2016 FEBRUARY
vol.08

08

융합 Weekly TIP

Technology • Industry • Policy

OLED 봉지기술 (Encapuslation Technology) 의 현황과 전망

김의권 | 융합연구정책센터

발행일 2016. 02. 29
발행처 융합정책연구센터

융합연구정책센터
Convergence Research Policy Center

융합 Weekly TIP
2016 FEBRUARY
vol.08

OLED 봉지기술(Encapuslation Technology)의 현황과 전망

김의권 | 융합연구정책센터

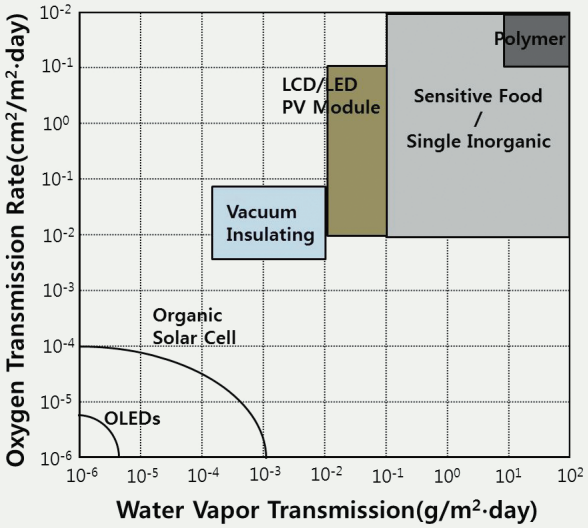
개요

- 봉지기술은 적용분야와 관계없이 OLED 소자 내로 유입되는 수분(5Å 크기)이나 산소(4Å 크기)를 차단하며, 패널 수율을 결정 지음

※ OLED 10^{-6}g/m^2·day 이하 WVTR(수분투습도, Water Vapor Transmission Rate)의 유지가 필요(그림 1)

- 발광재료와 전극재료의 산화 방지 및 외부로부터 가해지는 기계적/물리적 충격으로부터 소자를 보호하는 OLED 공정의 필수 기술

- 기술력 확보를 통하여 세계 시장을 선점할 수 있는 필수적인 핵심기술



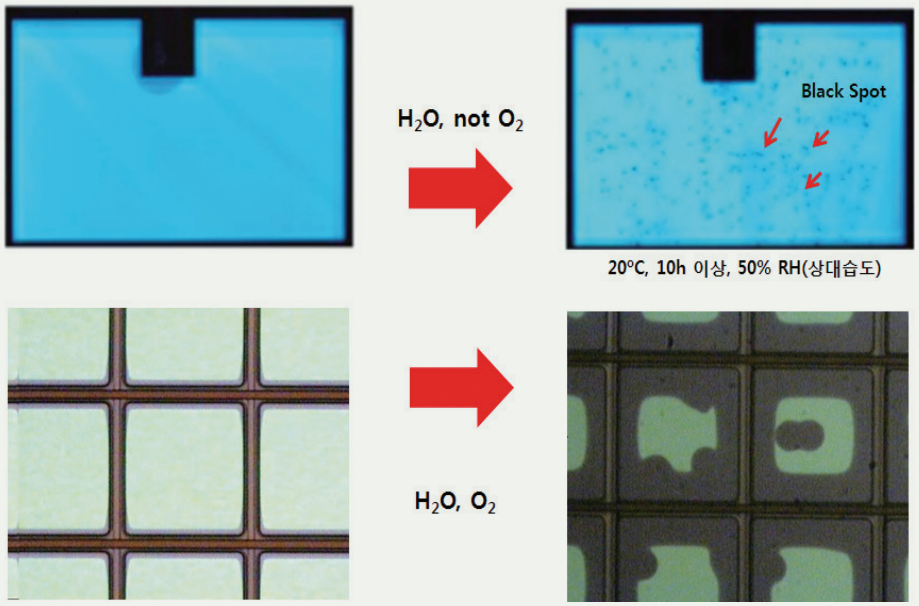
▲ 그림 1. 다양한 소자·재료에서 요구되는 투과 수분과 산소 특성

- OLED 소자의 수명은 수분이나 산소에 의한 발광재료의 산화 등에 의해 수명이 단축되는 단점이 나타남

※ 일정 시간 경과 후 검은 점(Black Spot)과 화소 축소(Pixel Shrinkage) 현상이 발생

OLED(유기전계발광다이오드, Organic Light Emitting Diode)

