

직물형 디스플레이 소자

- 국내 연구 동향

목차

- I. 개요
- II. 소자 구현을 위한 주요 기술
- III. 국내 연구 동향

I .개요

- 스마트 텍스타일이란 고품질, 고성능의 섬유 및 텍스타일 제조 등 타 기술과의 융합을 통해 다양하고 높은 기능을 갖는 섬유 소재
- 현재는 IT(information technology), NT(nano technology) 등 타 기술과의 융합을 통해 주변환경을 감지하고 그 변화에 따라 능동적으로 대응할 수 있는 형태로 발전 중
- 다양한 스마트 텍스타일 기술 중 기능을 직관적으로 컨트롤하기 위해 필수적인 직물 기반의 웨어러블 디스플레이 기술이 더욱 주목을 받고 있음
- 최근 차세대 디스플레이 소자로 각광받고 있는 유기 발광 다이오드(Organic Light Emitting Diode, OLED)를 직물 기반의 디스플레이에 적용하려는 연구가 시도되고 있으며 다양한 적용 사례들이 나오고 있음
- 직물형 디스플레이 소자로 사용할 수 있는 OLED는 매우 얇고 유연성이 뛰어난 유기물질을 기반으로 이루어져 있어 직물 기반의 의복 형태로 제작되어도 착용자의 불편함을 최소화할 수 있으며 스스로 빛을 낼 수 있는 자발광소자이어서 인체에 무해한 낮은 전압 범위에서 동작이 가능하며 높은 휘도를 만들어 낼 수 있다는 장점이 있음

II. 소자 구현을 위한 기술

1. 평탄화 기술

- 직물들은 섬유가 직조되면서 생기는 단차로 인해 표면이 거칠어 박막 전자 소자들을 직물에 공정하는 것은 어려운 특성이 있음. 이러한 단점은 직물 OLED 소자 제작 시 되면 직물의 거칠기로 인해 누설전류가 많이 발생되어 소자의 안정적인 동작이 불가능해짐을 야기함
- 따라 직물형 OLED 소자에 적합한 직물 기판을 제작하기 위해 직물 고유의 유연성 저하를 최소화하며 거칠기를 줄일 수 있는 평탄화 공정을 거쳐야 하며 일반적으로 반복적인 폴리머 코팅이나 필름 부착을 기반으로 하는 평탄화 공정을 사용함

2. 투명 전극 제작 기술

- 기판으로 사용되는 직물은 투명하지 않기 때문에 OLED 소자의 발광층에서 발생하는 빛은 직물 방향이 아닌 바깥 방향을 통해 방출되는 데 바깥 방향으로 효과적으로 방출되려면 직물 소자의 상부 전극이 투명해야 함
- 최근 투명 전극의 재료로 전도성 고분자, 금속 나노와이어, 탄소 나노튜브(carbon nanotube, CNT)나 그래핀, dielectric-metal-dielectric(DMD) 구조의 다층 전극 등을 사용 용도에 맞춰서 선택적으로 활용하는 연구가 지속적으로 진행되고 있음

II. 소자 구현을 위한 기술

3. 기능성 봉지막 기술

- OLED 소자는 수분과 산소에 매우 취약한 것으로 알려져 있으며 수분과 산소에 노출되었을 경우 1시간 이내에 열화(degradation)가 진행되어 더 이상 빛이 발광 되지 않는 암점(dark spot)이 발생함
- 따라 직물 기반의 OLED 디스플레이 시스템의 안정적인 동작 시간을 확보하기 위해서 대기중의 수분과 산소가 OLED 소자 안으로 침투되지 못하도록 막아주는 박막 봉지막(thin-film encapsulation, TFE)이 필요함
- 유연성과 투명성을 동시에 만족하면서 대기중의 수분과 산소의 침투를 효과적으로 막아주는 기능성 봉지막을 위해 유기물과 무기물을 번갈아 증착하여 제작하는 다층 구조의 기능성 봉지막에 대한 연구결과가 발표되었으며 OLED의 수명을 안정적으로 확보할 수 있음이 밝혀짐

