

## 평판 유리로 봉인된 다층 무기 박막을 갖는 OLED 봉지 방법

박민경<sup>1</sup>, 주성후<sup>2,a</sup>, 양재웅<sup>2</sup>, 백경갑<sup>3</sup>

<sup>1</sup> (주) 뉴옵틱스 신기술팀

<sup>2</sup> 대진대학교 신소재공학과

<sup>3</sup> 대진대학교 전자공학과

## Encapsulation Method of OLED with Inorganic Multi-layered Thin Films Sealed with Flat Glass

Min-Kyung Park<sup>1</sup>, Sung-Hoo Ju<sup>2,a</sup>, Jae Woong Yang<sup>2</sup>, and Kyeong-Kap Paek<sup>3</sup>

<sup>1</sup> New Technology, NEW OPTICS LTD., Yangju 482-872, Korea

<sup>2</sup> Department of Advanced Materials Science & Engineering, Daejin University, Pocheon 487-711, Korea

<sup>3</sup> Department of Electronic Engineering, Daejin University, Pocheon 487-711, Korea

(Received July 10, 2011; Revised September 9, 2011; Accepted October 14, 2011)

**Abstract:** To study encapsulation method for large-area organic light emitting diodes (OLEDs), red emitting OLEDs were fabricated, on which LiF and Al were deposited as inorganic protective films. And then the OLED was attached to flat glass by printing method using epoxy. In case of direct coating of epoxy onto OLED by printing method, luminance and current efficiency were remarkably decreased because of the damage to the OLED by epoxy. In case of depositing LiF and Al as inorganic protective films and then coating of epoxy onto OLED, luminance and current efficiency were not changed. OLED lifetime was more increased through inorganic protective films between OLED and flat glass than that without any encapsulation (8.8 h), i.e., 47 (LiF/Al/epoxy/glass), 62 (LiF/Al/LiF/epoxy/glass), and 84 h (LiF/Al/Al/epoxy/glass). The characteristics of OLED encapsulated with inorganic protective films (attached to flat glass) showed the possibility of application of protective films.

**Keywords:** OLED, Encapsulation, Flat glass, Inorganic protective film

### 1. 서론

OLED (organic light emitting diode)는 광 시야각, 높은 대조비, 빠른 응답속도, 경량, 박형의 특성을 갖는 자발광소자이며, 완전 고체 소자로 견고하고, 제조 공정을 단순화시킬 수 있어 저가격화가 가능하며, 플라스틱 기판을 적용하여 플렉시블 소자의 제작에도 적합한 특성을 가지고 있다 [1,2]. OLED는 많은 장점

을 가지고 있음에도 불구하고 대기 중의 수분이나 산소에 노출될 경우 흑점을 유발하고, 음극전극으로 사용되는 박막에 존재하는 핀 홀 (pin-hole)과 같은 결함을 통해 투과되는 산소와 수분에 의해 수 시간 내에 성능이 저하된다 [2-4]. 따라서 긴 수명을 유지하기 위해서는 외부로부터 유입되는 산소나 수분의 침투를 방지하기 위한 봉지기술이 요구된다.

봉지기술에 대한 연구는 주로 가공된 금속이나 유리 캡슐을 부착하는 방법과 유-무기 다층 박막을 적층하는 방법이 진행되었다. 유리 캡슐이나 금속 캡슐

a. Corresponding author: [sunghooju@daejin.ac.kr](mailto:sunghooju@daejin.ac.kr)

을 사용하는 경우는 뛰어난 봉지특성을 보여줌에도 불구하고 공정상의 어려움과 캡슐 가공에 따른 원가 상승 및 캡슐의 처짐에 의한 소자의 손상 등으로 대면적 디스플레이 및 조명용 소자에 적용하기 어렵다는 단점이 있다 [5,6]. 유-무기 다층 박막을 적층하여 보호막을 형성하는 경우는 OLED 소자의 수명을 확보하기 위하여 필요한 산소 투과율 ( $10^{-6}$  cc/m<sup>2</sup>·day)과 수분 투과율 ( $10^{-6}$  g/m<sup>2</sup>·day)을 확보하지 못하여 산소와 수분 투과율 향상에 대해 보다 많은 연구가 필요로 하고 있다 [7,8].

