

| 용액공정을 이용한 투명한 QLED 구현

스마트 윈도우, 증강현실 등의 분야에서 투명 디스플레이에 대한 관심과 수요가 증가하고 있다. 투명 디스플레이를 구현하기 위한 기술로는 스퍼터링, 열진공 증착, 용액공정 등이 있다. 이 중 스퍼터링, 잉크젯 등을 포함하는 용액공정은 고진공이 필요한 다른 방식과 비교하여 물질 소모량이 적고, 공정에 투입되는 에너지가 작으며, 공정이 단순하다는 장점을 가진다. 멜버른대학의 Skafidas 연구팀은 높은 색순도, 색재현율, 명암비 구현이 가능하여 차세대 디스플레이 기술로 주목받고 있는 QLED 기술과 용액공정을 접목하여 투명한 QLED를 구현하였다.

ITO와 은 나노와이어를 투명 전극으로 사용하고, 그 사이에 NiO 정공수송층, 양자점, ZnO 전자수송층을 스퍼터링을 통해 형성하였다. 전체 소자의 투명도는 시뮬레이션을 통해 가시광 영역에서 80% 이상의 투과율을 보여줄 것으로 예상하였다. 또한, NiO 후처리 온도조건이 275 °C 이하로 구성되어, 플렉서블 기판을 비롯한 다양한 기판에 투명 디스플레이 구성이 가능함을 보여주었다.

용액공정을 통해 투명한 QLED를 성공으로 보여주었으며, 이는 디스플레이뿐만 아니라 태양전지, 센서 등과 같은 양자점을

이용한 다양한 광전자 소자에 적용할 수 있는 가능성을 제시한다.

본 연구결과는 “Low-Temperature Solution-Processed Transparent QLED Using Inorganic Metal Oxide Carrier Transport Layers”의 제목으로 2022년 *Advanced Functional Materials*에 게재되었다.

〈Y. Yu *et al.*, *Adv. Funct. Mater.*, **32**, 2106387 (2022), DOI: 10.1002/adfm.202106387〉

| 잉크젯 프린팅을 이용한 고효율 QLED

QLED는 발광재료인 양자점 소재의 특성상 용액공정으로 제조되며, 특히 디스플레이 화소에 적용하기 위해서는 잉크젯 공정이 요구된다. 양자점 잉크는 주 구성물인 양자점 뿐 아니라, 잉크 용매, 첨가제와 그 구성 비율에 따른 제조법이 핵심 요소이며, 이를 통해 잉크에 요구되는 물성이 분산성, 보관성, 토출성, 선/후막 직교성 등을 확보할 수 있다.

본 연구에서는 3성분계 용매를 포함한 양자점 잉크를 이용하여 균일한 박막을 형성하고, 선/후막간의 직교성을 확보하여 고효율, 장수명의 잉크젯 프린팅 QLED를 구현하였다. 옥탄, 1-사이클로헥실에탄올, n-뷰틸아세테이트의

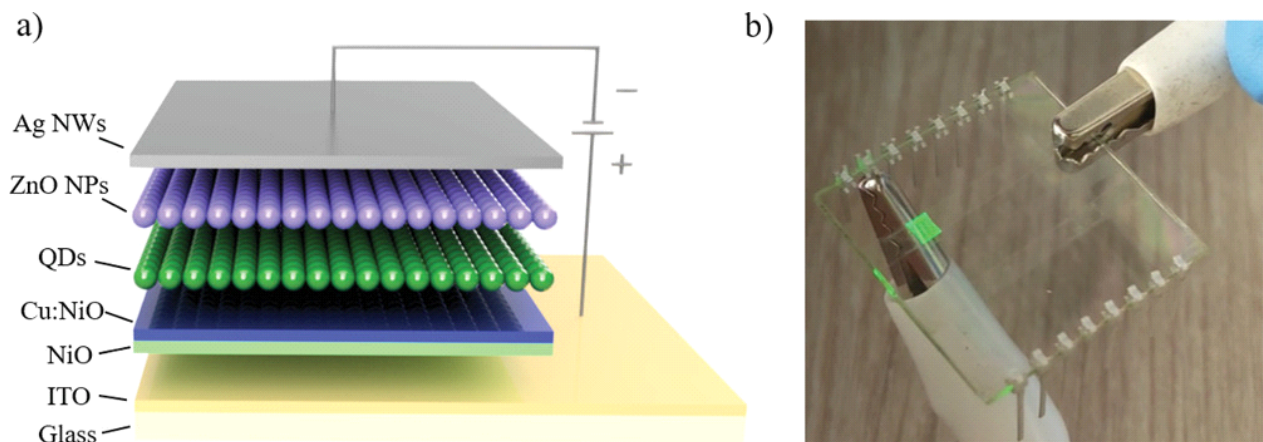


그림 1. (a) 투명 QLED 소자 구조, (b) 청색 투명 QLED 소자 구동 모습.