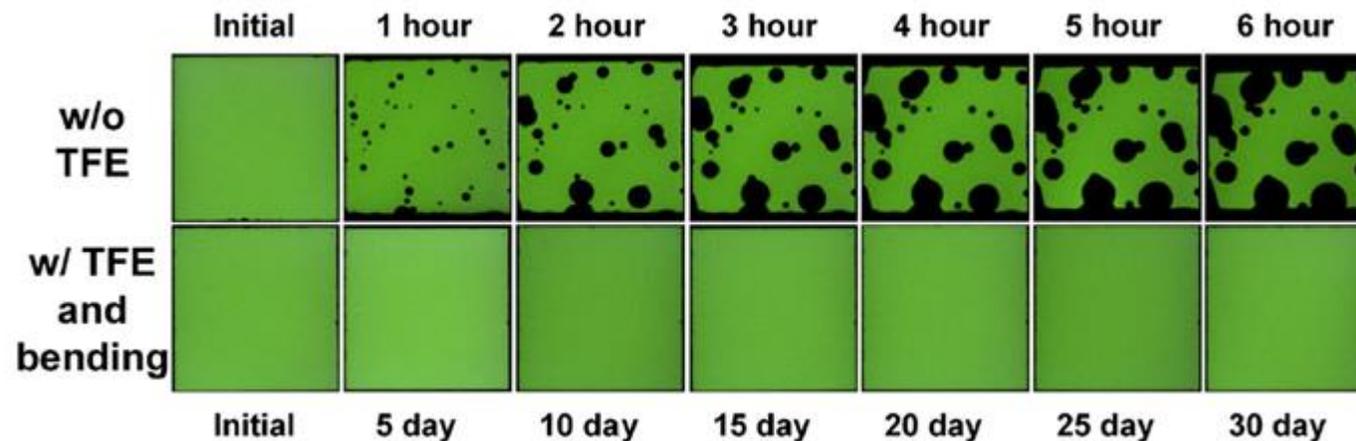


Figure 1. Comparison of shelf lifetime cell images with and without a TFR barrier

III. 국내 연구 동향

- E-textile은 인체에 친화적이어야 하며 캐퍼시터, 트랜지스터, 에너지 하베스팅 장치, 센서, 유기 태양전지 등과 같은 장치는 식물화 수준까지 연구가 되어왔으나 디스플레이 장치의 연구는 미미함
- 무기 OLED와 유기 OLED와 같은 전기 발광 장치가 e-textile 분야에서도 연구가 시작되었고, 무기 OLED 장치는 결함이 많기 때문에 상대적으로 장점이 많은 유기 OLED를 사용한 e-textile 연구가 더 활발히 진행되고 있음
- 최근 발전한 고분자 OLED를 공정이 간단한 Dip- Coating Method를 사용하여 섬유 위에 장치를 구현함(Figure 2)

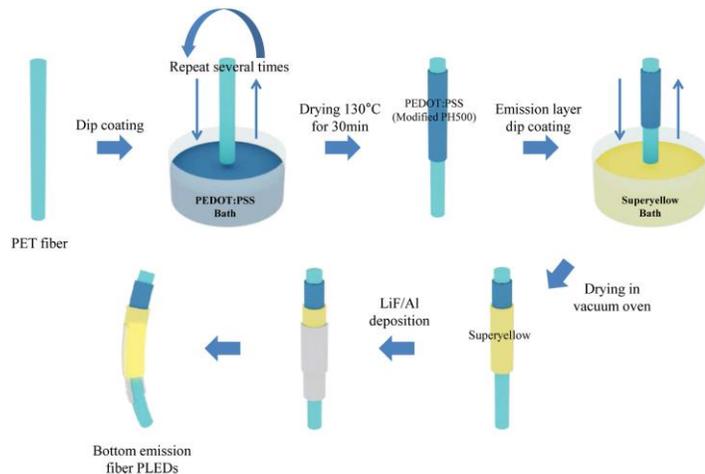


Figure 2. Dip-coating Method

- Dip-coating으로 증착된 각 층은 nm수준으로 아주 얇고 평탄화가 잘 되어 장치가 안정적이고 효율적으로 작동이 되었다고 함. 또한 이 방법은 다른 증착법과 비교해 비용이 싸고 식물화가 간단하며, roll to roll 공정 법을 사용한 대량 생산의 가능성을 알림

