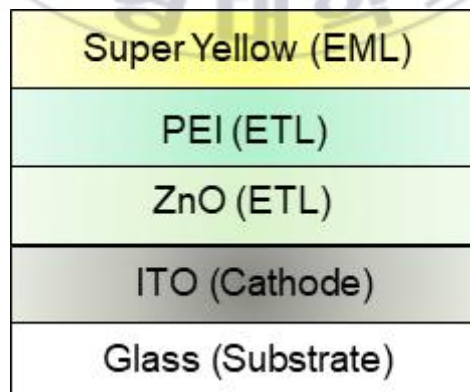
[그림 15] 다양한 내부 광 추출 기술: (a) 고굴절율 유리기판, (b) 저굴절율 그리드, (c) Buckled 구조 소자, (d) 나노파티클 구조층

제 III장 실험

제 1절 n-type소자 제작

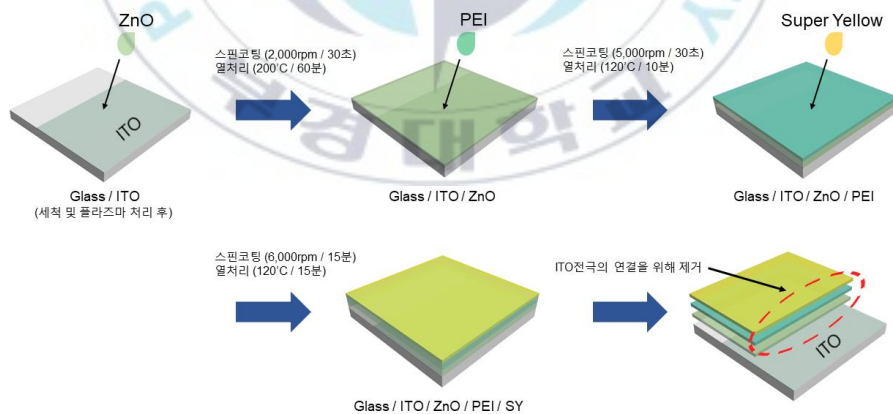
1.1 용액공정으로 제작한 n-type 소자

본 연구에서는 용액 공정만으로 유기발광 다이오드를 제작하기 위해 n-type 소자와 p-type소자를 각각 별도의 기판위에 제작하였다. 그 이유는 유기물로 구성된 발광층은 수분에 취약하기 때문에 정공 수송층(hole transport layer, HTL)으로 사용하는 수용액의 PEDOT:PSS(AI4083)를 발광층에 직접적으로 용액공정 처리를 하게 되면 발광층에 손상을 주기 때문이다. 우선 n-type 소자의 계층적인 구조를 보면 [그림 16]와 같다.[5]



[그림 16] n-type 소자의 구조

n-type 소자에 적층 하게 될 층(layer)들은 모두 용액공정으로 제작한다. 사용할 용액들은 실험 하루전날 제작하여 60°C의 핫플레이트에서 교반(stiring) 해준다. n-type 소자의 제작 과정은 제작된 ITO 유리기판을 아세톤(acetone)-에탄올(ethanol)-이소프로필알코올(isopropylalcohol) 순서로 각각 10분씩 세척하였다. 세척이 끝난 ITO 유리기판은 약 10분간 플라즈마 처리를 하여 계면의 이물질을 제거하는 동시에 계면을 활성화 시켰다. 플라즈마 처리가 끝난 ITO기판은 필터링(PTFE 0.22um 필터사용)한 ZnO용액으로 2,000rpm, 30초 스핀코팅한 후 200°C의 핫플레이트에 1시간 동안 열처리를 하였다.[6] 열처리를 마친 후 필터링(PTFE 0.22um 필터사용)한 PEI용액으로 5,000rpm, 30초 동안 스핀코팅하고 120°C의 핫플레이트에 10분 동안 열처리를 하였다. 그 후에 SuperYellow용액을 6,000rpm, 60초 동안 스핀코팅하고 120°C의 핫플레이트에 15분 동안 열처리를 하였다. 마지막으로 ITO 전극과 음극의 연결을 위해 완성된 샘플의 3분의 1을 다이클로로벤젠(1,2-Dichlorobenzene, DCB)을 사용하여 제거해주었다. [그림 17]