- 형광성 유기화합물에 전류가 흐를 때 빛을 내는 전계 발광현상을 이용하여 스스로 빛을 내는 '자체발광형 유기소자'
  - 낮은 전압에서 구동이 가능하며, 얇은 박막형으로 제작하는 기술
  - OLED 고성능화 기술로서 고효율 재료 기술, 광추출 기술, 백색 OLED 기술, 봉지기술로 구분
- 대면적 디스플레이 상용화 및 플렉시블 디스플레이 분야에서 활발하게 연구되고 있으며, LCD (Liquid Crystal Display)를 이을 차세대 디스플레이
  - 매우 적은 전력소비량, 유연성, 투명·투과성, 백색광 방출에 따른 새로운 조명 장치로도 주목



▲ 그림 2. 제작 직후(왼쪽)와 봉지기술이 미흡한 소자(오른쪽)

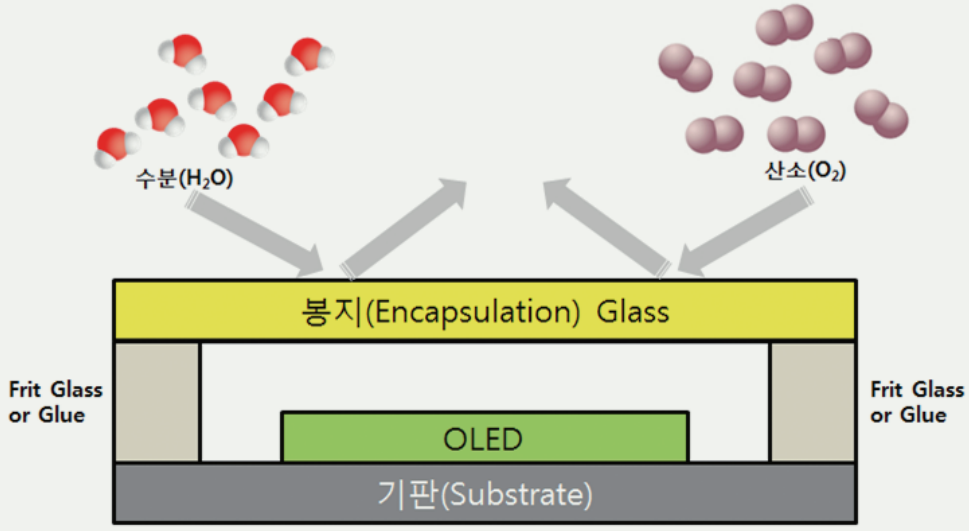
출처 : Holst Centre 및 유비산업리서치

- 현재 대면적 OLED 디스플레이, 플렉시블 디스플레이 분야에 유용한 다층 박막봉지(Thin Film Encapsulation, TFE)기술이나 봉지용 접착 필름 방식을 활발히 연구 중
- OLED 봉지기술의 세계 장비시장은 '15년부터 '20년까지 총 5억만 달러의 시장 규모가 형성 될 것으로 전망

기술 유형

(유리 봉지기술) 기판과 덮개로 구성된 두 개의 유리 사이에 OLED 소자를 고정하여, 유리 파우더를 레이저 용해 또는 UV 접착제를 사용하여 밀봉하는 기술

※ 현재까지는 가장 높은 차단성과 봉지 특성이 높게 구현



▲ 그림 3. 유리를 이용한 기존 봉지기술

- **(단점)** 소자 내의 비활성 기체로 인해 열전도 특성이 낮으며, 대면적화에 따라 유리 가공비용 증가

※ 단점 보완을 위하여 무기층(Al_2O_3)과 유기층(Polymer)을 박막에 교대로 적층하여, OLED 유기 소자를 보호하는 다층 박막봉지기술이 연구 중

  - 유리 봉지기술은 현재 시판 되는 모바일 리지드 AMOLED(Active Matrix OLED) 패널에 적용되지만, 대면적 패널과 플렉시블 AMOLED에는 적용이 어려움