본 연구에서는 유리 캡슐을 사용하는 봉지 방법이 갖고 있는 문제점인 캡슐의 처짐에 의한 소자의 손상을 방지하고, 캡슐 가공에 의한 원가 상승의 문제점을 해결하기 위하여 가공하지 않은 평판 유리를 부착하는 봉지방법에 대한 연구를 하였다. 적색 발광의 OLED 단위 소자를 제작하고, 소자 위에 무기 완충층으로 LiF와 Al 박막을 형성한 후 평판 유리에 에폭시를 스크린 인쇄 방법에 의하여 형성한 후 부착하였다. 제작된 OLED 소자의 전기적·광학적 특성인 전압-전류-휘도와 반감 수명을 측정하였다.

## 2. 실험 방법

OLED 소자를 제작하기 위하여 두께 150 nm, 면저항 12 Ω/□, 표면 평탄도 1 nm의 특성을 가지는 ITO (indium tin oxide)가 증착된 유리 기판을 사용하였다. 아세톤 (acetone), 이소프로필알콜 (isopropyl alcohol) 및 중성세제를 사용하여 기판의 먼지와 불순물을 제거하고, 사진 식각공정을 통하여 ITO의 패턴을 형성하였고, RF (radio frequency) 발생장치를 이용하여 산소분위기에서 플라즈마로 표면 처리를 하였다. 유기 박막 형성을 위하여 진공 용기 내부의 진공도를  $1.0 \times 10^{-6}$  torr 이하로 유지하고, ITO 전극 위에 1.5 Å/s의 증착율로 정공 주입층으로 2-TNATA를 50 nm, 정공 수송층으로 α-NPD를 30 nm, 발광층으로 Alq<sub>3</sub>:Rubrene을 30 nm, 전자 수송층으로 Alq<sub>3</sub>를 30 nm 증착하였다. 이후 LiF를 0.5 Å/s의 증착율로 0.7 nm, Al를 1.5 Å/s의 증착율로 100 nm 두께로 증착하여 OLED 소자를 제작하였다.

제작된 OLED 소자를 접착제로 사용되는 에폭시에 의한 손상으로부터 보호하기 위하여 OLED의 보호막으로 소자 위에 각각 150 nm 두께의 LiF와 Al을 다층 구조로 열 증착하고, 평판 유리의 부착을 위하여 평판

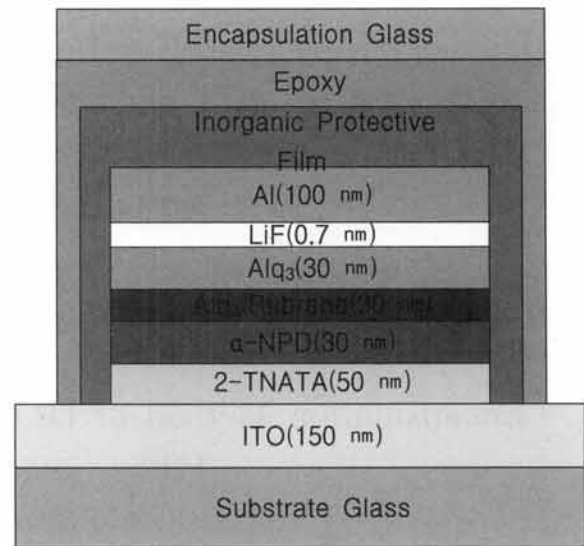


Fig. 1. Encapsulation structure of OLED with an inorganic protective film between OLED and flat glass.

유리 위에 에폭시를 스크린 인쇄한 후 소자가 제작된 기판과 결합하였다. 이와 같이 제작된 OLED 소자의 구조를 그림 1에 나타내었다.