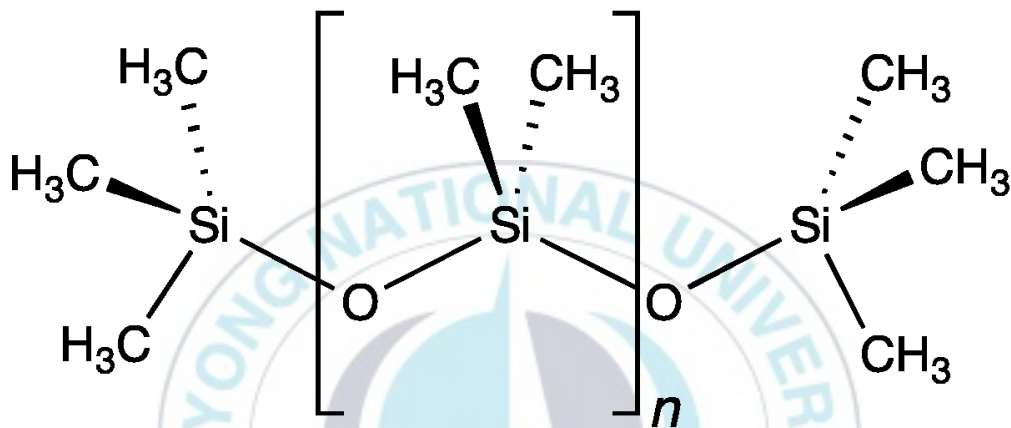


- * ZnO solution(ETL) : Zinc acetate dehydrate + Ethanolamine + 2-ethoxyethanol + Ethanol
- * PEI solution(ETL) : Polyethylenimine + Deionized water
- * Super Yellow(EML) : Poly[2-methoxy-5-(2-ethylhexyloxy)-1,4-phenylenevinylene] + Toluen

[그림 17] n-type 소자의 제작 과정

제 2절 p-type 소자 제작

2.1 PDMS (Polydimethylsiloxane)의 정의



[그림 18] PDMS의 구조식

폴리 디메틸 실록산(Polydimethylsiloxane, PDMS)은 일반적으로 실리콘으로 지칭되는 고분자 유기 규소 화합물의 그룹에 속한다[7]. PDMS는 가장 널리 사용되는 실리콘 기반의 유기 폴리머이며 구조식은 [그림 18]와 같다. PDMS는 광학적으로 투명하고 일반적으로 불활성, 비 독성 및 비가연성의 특성을 지닌다[8]. 그리고 PDMS는 점탄성을 지니며, 이는 긴 유동 시간 (또는 고온)에서 꿀과 비슷한 점성이 있는 액체처럼 작용한다는 것을 의미한다. 그러나 짧은 유동 시간 (또는 저온)에서는 고무와 비슷한 탄성 고형물처럼 작용한다[9]. 고체 상태의 PDMS는 디 이소 프로필 아민, 클로로포름, 에테르 및 THF 등과 같은 물질에 의해 표면이 팽창된다[10]. 그러므로 본 실험에서는 PDMS 기판 위에 이러한 물질들을 사용하지 않았다.

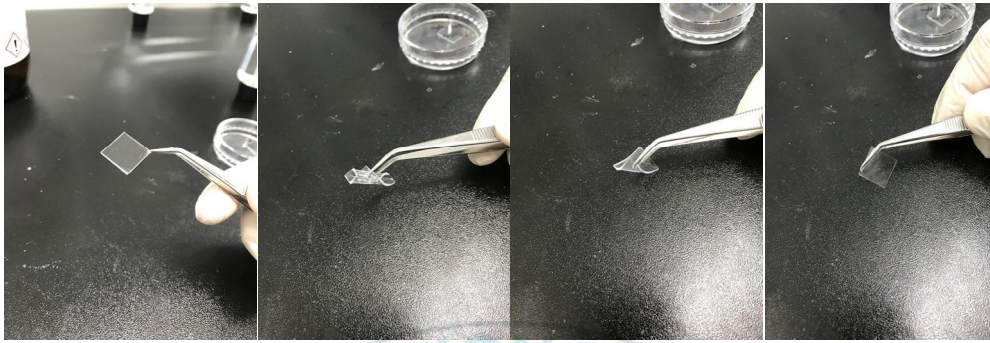
2.2 PDMS를 이용한 플렉시블(flexible)한 기관 제작



[그림 19] PDMS의 재료: Silicone elastomer base와 Silicone elastomer

PDMS 재료로는 [그림 19]의 실리콘 엘라스토머 베이스(Silicone elastomer base)와 실리콘 엘라스토머(Silicone elastomer)를 각각 10:1의 무게 비율로 혼합하여 페트리 접시(petri-dish)에 2ml씩 스핀코팅(300rpm/10초)하여 70°C의 핫플레이트에서 1시간 동안 열처리하여 제작하였다. 열처리가 끝난 PDMS는 페트리 접시로부터 떼어내어 1.5x1.5cm 크기의 일반 유리기관위에 부착하여 PDMS/glass 기관을 완성하였다.

고체 PDMS는 [그림 20]처럼 휘어짐과 구부러짐이 탁월하며 외부 소수성 표면을 나타내며 금속성과 반짝임을 나타낸다[11].