- 유연성이 요구되는 플렉시블 OLED 패널 제작을 위한 새로운 봉지기술의 개발이 필요

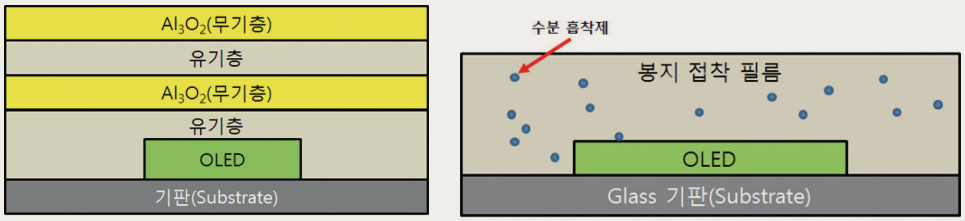
(봉지 접착 필름 기술) 수분 흡착제 등을 포함한 차단성 접착 필름을 OLED 소자 전면에 부착하여 수분 차단 성능을 향상시킨 기술

※ 수분 차단성을 갖는 박막으로 OLED 소자 전면을 라미네이팅(코팅)하는 기술

- 간단한 공정 및 높은 수분 차단 성능을 가질 수 있는 실용적인 기술

OLED의 플렉시블 디스플레이 분야 및 조명 분야에서도 봉지기술의 유연성은 필수

- 높은 차단성과 유연성 등을 갖는 다층 박막봉지기술이나 봉지 접착 필름 기술의 지속적인 연구 개발과 시장 진출이 활발히 이루어질 것으로 전망



▲ 그림 4. 박막 다층 봉지기술(왼쪽), 접착필름을 이용한 봉지기술(오른쪽)

- **(하이브리드 봉지기술)** 패시베이션 박막(Passivation Film) 및 기체 차단성이 있는 커버 플레이트(Cover Plate), 패시베이션 박막 그리고 양극판을 접착시키는 고분자로 구성
  - 접착성 고분자를 용액 형태로 사용하는 방식(Dam&Fill)과 필름 형태로 가공해 사용하는 방식(박막 라미네이팅) 등으로 구분
  - **(장점)** 대면적 패널과 플렉시블 OLED 패널에 모두 적용이 가능하며, TFE에 비해 공정수가 적음
    - 모바일용 리지드 AMOLED 패널에 투명 기체 배리어(Barrier)을 적용하여 파손 방지 및 두께 감소 등이 가능할 것으로 분석

※ 대면적 OLED와 플렉시블 OLED 패널이 하이브리드 봉지기술에 확대/적용이 된다면 유기재료, 메탈호일, 투명 기체 배리어 등의 핵심 재료시장이 더욱 활성화 될 것으로 전망('20년까지 연평균 74%의 성장률 예상)

- ALD(Atomic Layer Deposition)/MLD(Molecular Layer Deposition)를 활용한 신기술은 공정용이성이 높음
  - MLD 방법은 ALD와 유사한 표면반응을 이용하여 균일하면서도 정밀한 박막 생성

※ 대형화, 택트타임(Tact Time, 제품 하나를 생산하는 관리기준 시간), 유기막 자체의 기공 생성 등의 개선이 필요

  - FAST-ALD(Fast Array Scanning ALD) 시스템을 활용하여 플렉시블 OLED 디스플레이 기술개발 중 (삼성디스플레이)

- 현재 크기의 대형화, 유연성, 투명 OLED의 생산 등이 본격화되고 있으며, 이에 따른 차세대 기술과 플렉시블 디스플레이의 양산화에 따른 다양한 소재가 도입

▲ 그림 5. 플렉시블 디스플레이를 위한 소재 구성

국내개발 동향

- **(LG화학)** 플렉시블 기판을 사용하고 봉지기술도 박막으로 다중 적재 구조를 채용('15년)
- **(LG전자)** PECVD(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition)방식을 이용한 TFE 기술과 더불어 케터(Gatter)와 실링캡(Sealing Cap)을 미적용하는 TFE 기술 개발