제작된 OLED 소자를 발광시키기 위하여 양극인 ITO 전극에 (+) 전압을 인가하고, 음극인 Al 전극에 (-) 전압을 인가하는 전원 인가 장치로 소스미터 (Keithley instruments, Keithley 2400)를 사용하여 전압과 전류를 인가하였고, 소자에서 발광된 빛의 광학적 특성은 spectrascan (photo research, PR-650)을 사용하여 측정하였다. 소자의 수명은 OLED 수명 측정 시스템 (JYS Co., Ltd.)을 사용하여 측정하였다. OLED 소자의 수명은 초기 휘도를 1,000 cd/m<sup>2</sup>로 설정하고 항온 항습기를 사용하여 30°C의 온도와 60%의 상대습도 분위기에서 일정한 DC 전압을 공급하여 초기 휘도의 50%가 되는 시간을 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

그림 2는 ITO (150 nm)/2-TNATA (50 nm)/α-NPD (30 nm)/Alq<sub>3</sub>:Rubrene (30 nm)/Alq<sub>3</sub> (30 nm)/LiF (0.7 nm)/Al (100 nm) 구조로 제작된 OLED 소자 (OLED#01)와 OLED#01 구조의 소자 위에 5분 동안 자외선을 조사한 소자 (OLED#02), OLED#01 구조의 소자 위에 에폭시를 인쇄 방법에 의하여 코팅한 후 자외선으로 5분 동안

조사하여 에폭시를 경화시킨 소자 (OLED#03), OLED#01 구조의 소자 위에 에폭시를 코팅한 후 평판 유리를 부착하고 자외선으로 5분 동안 조사하여 에폭시를 경화한 소자 (OLED#4)에 대한 인가전압에 따른 발광휘도와 전류 발광효율을 나타낸 것이다.

그림 2(a)에서 인가전압에 따른 발광휘도는 인가전압이 증가함에 따라 발광휘도는 지수 함수적으로 증가하였다. 인가전압이 8 V인 경우 발광휘도는 887.8 (OLED#01), 934.8 (OLED#02), 195.3 (OLED#03), 31.5 cd/m<sup>2</sup> (OLED#04)로 OLED#01과 OLED#02는 유사한 발광휘도를 나타내었으나, OLED#03과 OLED#04는 발광휘도가 현격히 감소하였다. 그림 2(b)는 인가전압에 따른 전류 발광효율을 나타낸 것으로 발광휘도가 1,000 cd/m<sup>2</sup>일 때의 전류 발광효율을 비교해 보면 9.49 (OLED#01)와 9.99 (OLED#02), 3.01 (OLED#03), 0.3 cd/A (OLED#04)로 OLED#01과 OLED#02는 유사한 전류 발광효율을 나타내었으나 OLED#03과 OLED#04의 전류 발광효율은 현저하게 감소하였다. OLED#01과 OLED#02의 발광휘도와 전류 발광효율을 비교하여 볼 때 자외선 조사에 의한 OLED 소자의 영향은 없는 것으로 판단할 수 있고, OLED#02와 OLED#03을 비교하여 볼 때 에폭시를 도포한 경우에 에폭시로 인해 OLED 소자에 손상을 크게 가져와 발광휘도와 전류 발광효율이 현격하게 감소함을 알 수 있었다. 또한 OLED#03과 OLED#04를 비교하여 볼 때 평판 유리의 부착으로 인하여 발광휘도와 전류 발광효율이 보다 크게 감소하여 OLED 소자의 손상 정도가 심하게 나타나는 것을 알 수 있었다. 이 결과는 에폭시의 용매가 OLED 소자에 심각한 손상을 가져오고, 평판 유리를 부착하는 경우에는 경화 시 방출되는 가스의 외부 방출이 어렵게 되어 소자에 보다 많은 영향을 주고 있는 것으로 판단된다. 따라서 에폭시에 의한 OLED 소자의 손상을 방지하기 위하여 에폭시로부터 소자에 침투하는 용매와 방출 가스를 차단하기 위한 보호막이 필요함을 알 수 있었다.