[그림 20] PDMS기판의 유연성과 탄성

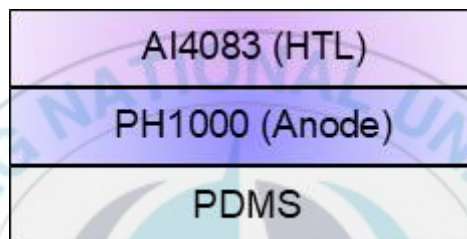
이러한 표면 성질은 극성용매가 PDMS 표면을 습윤 시키는 것을 어렵게 만든다. 본 실험에서 PDMS는 플렉시블한 기판으로 사용되기 때문에 PDMS의 표면을 친수성으로 만들기 위해 제작된 PDMS 기판을 산소플라즈마 처리를 하였다. [그림 21]



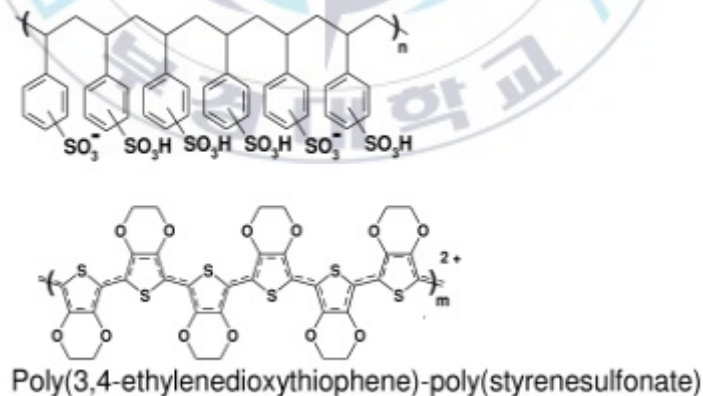
[그림 21] 플라즈마 처리 전 과 후의 PDMS 표면 차이

2.3 PEDOT:PSS 전극을 활용한 p-type 소자 제작

본 연구에서는 PEDOT:PSS(PH1000)와 PEDOT:PSS(AI4083) 2가지 종류의 PEDOT:PSS를 사용하여 양극(anode)과 정공 수송층(hole transport layer, HTL)을 각각 용액공정(스핀코팅)으로 제작하였다[12]. 전도성 고분자인 PEDOT:PSS는 [그림 23]과 같은 구조식과 [표 7,8]와 같은 성질을 각각 가진다.



[그림 22] p-type 소자의 구조



[그림 23] PEDOT:PSS의 구조식

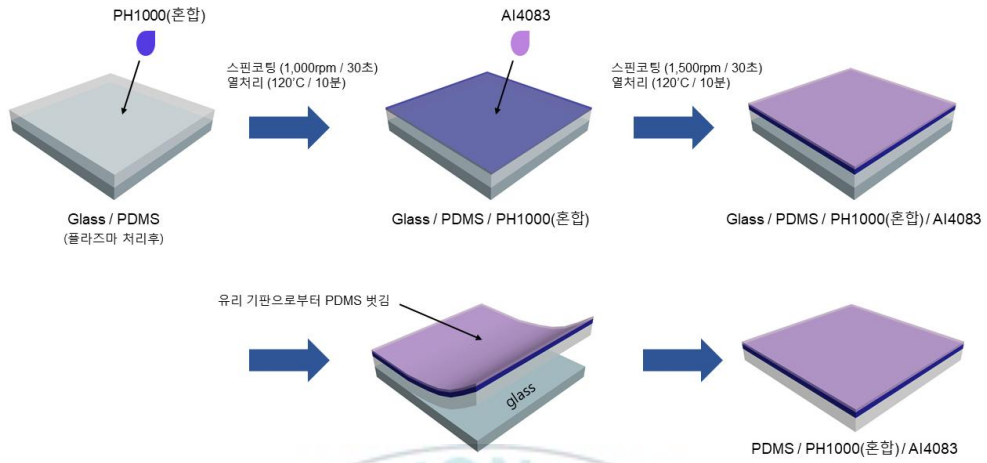
	Min	Max	Unit
Solid content	1.0	1.3	%
Specific conductivity	850		S/cm
Viscosity	15	60	mPas

[표 7] PEDOT:PSS (PH1000)의 특성

	Min	Max	Unit
Solid content	1.3	1.7	%
Resistivity	500	5000	Ω/cm
Viscosity	5	12	mPas

[표 8] PEDOT:PSS (AI4083)의 특성

p-type 소자의 제작 순서로는 앞서 제작한 PDMS 기판을 플라즈마 처리를 통해 계면의 상태를 활성화 시켜준다. 본 연구에서는 양극으로 사용할 PEDOT:PSS(PH1000)용액에 에틸렌글리콜(Ethylene glycol, EG)과 FS-31을 혼합한 용액을 사용하였다. 에틸렌글리콜(EG)은 전도도를 향상시키고, FS-31은 계면활성제 역할을 한다. 각 샘플별로 PH1000(혼합)용액의 스핀코팅 속도를 다르게 하였다. 필터링(PVDF 0.45 μm 필터사용)한 PH1000(혼합)용액을 스핀코팅하여 120°C에서 10분 동안 열처리를 해준다. 열처리가 끝난 샘플은 정공 수송층(hole transport layer, HTL)으로 쓰이는 PEDOT:PSS(AI4083)원액에 D-sorbitol을 10wt% 첨가하여 스핀코팅하여 120°C에 10분 동안 열처리를 해준다[13]. [그림 24] D-sorbitol은 소자의 접착성을 위해 첨가하였다.