III. 국내 연구 동향

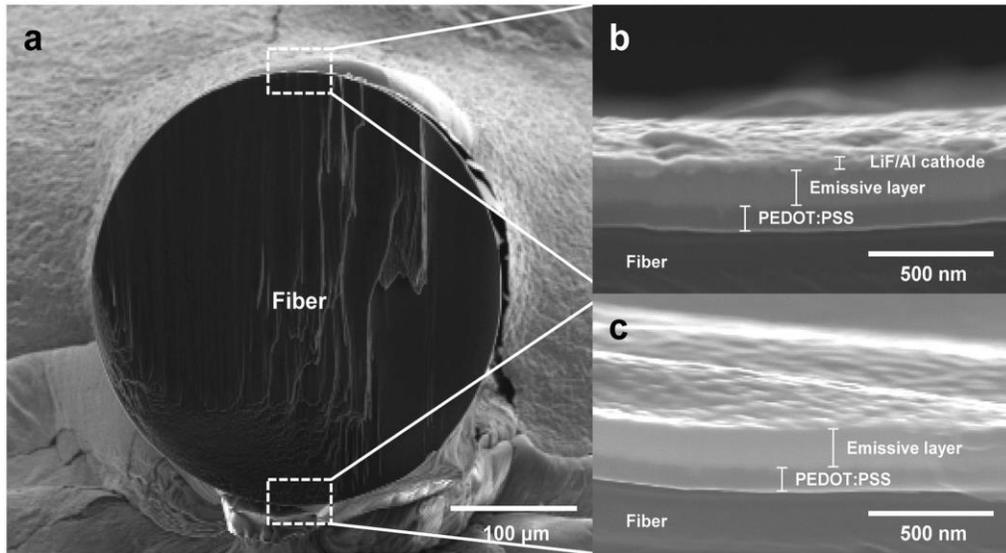


Figure 3.
 a) A cross-sectional SEM image
 b,c) high-resolution cross-sectional SEM image of fiber-based PLEDs.

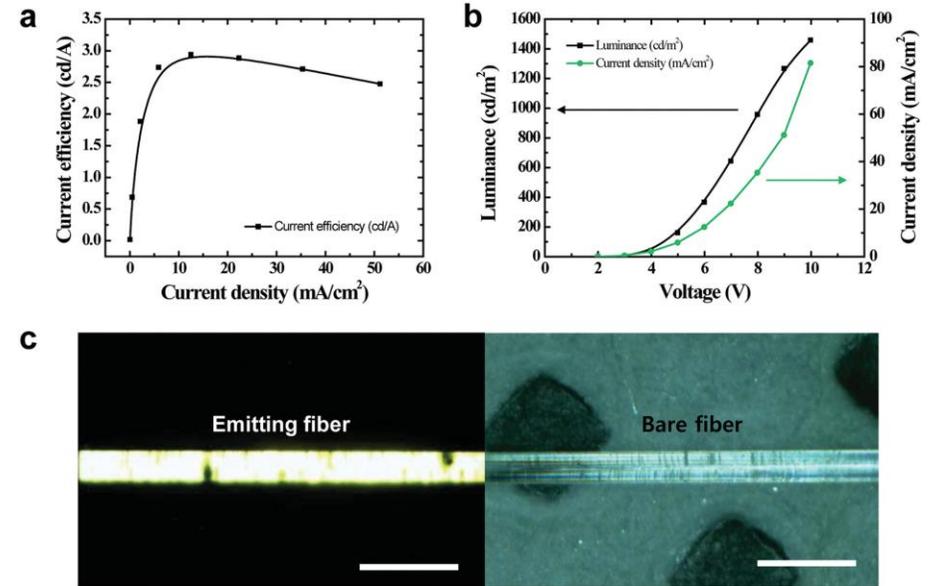


Figure 4.
 a) Current efficiency- Current density Curve
 b) Luminance-Voltage Curve
 c) Diagram of emitting fiber and bare fiber