그림 3은 에폭시에 의한 OLED 소자의 손상을 방지하기 위하여 OLED/LiF/Al (OLED#11), OLED/LiF/Al/LiF (OLED#12), OLED/LiF/Al/Al (OLED#13) 구조의 무기 보호막을 갖는 OLED 소자를 제작하여 인가전압에 따른 발광휘도와 전류 발광효율을 측정하였다. 보호막으로 사용된 LiF와 Al 각 층의 두께는 150 nm로 저항가열에 의한 진공 증착법으로 성막하였다. 그림 3(a)의 인가전압에 따른 발광휘도는 인가전압이 증가함에 따라 지수 함수적으로 증가하고 있다.

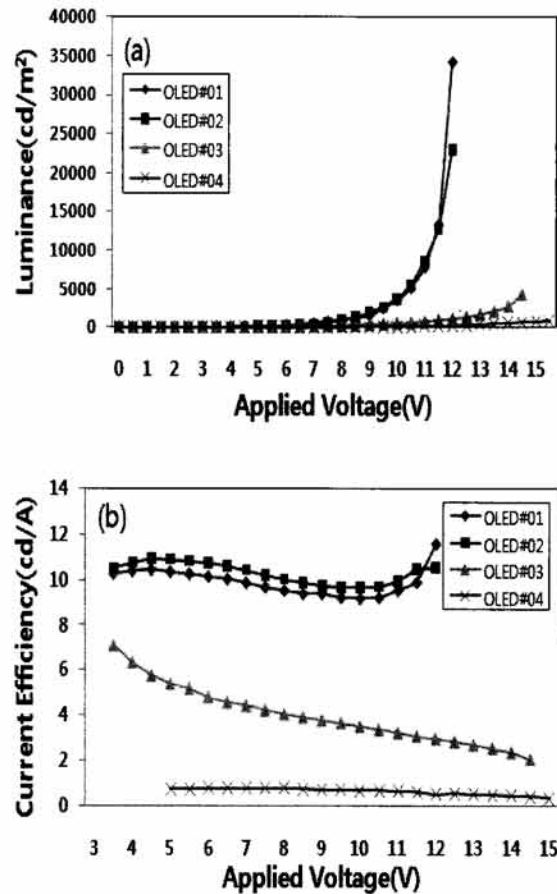


Fig. 2. Emission characteristics of OLEDs with or without epoxy (a) luminance-applied voltage, (b) current efficiency-applied voltage.

인가전압이 8 V인 경우 발광휘도는 887.8 cd/m<sup>2</sup> (OLED#01)과 905.9 cd/m<sup>2</sup> (OLED#11), 1,138 cd/m<sup>2</sup> (OLED#12), 956.9 cd/m<sup>2</sup> (OLED#13)을 나타내었다.

그림 3(b)는 인가전압에 따른 전류 발광효율을 나타낸 것으로 발광휘도가 1,000 cd/m<sup>2</sup>일 때의 전류 발광효율은 9.49 (OLED#01)과 9.98 (OLED#11), 9.97 (OLED#12), 9.87 cd/A (OLED#13)를 나타내었다. OLED#01과 OLED#11, OLED#12, OLED#13을 비교하여 볼 때 OLED 소자 위에 LiF와 Al의 무기막 형성으로 음극 전극으로 사용되는 Al 표면의 산화를 방지하여 음극의 저항이 감소하게 되어 발광휘도 및 전류 발광효율이 동등 이상의 값을 나타내었고 OLED 소자의 손상은 없는 것으로 확인할 수 있었다 [9].