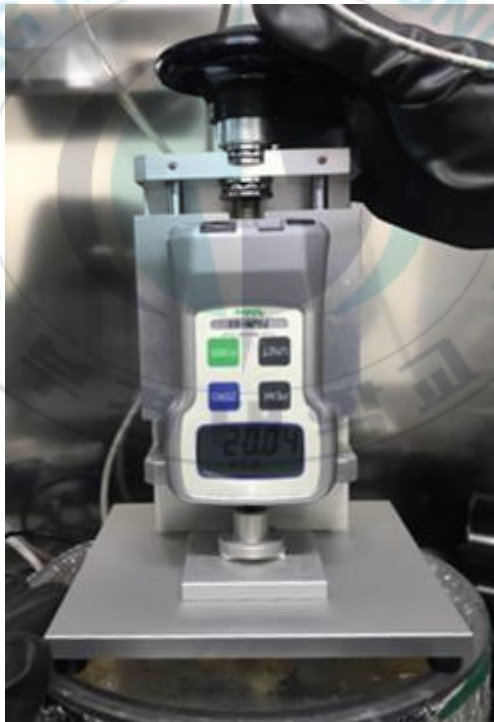
- * PH 1000 (TE) : PEDOT:PSS (PH1000) + Ethylene glycol 6 vol.% + surfactant (FS-31) 0.1 vol. %
- * Al4083 (HTL): PEDOT:PSS (Al4083)

[그림 24] p-type 소자의 제작 과정

제 3절 양면발광이 가능한 유기발광 다이오드 제작

3.1 n-type소자와 p-type소자의 접착으로 제작한 OLED

각각 제작된 n-type과 p-type 소자를 겹친 후 압력기기를 사용하여 20kgf의 힘으로 n-type과 p-type 소자를 접착 하였다[14,15]. [그림 25] 압력기기를 이용하여 n-type 소자와 p-type 소자를 접착(lamination)하게 되면 n-type과 p-type소자 사이의 계면이 완전한 접착이 가능하다.



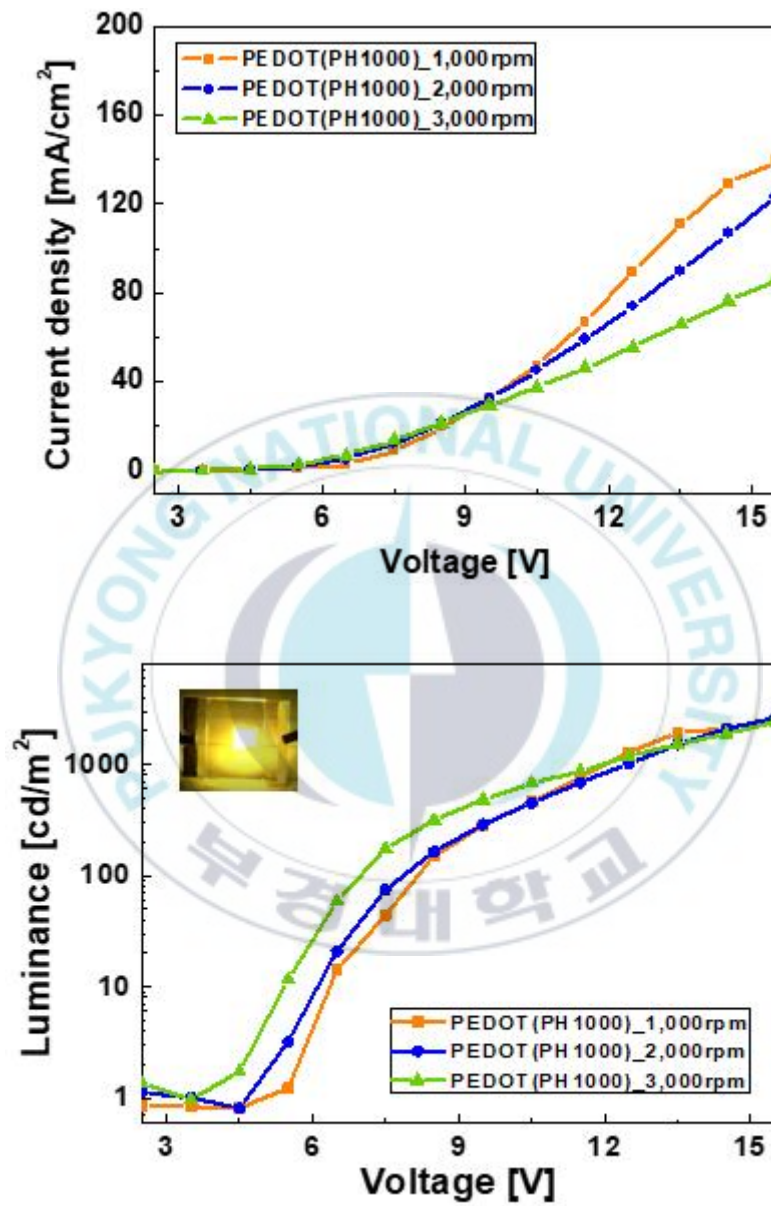
[그림 25] 핸드프레스기를 사용한 n-type과 p-type 소자의 결합