- PLED(Polymer Light Emitting Device)를 dip-coating법을 사용하여 개별적인 섬유에 장착시켜 직물화했으며, 낮은 전압에서 1000cd/m²-2가 넘는 휘도를 보여주어 웨어러블 디스플레이로 사용할 수 있음(Figure 3 - 4)

III. 국내 연구 동향

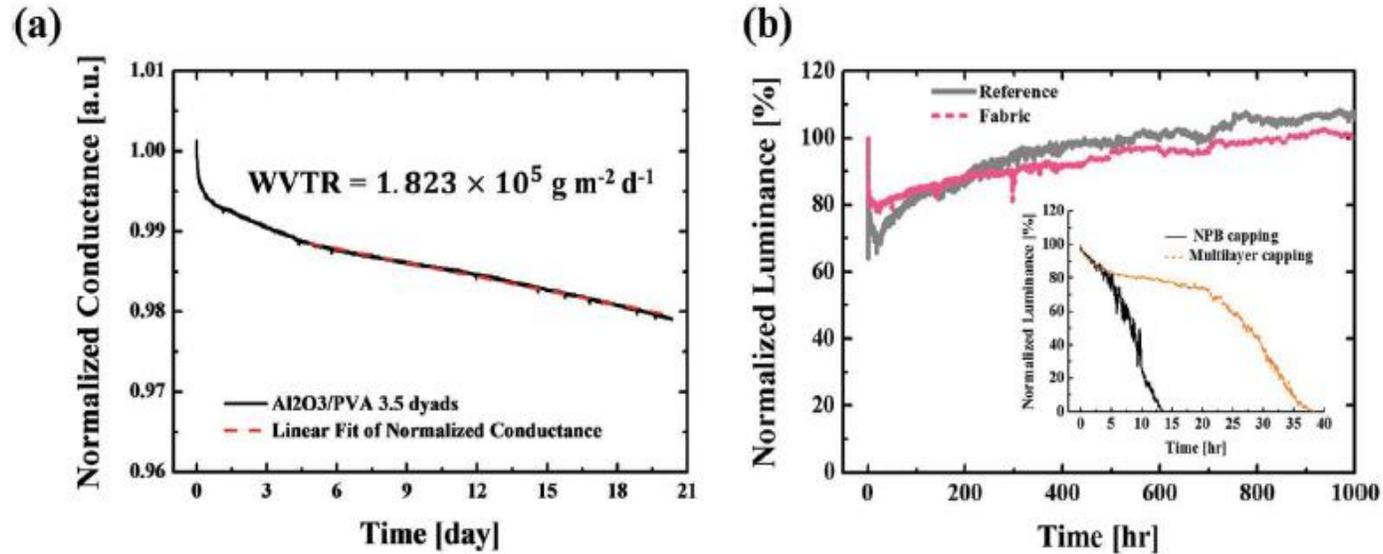


Figure 5.

a) Ca test results multilayer barrier films

b) Lifetime of encapsulated fabricbased OLEDs and glass-based OLEDs

- Poly Urethane film, Multilayer barrier film을 사용해 직물 위에 장치를 잘 증착시켰으며 수분이 침투할 수 있는 조건에 오랜 시간 노출시켰을 때에도 전기 전도도나 발광 효율이 우수하게 나타나 Multi-layer 구조를 통해 OLED 층을 습기와 산소로부터 보호할 수 있음을 도출함