그림 4는 보호막 위에 에폭시를 형성한 OLED/LiF/Al/epoxy (OLED#21), OLED/LiF/Al/LiF/epoxy (OLED#22), OLED/LiF/Al/Al/epoxy

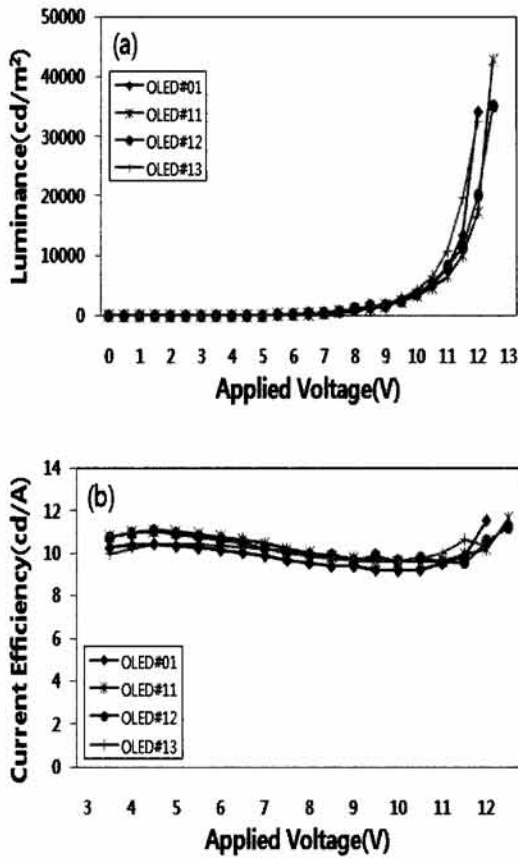


Fig. 3. Emission characteristics of OLEDs with an inorganic protective film without epoxy. (a) luminance-applied voltage, (b) current efficiency-applied voltage.

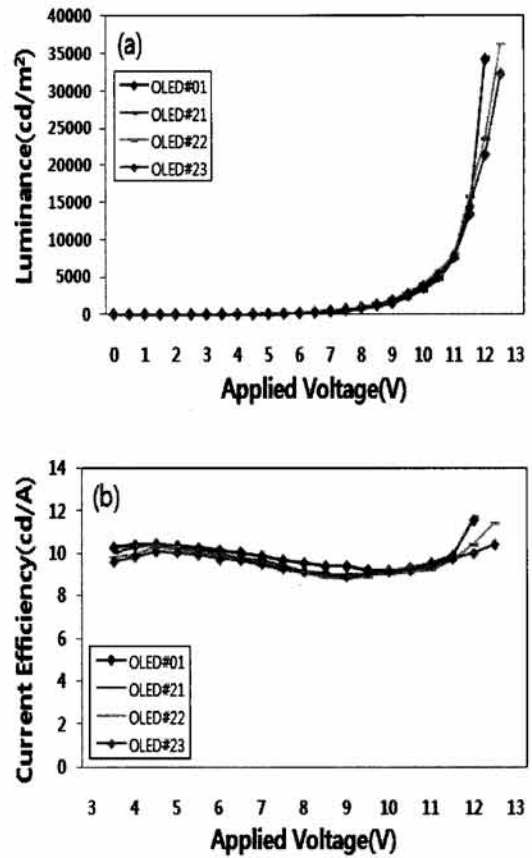


Fig. 4. Emission characteristics of OLEDs with inorganic protective film and epoxy (a) luminance-applied voltage, (b) current efficiency-applied voltage.

(OLED# 23) 구조로 제작한 소자의 인가전압에 대한 발광휘도와 전류발광효율을 나타낸 것이다. 그림 4(a)에서 인가전압이 증가함에 따라 발광휘도는 지수 함수적으로 증가하고, 인가전압이 8 V인 경우 발광휘도는 887.8 (OLED#01)과 786 (OLED#21), 945.2 (OLED#22), 889.8 cd/m<sup>2</sup> (OLED#23)를 나타내었다. 그림 4(b)는 인가전압에 따른 전류발광효율을 나타낸 것으로 발광휘도가 1,000 cd/m<sup>2</sup>일 때의 전류발광효율을 비교해 보면, 9.49 (OLED#01)과 9.01 (OLED#21), 9.05 (OLED#22), 9.10 cd/A (OLED#23)를 나타내었다. 그림 4의 결과는 OLED#01 소자와 비교하여 발광휘도와 전류발광효율에서 유사한 값을 나타내었다. 그러나 그림 3의 무기 보호막만을 형성한 소자의 발광 특성과 비교하면 에폭시의 형성으로 인하여 오차범위를 넘어 작은 감소가 일어난 것으로 판단되고, 특히 OLED#21 구조에서 보다 많은 감소가 관측되었다. 이 현상은 LiF/Al,