제 IV장 결과 및 고찰

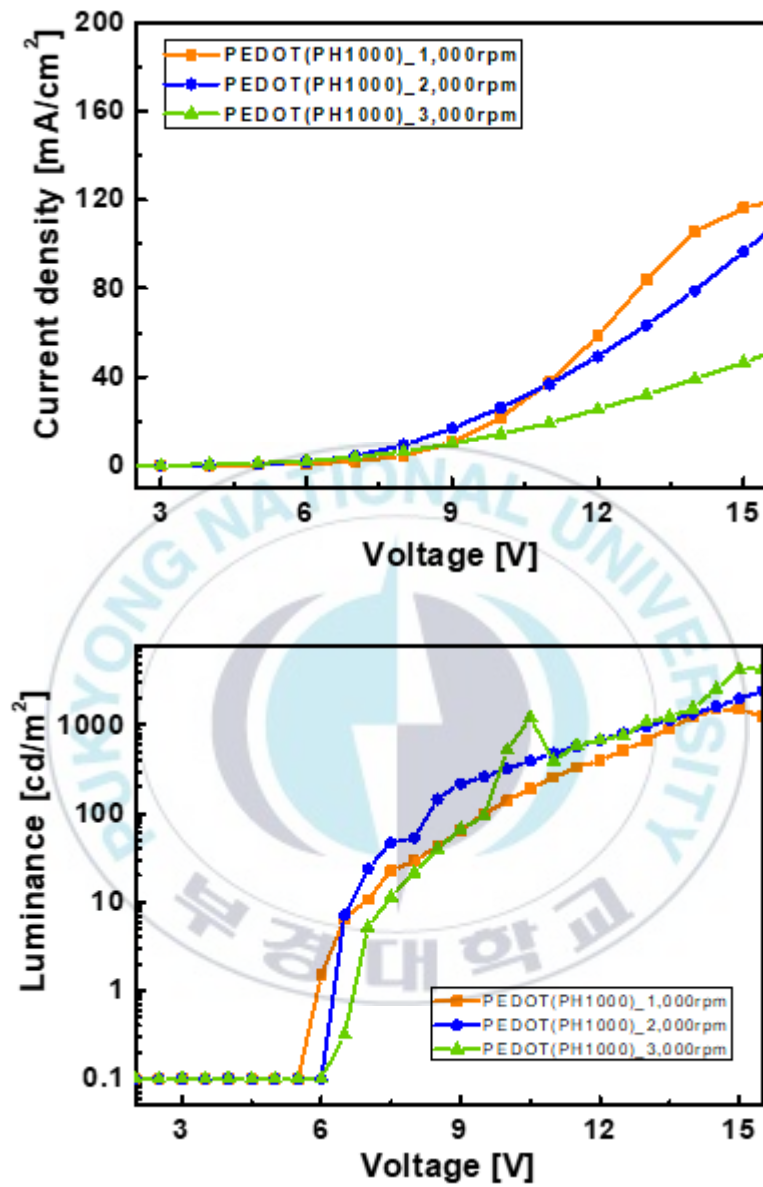
제 1절 투명한 유기발광 다이오드의 특성

1.1 투명한 유기발광 다이오드의 전압-전류, 전압-휘도 특성

본 연구에서 제작한 투명한 유기발광 다이오드는 양면발광이 가능하므로 발광층에서 생성된 빛을 ITO glass 기판 방향과 PDMS 기판 방향을 각각 측정하여 소자의 효율 특성을 연구하였다. 본 연구에서 제작한 소자는 3가지로 나뉜다. 각 소자의 차이점은 양극으로 사용한 PDEOT:PSS(PH1000) 혼합용액의 스핀코팅 속도의 차이가 있다. Device_1, Device_2, Device_3의 소자는 각각 1,000rpm, 2,000rpm, 3,000rpm의 스핀속도로 양극을 코팅하였다. 일반적으로 스핀코팅 속도가 높아질수록 층(layer)의 두께가 얇아지며 이는 면저항이 증가하고 투과도 또한 증가함을 알 수 있다. 반면에 스핀코팅 속도가 낮아질수록 층(layer)의 두께가 두꺼워지며 이는 면저항이 감소하고 투과도 또한 감소함을 알 수 있다. [그림 26]와 [그림 27]의 전류-전압 그래프를 보면 1,000rpm으로 코팅한 소자가 같은 전압을 걸어주었을 때 2,000rpm 소자와 3,000rpm 소자보다 전류밀도가 높음을 알 수 있다. 그리고 휘도-전압의 그래프를 보면 각 샘플은 비슷한 성향의 휘도 곡선을 가지지만 3,000rpm으로 코팅한 소자의 휘도가 ITO방면에서 2,000rpm 소자와 1,000rpm 소자보다 높음을 확인 할 수 있다.