※ 유기/금속막의 반복적 적층형태를 갖는 구조로서 우수한 접착력과 박막의 두께 조절, 증착면적 조절이 용이, 소형/대형소자 적용이 가능

- **(삼성전자)** AMOLED에서는 프릿 글래스(Frit Glass)를 사용하는 유리 캔 방식을 채택

– 삼성전자는 다양한 연구 활동으로 TFE 기술의 주요 특허를 다수 보유

※ 삼성과 LG전자는 박막 라미네이팅 방식에 대한 기술개발 진행
– 대형 TV에 적용 가능한 페이스실(Face Seal) 방식과 플렉시블 디스플레이에 적용되는 TFE 기술개발 중

- **(Modistech)** 자체적으로 보유한 하이브리드 봉지기술을 통하여 플렉시블 OLED 조명을 개발

※ 특히, 저가 제조 공정 개발에 집중

- **(한국전자통신연구원)** ALD를 이용한 무기 또는 유무기 다층 TFE 기술개발 중

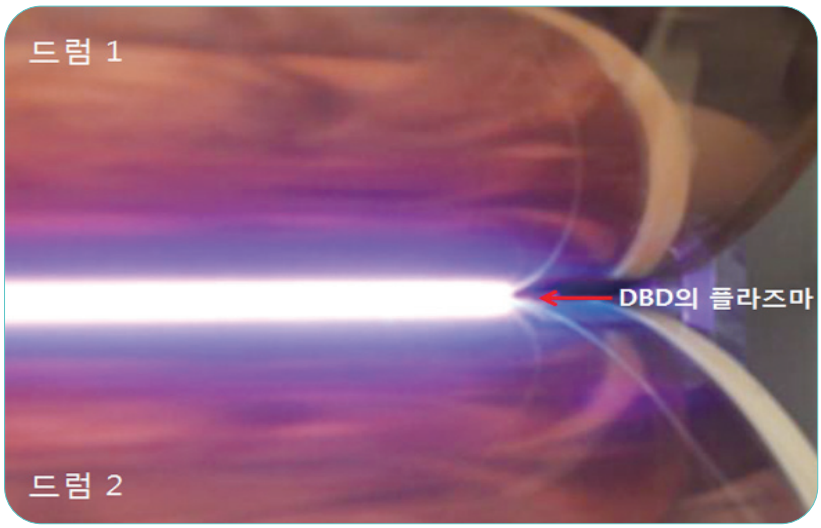
해외개발 동향

- **(Fuji社)** 대기 플라즈마를 통한 CVD 강화 기술개발

– (기술개요) PECVD 기술을 사용하여 수분 차단 필름을 개발하였으며, 두 개의 회전 드럼* 전극 사이에 배치된 DBD(유전체 장벽 방전, Dielectric Barrier Discharge)의 플라즈마를 활용

* PET(Polyethylene Terephthalate) 호일로 코팅

※ 초박형 실리카계 차단성 필름 제작(WVTR는 $10^{-6}g/m^2 \cdot day$)



▲ 그림 6. Fuji박막 회전 드럼 전극의 DBD 플라즈마

- (장점) 저비용의 제조 공정, 태양전지의 OLED 플렉시블 전자소자 수명 증가 및 다양한 기판에 적용이 가능

- (시장전망) OLED, 플렉시블 전자소자, 플렉시블 태양전지, LCD 등의 활용이 높으며, '16년도 플렉시블 전자소자 시장*에 큰 영향을 미칠 것으로 전망

* PECVD 기술을 이용한 고품질의 수분 차단 박막의 기술개발을 통하여 대량 생산을 위한 생산 라인이 진행 중

(Kateeva) 잉크젯 인쇄 기술을 활용한 TFE 기술개발

- (기술개요) 고성능, 고효율, 높은 투명성 그리고 유연성의 특성을 통하여 저가의 얇은 플렉시블 디스플레이 패널 개발에 활용

▲ 그림 7. 잉크젯 인쇄 기술 공정 출처 : Kateeva

- (장점) 균일한 표면 형성으로 우수한 평면 기판 제작이 가능하며, 고품질의 밀봉 방식을 통하여 수분 및 산소를 차단

- (시장전망) OLED 디스플레이/조명/TV, 플렉시블 전자소자, 인쇄 태양전지 등의 활용을 통하여 '16년도 스마트폰 및 TV용 플렉시블 OLED 디스플레이 등에 다양한 영역에 영향을 줄 것으로 전망