LiF/Al/LiF 및 LiF/Al/Al의 무기막이 완벽한 보호막으로써 부족한 점이 있으나 그림 2의 결과와 비교하여 보호막으로의 적용이 가능함을 보여준 것으로 판단된다. 무기 보호막 형성으로 인하여 에폭시에 의한 OLED 소자의 손상을 차단할 수 있는 결과를 그림 4로부터 확인하였고, 최종적으로 평판 유리를 부착한 OLED/LiF/Al/epoxy/glass (OLED#31), OLED/LiF/Al/LiF/epoxy/glass (OLED#32), OLED/LiF/Al/Al/epoxy/glass (OLED#33) 구조의 소자를 제작하였다. 그림 5는 평판 유리를 부착한 OLED 소자의 인가전압에 대한 발광휘도 및 전류발광효율을 측정된 결과이다. 그림 5(a)는 인가전압에 대한 발광휘도의 그래프로 8 V의 인가전압에서 발광휘도는 887.8 (OLED#01)과 560.8 (OLED#31), 613.8 (OLED#32), 612.6 cd/m<sup>2</sup> (OLED#33)를 나타내었다. 에폭시 위에 평판 유리를 부착함으로써 동일한 휘도를 얻기 위한 인가전압은 다소 증가하였다. 따라서 그림 4의 결과

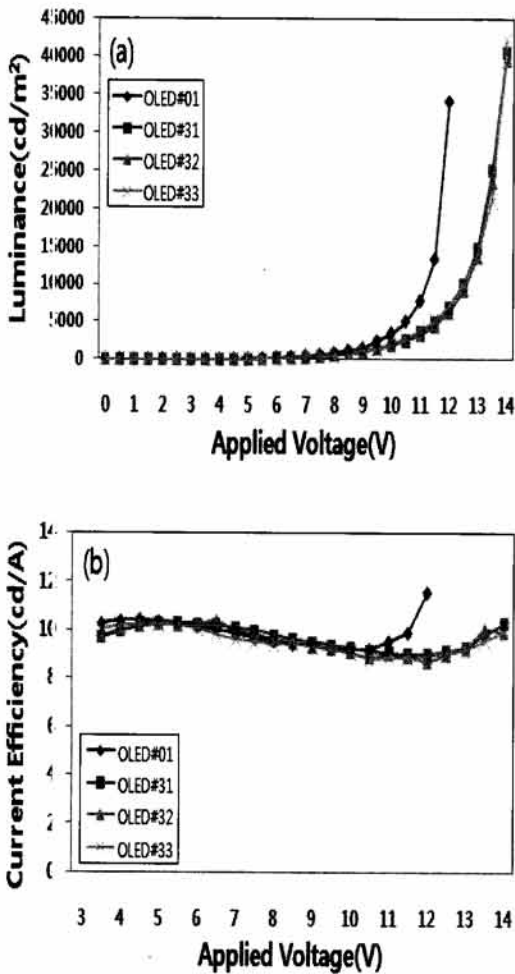


Fig. 5. Emission characteristics of OLEDs with an inorganic protective film between OLED and flat glass cover. (a) luminance-applied voltage, (b) current efficiency-applied voltage.

와 비교하면 평판 유리의 부착으로 에폭시의 경화과정에서 방출되는 유해 가스가 평판 유리에 의하여 외부로 방출되지 못하게 되어 소자로 일부 침투하여 소자의 인가전압을 높이는 것으로 예상된다. 그림 5(b)는 인가전압에 대한 전류발광효율을 나타낸 것으로 1,000 cd/m<sup>2</sup>일 때 각 소자의 전류발광효율을 비교해보면 9.49 (OLED#01)과 9.54 (OLED#31), 9.39 (OLED#32), 9.38 cd/A (OLED#33)이었다. OLED#01 소자와 비교하여 평판 유리를 부착한 소자의 전류발광효율은 오차 범위 이내의 변화이고, 그림 4의 결과와 비교하여서도 오차 범위 내에서 변화하고 있음을 알 수 있다. 따라서 인가전압은 작은 변화가 있으나 전류발광효율에는 변화가 없어 보호막으로의 적용이 가능함을 확인할 수 있었다.