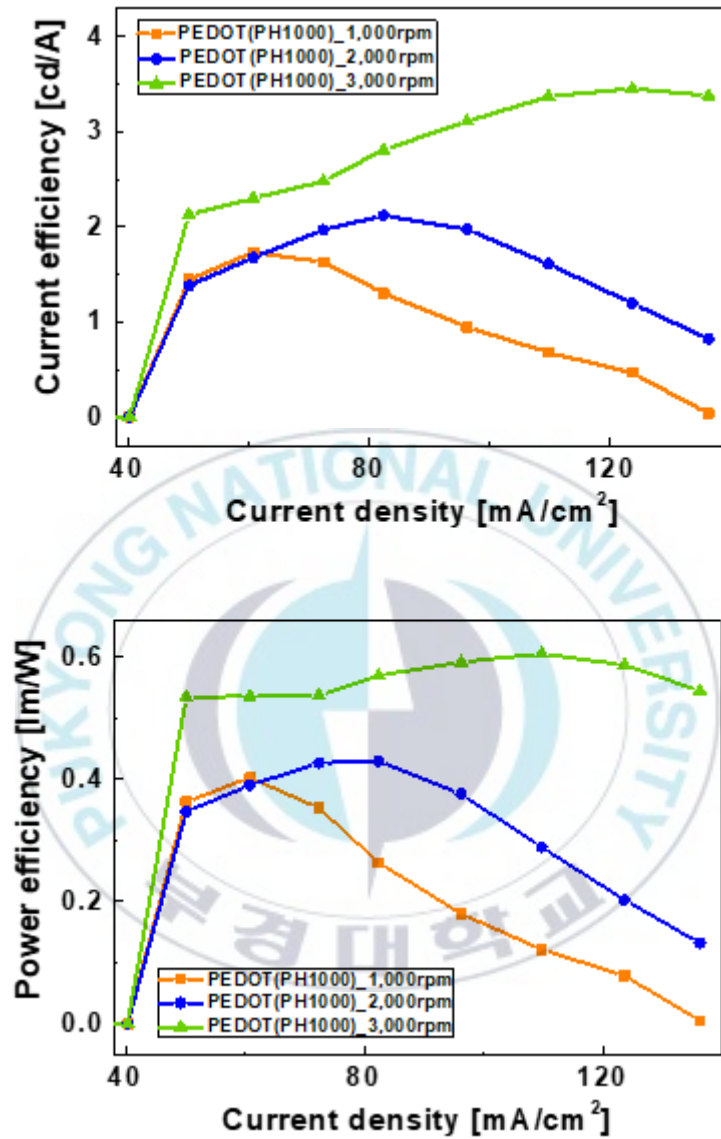
[그림 26] OLED의 ITO방향 측정 전류-전압, 휘도-전압 곡선



[그림 27] OLED의 PDMS방향 측정 전류-전압, 휘도-전압 곡선

1.2 투명한 유기발광 다이오드의 효율 특성

본 연구에서 제작된 투명한 유기발광 다이오드의 효율은 측정 방향에 따라 ITO방향으로 측정한 효율은[표 9,10]와 [그림 28], PDMS방향으로 측정한 효율은 [표 11,12]와 [그림 29]을 통해 확인할 수 있다. 각 소자의 차이점은 양극으로 사용한 PDEOT:PSS(PH1000) 혼합용액의 스핀코팅 속도의 차이가 있다. Device_1, Device_2, Device_3 의 소자는 각각 1,000rpm, 2,000rpm, 3,000rpm의 스핀속도로 양극을 코팅 하였다. ITO방향으로 효율을 측정하였을 때 양극의 스핀코팅 속도가 1,000rpm에서 2,000rpm, 3,000rpm으로 높아질수록 양극의 두께가 얇아지며 전류효율은 각각 1.22, 2.1배 향상되며 전력효율은 각각 1.07, 1.52배 향상되었다. 이는 양극의 두께가 얇아질수록 소자의 전기적 특성이 향상되어 전류효율 및 전력효율이 모두 증가함을 알 수 있다. PEDOT:PSS 양극의 두께가 두꺼운 경우, PDMS 표면의 높은 소수성으로 인해 PEDOT:PSS 필름이 고르게 코팅되기가 힘들다. 따라서, OLED 소자내에서 발광층으로의 캐리어(carrier) 주입이 원활하지 않게 되기 때문에 소자의 효율이 떨어지는 것으로 예상된다.