※ 삼성 OLED 디스플레이의 협업을 통하여 TFE 기술개발 중

(Plasma-Therm) 플라즈마를 활용한 박막 배리어 층 개발

- (기술개요) 고품질 PECVD 봉지기술를 통하여 고품질 박막 배리어 층 생성 시스템 개발

※ 박막 배리어 층의 알루미늄 단일 블록에서 생성되는 평행 전극 사이의 가스 반응물을 이용하여 제작

- (장점) 낮은 증착 온도*에서 제작, 다양한 층 패턴 및 다양한 기판에 적용 가능 그리고 대기환경에서 소자 부식 방지에 용이

  * 일반적인 CVD 공정은 200 ~ 2,000도에서 구현되며, 반면에 Plasma-Therm 공정은 80 ~ 150도의 낮은 온도에서 봉지기술이 가능

- (시장전망) 고품질 PECVD계 박막 시료를 개발에 성공하였으며, '17년도에는 시장형성이 본격화 될 것으로 전망

※ 대량생산 및 전자시장의 진입을 위하여 타기업과 협의 중

● **(Picosun)** 플라즈마를 활용한 ALD 기술개발

- (기술개요) 이온 자유 플라즈마를 통해 박막 층을 생성하여 정밀 기판(플라스틱, 폴리머, 메탈호일)을 제작

※ ALD기술에서 유기 화합물의 봉지 성질을 이용하여 플라즈마 배리어 층을 증대시킴(예 : 고품질의 비활성 금속(귀금속) 또는 질화물 층 형성에 활용)

▲ 그림 8. OLED 출처 : Dreamstime

- (장점) 저온 증착, 고차단성, 박막의 고밀도 등을 통하여 수분과 산소로부터 소자를 보호하며, 플렉시블 전자소자의 특성을 구현

※ 우수한 균일성 및 적합성을 가진 박막 제조에 용이

- (시장전망) 대량생산을 위한 협력업체 등과 협의 중에 있으며, '15년부터 특허기술을 활용하여 기술사업화가 진행 중

표1. 기타 해외기업 개발 동향

회사명	개발기술 및 기타
Vitex	• 단위체를 증착하고 UV를 이용하여 폴리머 제작*, 다중박막 코팅 기술(Barix™)을 적용한 OLED In-line증착장비로 Guardian™을 제작 판대 * 유기막을 사용하기 때문에 입자 커버리지에 유리한 방습 특성이 있지만, 유기재료의 선택의 제한과 수율 조절의 단점 보유 - 산소 또는 질화물과 고분자층 다층막 구조의 Barix™는 $10^{-6}g/m^2 \cdot day$의 WVTR에 따른 OLED 적용 가능
3M	• 다층 TFE 기술개발 집중하고 있으며, 텍트타임 및 장비 투자비 절감을 위해서 다층 진공 망 과정(Multilayer Vacuum Web Process)을 사용
GM	• 롤투롤(Roll-to-Roll) 방식의 하이브리드 봉지기술을 개발하였으며, 텍트타임이 짧고 물질 선택의 자유도가 높음 - (단점) 핀 홀 등의 결함에 따른 낮은 투습성이 나타남
Pioneer	• Sinx 박막과 레진 박막이 다중 적층된 기술 구현 ※ 원천특허 보유
Philips	• SiN/SiO/SiN(NON구조)을 적층하는 NONON구조를 개발하여 인쇄 방식의 유기물 층 위에 적용하는 TFE 기술개발
Huntsman	• Philips와 Holst의 협업으로 Sin/Polymer 다층박막을 개발
Eastman Kodark	• ALD 증착법의 Al_2O_3/Parylene 봉지기술 개발('05년)
Sony	• PDA Clie제품을 통하여 하이브리드 봉지기술 보고('03년)
Dupont	• 플라스틱 위에 25nm 두께의 Al_2O_3를 ALD 방식으로 증착하고 Ca 테스트로 특성을 보고('06년)
Colorado State Uni. Geroge 그룹	• ALD 방식을 이용하여 Al_2O_3박막과 PECVD를 이용한 SiN박막을 두 층으로 형성 ※ $10^{-5}g/m^2 \cdot day$의 WVTR 발표