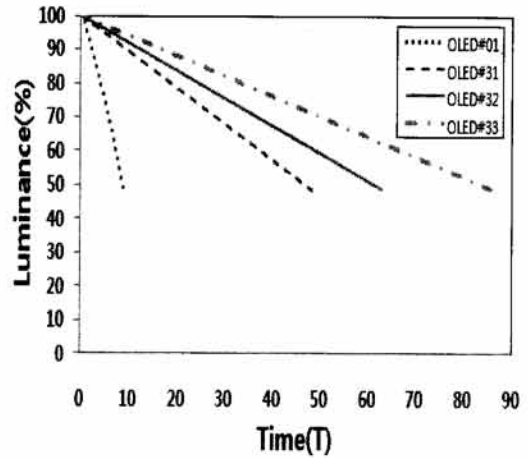


Fig. 6. Lifetime characteristics of OLEDs with an inorganic protective film between OLED and flat glass cover.

그림 6은 무기 보호막을 적용하여 평판 유리를 부착한 OLED 소자의 수명을 측정한 결과이다. OLED 소자의 수명은 ITO (150 nm)/2-TNATA (50 nm)/ $\alpha$ -NPD (30 nm)/Alq<sub>3</sub>:Rubrene (30 nm)/Alq<sub>3</sub> (30 nm)/LiF (0.7 nm)/Al (100 nm) 구조로 제작된 OLED#01과 OLED#01 소자 위에 무기 보호막으로 LiF/Al을 적층하고 평판 유리를 부착한 OLED#31, 무기 보호막으로 LiF/Al/LiF을 적층하고 평판 유리를 부착한 OLED#32, 무기 보호막으로 LiF/Al/Al을 적층하고 평판 유리를 부착한 OLED#33 소자에 대하여 수명을 측정하였다. 각 소자의 수명은 8.8 (OLED#01)과 47 (OLED#31), 62 (OLED#32), 84시간 (OLED#33)을 나타내었다. 이 결과에서 소자의 수명이 평판 유리를 부착하기 전에 사용한 무기 보호막의 종류에 따라 크게 의존하고 있음을 확인할 수 있었다.

그림 7(a)는 OLED 소자 위에 에폭시를 직접 형성한 소자의 사진을 나타낸 것이고, 그림 7(b)는 LiF/Al/Al을 적층하고 에폭시를 형성한 소자의 사진을 나타낸 것이다. 그림 7(a)의 OLED 소자 위에 직접 에폭시를 형성한 경우에는 매우 많은 흑점이 형성된 것을 볼 수 있다. 소자를 증착한 다음 바로 에폭시를 적용하게 되면 에폭시 자체가 포함하고 있는 수분이 경화하는 과정에서 음극과 직접 반응하여 막이 들뜨거나 발광이 안 되는 현상에 의하여 나타난 결과이다 [7]. LiF/Al/Al을 적층하고 에폭시를 형성한 경우에는 흑점이 나타나지 않음을 볼 수 있다. 따라서 LiF/Al/Al의 형성이

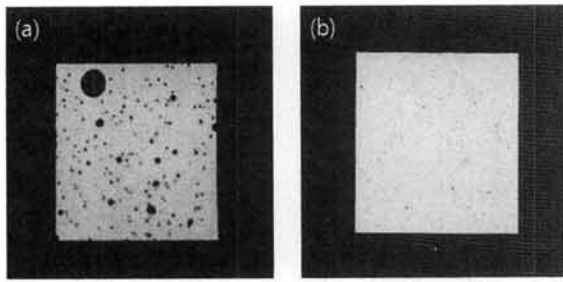


Fig. 7. Picture of OLED with (a) epoxy and (b) LiF/Al/Al/epoxy.