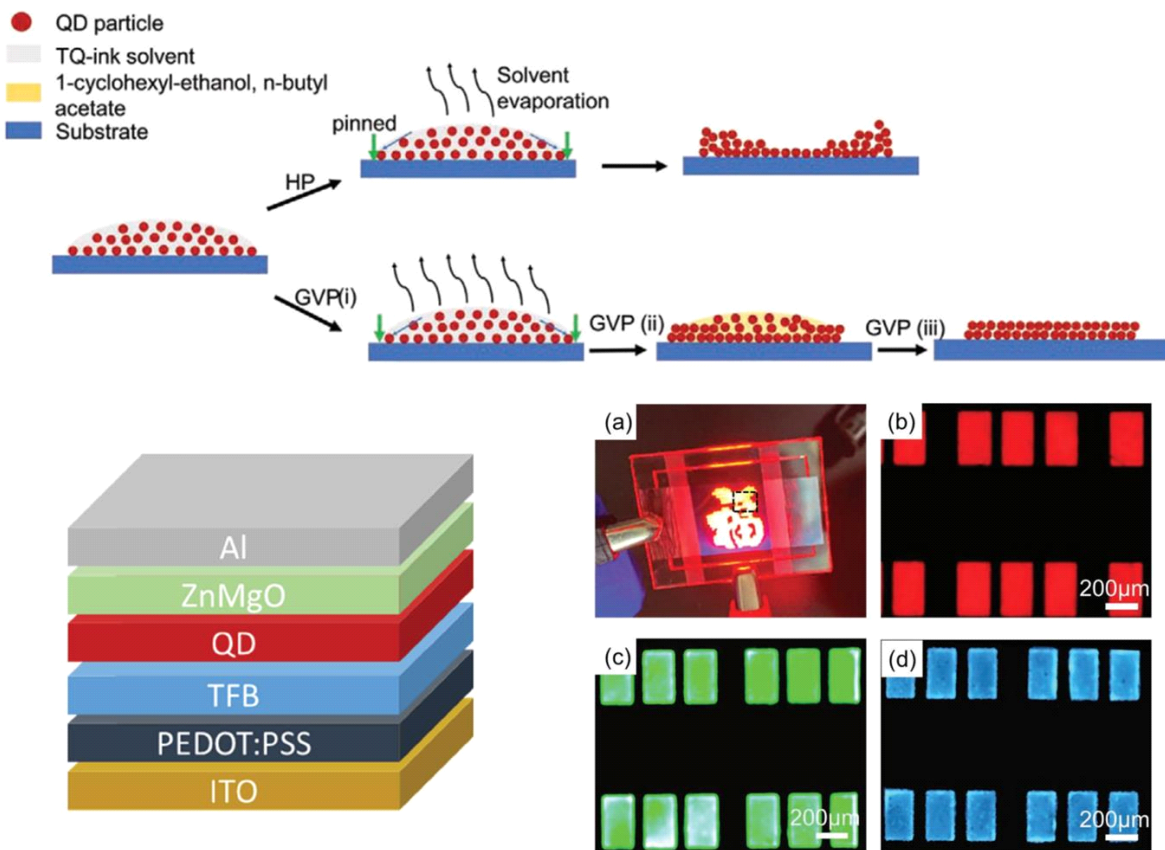


그림 2. 3성분계 용매를 이용한 양자점 잉크와 이를 이용한 잉크젯 프린팅 EL-QD.

혼합 용매는 정공수송층 선막과의 간섭도를 최소화하였다. 또한 용매간 비점 차이를 이용하여 각기 다른 진공도에서 순차적으로 용매를 기화시킴으로써 균일한 양자점 박막을 형성하였다.

이러한 잉크 제조 기술을 적색, 녹색, 청색 양자점에 적용하여 각각의 화소를 잉크젯 프린팅을 통해 구성하였다. 적색, 녹색, 청색 QLED는 최대 양자효율 19.3%, 18.0%, 4.4%로써, 일반적인 스퍼드 코팅 기반의 소자와 비교할 만한 성능을 보여주었다. 또한 균일한 박막을 형성함으로써 소자 수명이 각각 25,178시간, 20,655시간, 46시간을 보여주었다.

3성분계 용매를 이용한 양자점 잉크 제조 기술과 순차적 용매 제거를 통한 소자 제작 기술은 고해상도 양자점 디스플레이 제조에 있어 중요한 방향을 제시한다.

본 연구결과는 “High Performance Inkjet-Printed Quantum-Dot Light-Emitting Diodes with High Operational Stability”의 제목으로 2021년 *Advanced Optical Materials*에 게재되었다.

〈S. Jia et al., *Adv. Opt. Mater.*, **9**, 2101069 (2021), DOI: 10.1002/adom.202101069〉

접을 수 있는 3-D QLED 구현

OLED, QLED와 같은 전계발광 다이오드는 백라이트가 필요 없으며, 박막 형태로 제작이 가능하여 플렉서블, 폴더블 디스플레이 구현에 유리하다. 접을 수 있는 구조를 형성하기 위해서는 2-D 형태의 기판에 접는 선을 따라 두께를 얇게 만드는 것과 같이 미리 프로그래밍을 하는 공정이 핵심 기술이다. 서울대학교 김대형, 현택환 연구팀은 이러한 전략을 바탕으로 종이접기와 같이 접을 수 있는 3-D QLED를 구현하였다.