향후 전망

- TFE 기술의 성장은 장수명, 유연성, 투명 전자소자의 개발에 무한한 가능성이 있음
  - 저가이면서 에너지 효율이 높은 태양전지, OLED 제품 및 플렉시블 디스플레이 등의 개발이 가능

※ 에너지 효율을 개선 및 차세대 스마트 디바이스의 개발 등의 초기 투자 및 개발 비용 감소에 기여

- 배리어 박막의 플렉시블 전자소자 개발에 대한 경쟁 가속화와 봉지기술에 대한 대규모 투자 및 고비용 구조 예측
  - 한국, 핀란드, 독일, 일본 등은 플라즈마 ALD 배리어 박막을 활용하여 장수명의 인쇄 전자소자, 태양전지 그리고 OLED 소자 개발에 박차를 가하고 있음
- 유기소자를 통하여 디스플레이, 조명, 플렉시블 소자 등의 수요 증가 예상
  - 삼성과 LG 등의 주요 기업들은 현재 플렉시블 전기소자 및 OLED 디스플레이 개발에 매진

※ 플렉시블 전자소자 개발을 위해서는 제품의 고기능, 저가 제작, 고효율 에너지 구현 등을 갖춘 기술개발 필요

- 삼성, LG, Universal Display, Encapsulix, Fuji, Beneq, Apple 등의 대기업들은 다양한 봉지기술을 개발

※ 연구소 및 대학은 그래핀 기반 소자에 대한 배리어 박막의 성능 향상 연구에 집중하고 있음

결론 및 시사점

- OLED는 LCD를 이을 차세대 디스플레이 소재면서 차세대 조명 소자로써 각광받고 있는 소재

※ 지속적인 시장 성장 및 관련 기술개발이 활발히 진행되고 있음

- OLED 조명은 전 세계적으로 시장형성 초기단계이므로 선제적이고 전주기적인 지원을 통하여 시장선점 및 확대가 필요

※ OLED의 얇으면서 가벼운 필름형태의 특징을 활용한 OLED 조명의 기술개발이 더욱 가속화 될 것으로 전망

- OLED 디스플레이의 대면적화뿐만 아니라, 플렉시블 디스플레이 및 조명의 상용화를 위해서는 산소 및 수분 차단성과 유연성을 갖춘 OLED 봉지기술의 개발이 필요

※ 봉지기술의 저가 및 단순공정 개발을 통하여 OLED 광원, OTFT(유기 박막 트랜지스터, Organic Thin-Film Transistor), 스마트 윈도우 등의 핵심산업 기반기술 확보가 필요

- 플렉시블 OLED의 대면적화와 실용화를 위해서는 TFE의 신뢰성 및 고온/고습 평가*를 통하여 무기/유기 하이브리드 구조의 다층 적층에서 나타나는 박리현상에 대한 문제점의 보안이 필요

* 일반적으로 240시간 이상, 85℃, 85% RH(상대습도)에서 테스트

참고자료

- OLED 봉지기술의 핵심은 '하이브리드 인캡슐레이션', 2015, 전기신문
- 하이브리드 OLED 봉지 재료 시장 '빵 '터진다… 연평균 74% 성장, 2015, 디지털데일리
- 이태림, 특허정보 조사를 통한 OLED 조명기술에 관한 분석, 2009, 서울시립대학교
- OLED용 최신 봉지기술에 관한 국내 특허 동향, 2014, 화학소재정보은행
- OLED 조명 기술의 최신 기술 및 장래 전망, 2013, 한국전자통신연구원
- 박종운, 신동찬, "장수명 OLED 봉지기술 및 개발 동향", 전기전자재료 제25권, 제6호, p.32-32
- LG디스플레이 블로그, http://blog.naver.com/youngdisplay?Redirect=Log&logNo=60198093802
- 서정한, OLED 디스플레이를 위한 봉지기술 연구, 2014, 한양대학교
- Advancements in Encapsulation Technology, 2015, Frost & Sullivan
- http://www.olednet.net, OLEDNET
- http://www.ubiresearch.co.kr, 유비산업리서치
- KEIT PD issue report. vol.13-3, 2013, 한국산업기술평가관리원
- OLED 주조명 신산업화 전략, 2013, 한국산업기술평가관리원