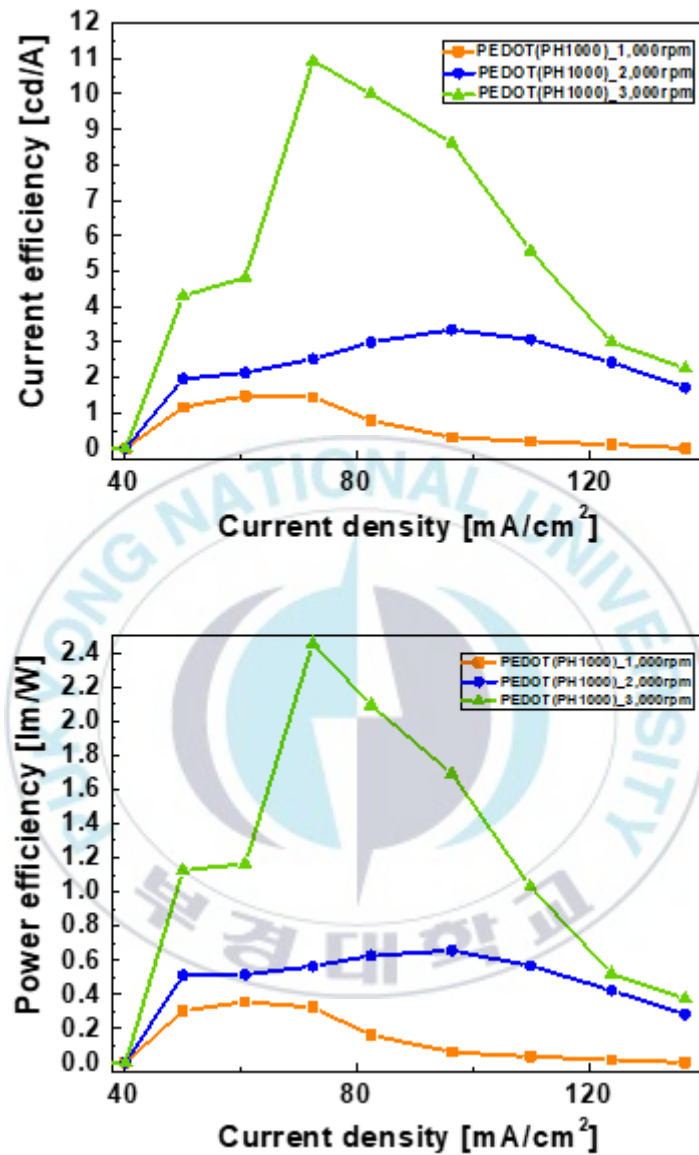
[그림 28] OLED의 ITO방향 측정 전력 효율 곡선

	Spin coating speed		
	1,000rpm	2,000rpm	3,000rpm
Current efficiency (Max.) [cd/A]	1.73	2.12	3.64
Enhancement ratio [%]	-	1.22	2.1

[표 9] ITO방향으로 측정한 유기발광 다이오드의 성능 (1)

	Spin coating speed		
	1,000rpm	2,000rpm	3,000rpm
Power efficiency (Max.) [lm/W]	0.40	0.43	0.61
Enhancement ratio [%]	-	1.07	1.52

[표 10] ITO방향으로 측정한 유기발광 다이오드의 성능 (2)



[그림 29] OLED의 PDMS방향 측정 전력 효율 곡선

	Spin coating speed		
	1,000rpm	2,000rpm	3,000rpm
Current efficiency (Max.) [cd/A]	1.47	3.34	10.94
Enhancement ratio [%]	-	2.27	7.44

[표 11] PDMS방향으로 측정한 유기발광 다이오드의 성능 (1)

	Spin coating speed		
	1,000rpm	2,000rpm	3,000rpm
Power efficiency (Max.) [lm/W]	0.36	0.66	2.45
Enhancement ratio [%]	-	1.83	6.8

[표 12] PDMS방향으로 측정한 유기발광 다이오드의 성능 (2)

제 V 장 결 론

본 연구에서는 모든 유기층이 열 증착공정 없이 스핀 코팅 방법으로 준비되는 완전한 용액공정으로 처리 된 투명 유기 발광 다이오드 (OLED)를 연구하였다. 완전한 용액공정으로 처리 된 OLED는 전자 수송층과 발광층 뿐만 아니라 적층 된 정공 수송층 / 상부 전극으로 구성된다. n-type소자와 p-type소자를 각각 용액공정으로 제작 후 핸드 프레스기를 사용하여 부착시켜 OLED소자를 완성하였다. 기존의 OLED는 금속 전극을 사용하여 한쪽 방향으로만 발광하였으나 본 실험에서는 투명전극인 PEDOT:PSS(PH1000)을 사용하여 양방향으로 발광이 가능한 소자를 만들 수 있었다. 본 연구는 복잡하고 고가의 공정인 고진공의 열증착을 필요로 하지 않으며 완전한 용액공정만으로 투명 OLED를 제작 할 수 있기에 저비용의 투명 OLED의 개발에 크게 기여할 수 있다고 믿는다.