본 연구에서는 QLED 소자 위에 SU-8 에폭시 고분자를 코팅한 후, 이를 레이저 식각을 통해 접는 선을 패터닝하였다. 이 때 QLED와 고분자 사이에 금속 식각 방지층을 넣어 QLED층의 오버에칭을 방지하였다. 이렇게 형성된 접는 선은 0.047 mm의 매우 작은 굽힘 반경을 가지며, 접었을 때에도 소자의 성능이 유지됨을 확인하였다. 접는 선을 통해 종이 접기 하듯이 비행기, 피라미드, 나비, 정육면체와 같은 구조를 가진 QLED를 제작하였다.

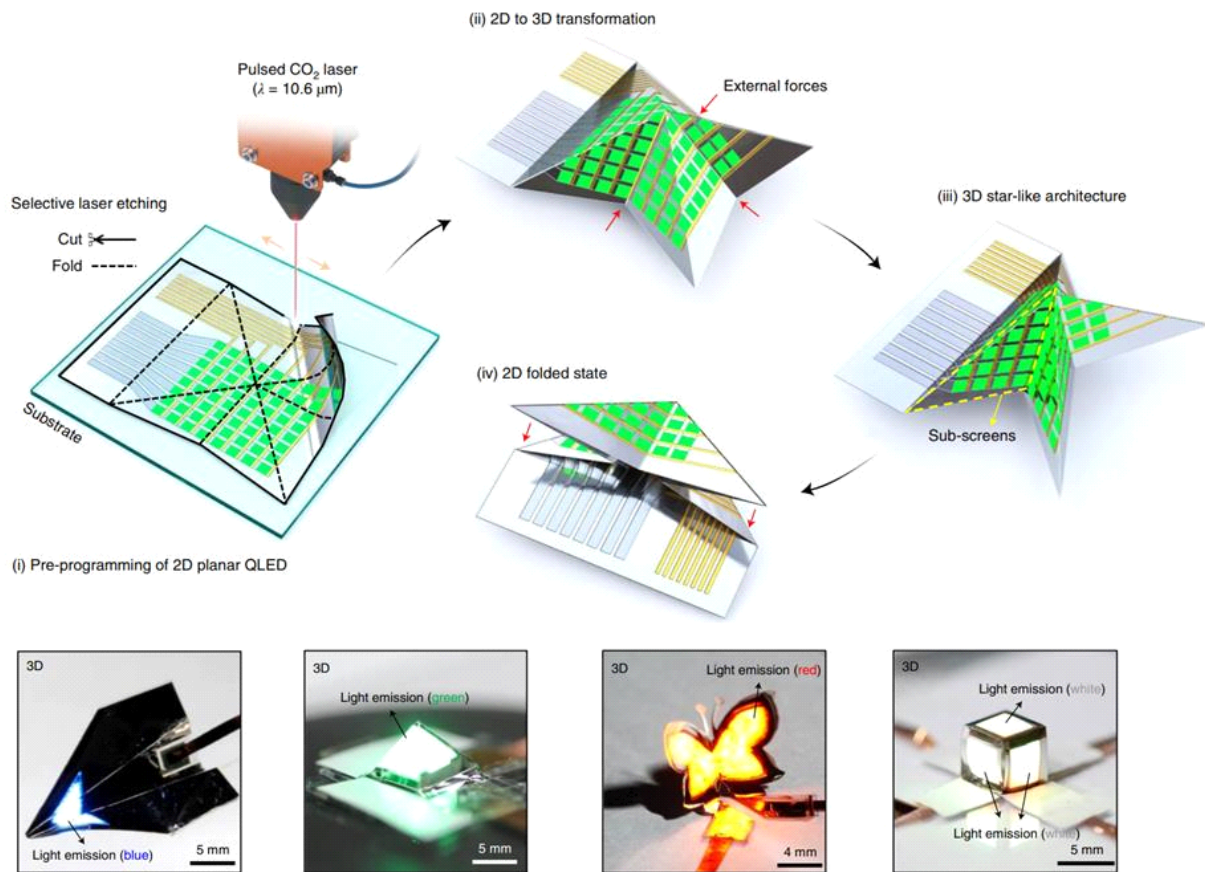


그림 3. 종이접기처럼 접을 수 있는 QLED 제작 모식도 및 이를 통해 구현한 다양한 구조.

지금까지 평판 디스플레이가 2-D 형태의 정보를 전달 하였던 것과 비교하여, 새로운 3-D 형태의 정보를 전달할 수 있는 디스플레이 폼팩터를 제시하였다.

본 연구결과는 “Three-dimensional foldable quantum dot light-emitting diodes”의 제목으로 2021년 *Nature Electronics*에

게재되었다.

<D. C. Kim *et al*, *Nat. Electronics*, **4**, 671 (2021)
DOI: 10.1038/s41928-021-00643-4>

<황동렬, email: whang@hnu.kr>