에폭시에 의한 소자의 손상을 막을 수 있다는 것을 알 수 있다. 이 결과는 외부의 영향이 보호막에 따라 크게 변화하기 때문인 것으로 해석할 수 있으며, 보호막의 특성 연구 및 물질에 대한 연구가 평판 유리를 부착하는 봉지방법에서는 매우 중요한 요소임을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결론

대면적에 적합한 OLED의 봉지를 위하여 ITO (150 nm)/2-TNATA (50 nm)/ $\alpha$ -NPD (30 nm)/Alq<sub>3</sub>:Rubrene (30 nm)/Alq<sub>3</sub> (30 nm)/LiF (0.7 nm)/Al (100 nm) 구조의 OLED를 제작하고 LiF와 Al을 무기 보호막으로 증착하여 에폭시를 형성한 후 평판 유리를 부착하는 봉지방법에 대한 연구를 수행하였다.

OLED 위에 직접적으로 에폭시를 인쇄 방법으로 코팅한 후 자외선으로 5분 동안 조사하여 에폭시를 경화시킨 소자의 경우 에폭시에 의한 OLED의 손상으로 인하여 발광휘도와 전류발광효율이 현저히 감소함을 관측하였다.

그러나 OLED 위에 무기 보호막으로 LiF와 Al을 적층하고 에폭시를 코팅한 경우 발광휘도와 전류발광효율의 변화가 매우 작아 보호막으로의 적용이 가능한 것으로 판단되었다.

최종적으로 LiF/Al, LiF/Al/LiF와 LiF/Al/Al의 무기 보호막을 형성하고 에폭시를 사용하여 평판 유리를 부착한 OLED의 경우 전류발광효율은 오차 범위 내에서 일정한 값을 나타내었고, 소자의 수명은 제작된 초기 소자의 경우 8.8시간 (OLED#01) 으로부터 무기 보호막에 따라 47시간 (LiF/Al), 62시간 (LiF/Al/LiF), 84시간 (LiF/Al/Al)으로 증가하였다.

따라서 평판 유리를 부착하는 방법을 적용한 OLED 소자의 봉지 방법에서는 소자의 수명이 평판 유리를 부착하기 전에 사용하는 보호막에 크게 의존하고 있음을 알 수 있었고, 이 결과는 외부의 영향이 보호막에 따라 크게 변화하기 때문인 것으로 해석할 수 있으며, 보호막의 특성 연구 및 물질에 대한 연구가 평판 유리를 부착하는 봉지 방법에서는 매우 중요한 요소임을 확인할 수 있었다.

#### REFERENCES

- [1] C. W. Tang and S. A. VanSlyke, *Appl. Phys. Lett.*, 51, 913 (1987).
- [2] S. H. Ju, *J. KIEEME*, 19, 758 (2006).
- [3] Y. Sato, S. Ichikawa, and H. Kanai, *IEEE J. Selected Topics in Quantum Electron.*, 4, 40 (1998).
- [4] Z. D. Popovic and H. Aziz, *IEEE J. Selected Topics in Quantum Electron.*, 8, 362 (2002).
- [5] H. Kubota, S. Miyaguchi, S. Ishizuka, T. Wakimoto, J. Funaki, Y. Fukuda, T. Watanabe, H. Ochi, T. Sakamoto, T. Miyake, M. Tsuchida, I. Ohshita, and T. Tohma, *J. Lumin.*, 87, 56 (2000).
- [6] Z. Y. Xie and L. S. Hung, *Appl. Phys. Lett.*, 84, 1207 (2004).
- [7] J. A. Lim, S. H. Ju, and J. W. Yang, *J. Kor. Inst. Surf. Eng.*, 42, 287 (2009).
- [8] B. S. Lee, S. H. Ju, and J. W. Yang, *J. Kor. Inst. Surf. Eng.*, 41, 102 (2008).
- [9] Y. S. Park, J. W. Yang, and S. H. Ju, *J. KIEEME*, 23, 696 (2010).