제 VI 장 참고 문헌

1. YR Do, YC Kim, YW Song, YH Lee. Enhanced light extraction efficiency from organic light emitting diodes by insertion of a two-dimensional photonic crystal structure. *Journal of Applied Physics* 96, 7629 (2004)
2. Yiru Sun & Stephen R. Forrest. Enhanced light out-coupling of organic light-emitting devices using embedded low-index grids. *Nature Photonics* volume 2, 483 - 487 (2008).
3. Hong-Wei Chang, Jonghee Lee, Simone Hofmann, Yong Hyun Kim, Lars Müller-Meskamp, Björn Lüssem, Chung-Chih Wu, Karl Leo, Malte C Gather. Nano-particle based scattering layers for optical efficiency enhancement of organic light-emitting diodes and organic solar cells. *Journal of Applied Physics* 113 (2013).
4. Won Hoe Koo, Soon Moon Jeong, Fumito Araoka, Ken Ishikawa, Suzushi Nishimura, Takehiro Toyooka & Hideo Takezoe. Light extraction from organic light-emitting diodes enhanced by spontaneously formed buckles. *Nature Photonics* volume 4, 222 - 226 (2010).
5. Sunghee Park, Jong Tae Lim, Won-Yong Jin, Hyunkoo Lee, Byoung-Hwa Kwon, Nam Sung Cho, Jun-Han Han, Jae-Wook Kang, Seunghyup Yoo, and Jeong-Ik Lee. Efficient Large-Area

Transparent OLEDs Based on a Laminated Top Electrode with an Embedded Auxiliary Mesh. *ACS Photonics* (2017).

6. Sang-Hee Ko Park, Minki Ryu, Chi-Sun Hwang, Shinhyuk Yang, Chunwon Byun, Jeong Ik Lee, Jaeheon Shin, Sung Min Yoon, Hye Yong Chu, Kyoung Ik Cho, Kimoon Lee, Min Suk Oh, Seongil Im, 42.3: Transparent ZnO thin film transistor for the application of high aperture ratio bottom emission AM OLED display. *Journal of the Society for Information Display* 629-632 (2008).
7. D.Guard, Tsvetkova-Chevolleauab, D.ecossasa, P.Tracquist, P.Schiavone, Optimization of poly-di-methyl-siloxane (PDMS) substrates for studying cellular adhesion and motility. *Elsevier* Volume 85, Issues 5 - 6, 1289-1293 (2008).
8. Zhixin Wang Alex A. Volinsky Nathan D. Gallant. Crosslinking effect on polydimethylsiloxane elastic modulus measured by custom built compression instrument. *Journal of Applied Polymer Science* Volume 131, Issue22 (2014).
9. James E. Mark, H. R. Allcock, Harry R. Allcock, Robert West. Inorganic Polymers. *Oxford University Press, USA*, 338 (2005).
10. Lee, J. I. N.; Park, C.; Whitesides, G. M. Solvent Compatibility of Poly(dimethylsiloxane)-Based Microfluidic Devices. *Analytical chemistry* (2003).
11. J. Cooper McDonald David C. Duffy Janelle R. Anderson Daniel T. Chiu Hongkai Wu Olivier J. A. Schueller George M. Whitesides. Fabrication of microfluidic systems in

poly(dimethylsiloxane). *Electrophoresis* Volume21, Issue1, 27–40 (2000).

12. Seok-In Na, Seok-Soon Kim, Jang Jo, Dong-Yu Kim. Efficient and Flexible ITO Free Organic Solar Cells Using Highly Conductive Polymer Anodes. *Advanced Materials* (2008).
13. Yong Hyun Kim, Christoph Sachse, Michael L Machala, Christian May, Lars Müller Meskamp, Karl Leo. Highly Conductive PEDOT: PSS Electrode with Optimized Solvent and Thermal Post Treatment for ITO Free Organic Solar Cells. *Advanced Functional Materials* 21 (6), 1076–1081 (2011).
14. J Liu, LN Lewis, TJ Faircloth, AR Duggal. High performance organic light-emitting diodes fabricated via a vacuum-free lamination process. *Physics Letters*, (2006).
15. Jing Du, Tiffany Tong, Wali Akande, Androniki Tsakiridou, Wole Soboyejo. Pressure Effects on the Lamination of Organic Light-Emitting Diodes. *Journal of Display*, (2013).