Ⅲ. 국내 연구 동향

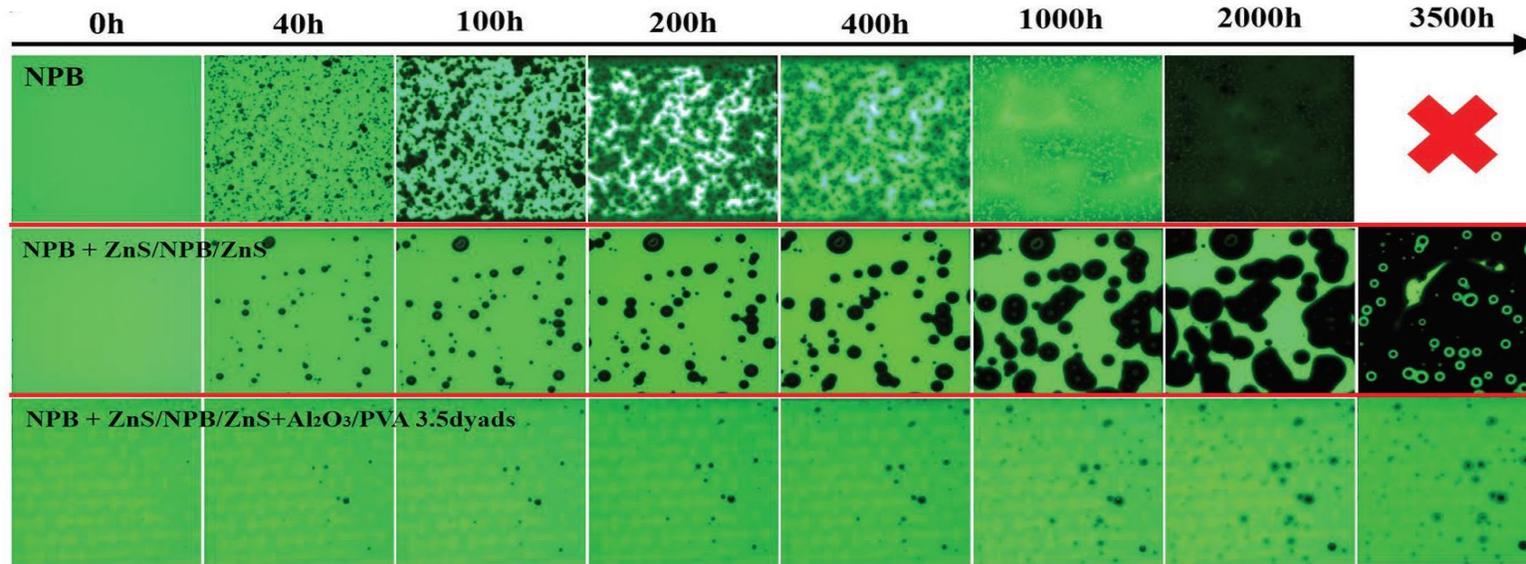


Figure 6. Microscope images of emitting cells for the NPB capped OLEDs, the multilayer capped(NPB/ZnS/NPB/ZnS) OLEDs, and the multilayer capped and barrier films

- 또한 다양한 물질을 보호막으로 사용한 장치의 경우 오랜 시간 후에도 dark spot과 같은 결함이 적게 발생하는 것을 알 수 있으며, 이는 적절한 방법을 통해 안정적 수준의 성능을 보일 수 있는 장치 개발이 가능함을 알 수 있음
- 이후 다양한 논문에서 직물형 디스플레이 소자의 성능과 내구성을 유지하는 방법에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있음

참고

- Seonil Kwon et al. High Luminance Fiber-Based Polymer Light-Emitting Devices by a Dip-Coating Method, *Adv. Electron. MATER.* 2015. 1. 1500103
- Woohyun Kim et al. Reliable Actual Fabric-Based Organic Light-Emitting Diodes: Toward a Wearable Display, , *Adv. Electron. MATER.* 2015. 1. 1500103
- Seungyeop Choi et al. Highly Flexible and Efficient Fabric-Based Organic Light-Emitting Devices for Clothing-Shaped Wearable Displays, *Scientific Reports* 7:6424(2017)
- Seonil Kwon et al. Weavable and Highly Efficient Organic Light-Emitting Fibers for Wearable Electronics: A Scalable, Low-Temperature Process, *Nano Lett.* 2018, 18, 1, 347-356
- Jinouk Song et al. Organic Light-Emitting Diodes: Pushing Toward the Limits and Beyond, *Adv. Mater.* 2020, 1907539
- 정은교 et al, 스마트 텍스타일 구현을 위한 OLED 기반 웨어러블 디스플레이 리뷰