



Out-of-Plane Strain-Decoupled Architecture for High-Fill-Factor Stretchable OLED Displays

Advanced Functional Materials · 10.1002/adfm.78595

1. 한 줄 요약

발광 픽셀과 변형 가능한 전극 배선을 서로 다른 높이의 층에 배치해, 신축성 OLED의 면적 점유율과 인장 성능 사이의 상충을 줄인 연구다. 제시된 수동 매트릭스 소자는 약 75%의 발광 면적 비율을 확보하면서 50%를 넘는 단축 인장을 견뎠다.

2. 연구 배경

기존의 평면형 아일랜드-브리지 구조에서는 발광 픽셀과 신축 배선이 같은 평면의 면적을 나눠 써야 한다. 따라서 픽셀 면적을 늘리면 배선의 변형 여유가 줄어들고, 신축성을 높이면 발광 면적 비율이 낮아지는 문제가 있다. 이 논문은 두 기능을 수직 방향으로 분리해 그 상충을 완화하고자 한다.

3. 핵심 기여

발광 픽셀 아일랜드와 전극 연결부를 별도 기능층에 두는 수직 분리형 구조를 제안했다. 초록에 따르면 가해진 변형은 분리된 배선층과 저탄성률 엘라스토머 영역으로 분산돼, 단단한 발광 아일랜드로 전달되는 변형률을 억제한다. 여기에 투명 하이브리드 봉지층을 적용해 수분 차단과 작동 수명 개선도 제시했다.

4. 재료·소자 구조

소자는 발광 픽셀 아일랜드, 변형 가능한 전극 연결부, 저탄성률 엘라스토머 영역으로 구성된 수동 매트릭스 신축성 OLED다. 발광부와 연결부는 평면상에서만 분리된 것이 아니라 서로 다른 기능 평면에 놓인다. 봉지에는 파릴렌-C/ Al_2O_3 - SiO_2 나노라미네이트 하이브리드 구조를 사용했다. 발광 재료, 전극 조성, 각 층의 두께와 적층 순서는 원문 확인 필요.

5. 주요 성능 수치

- 발광 면적 비율: 약 75%.
- 단축 인장 허용치: 50% 초과.
- 발광 아일랜드 영역 변형률: 패널에 20% 변형률을 가했을 때 1.5% 미만(유한요소해석).
- 양축 인장 시 발광: 3×3 수동 매트릭스 배열에서 30% 변형률하에 균일한 픽셀 발광 유지.
- 봉지층 특성: 수증기 투과율 $9.17 \times 10^{-6} \text{ g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, 평균 가시광 투과율 91.78%.
- 작동 LT_{50} : 약 75시간에서 약 195시간으로 증가; 측정 조건은 원문 확인 필요.

6. 기존 기술과의 비교

기존 평면형 아일랜드-브리지 구조와 달리, 이 연구는 픽셀과 배선의 면적 경쟁을 수직 적층으로 완화한다. 또한 초록에는 하이브리드 봉지를 적용한 뒤 LT_{50} 가 약 75시간에서 약 195시간으로 늘어난 결과가 제시된다. 다만 선행 소자와 동일 조건에서 직접 비교한 발광 면적 비율, 신축성 또는 수명 데이터는 초록에 없어 원문 확인 필요.

7. 산업 적용 가능성

높은 발광 면적 비율과 인장 중 픽셀 발광 유지는 피부 부착형 또는 곡면 적응형 디스플레이에 유용할 수 있다. 투명하면서 수분 차단 성능을 갖춘 봉지층도 OLED 적용 관점에서 의미가 있다. 다만 제시된 발광 배열은 3×3 수동 매트릭스이므로, 대면적·고해상도 제조나 능동 구동으로의 확장 가능성은 아직 판단하기 어렵다.

8. 한계와 남은 과제

30% 양축 변형에서의 균일 발광은 제시됐지만, 반복 인장에 따른 피로 수명과 복원 후 성능은 초록에 없다. 픽셀 피치, 전력 효율, 휘도, 색 특성 및 대면적 수율도 원문 확인 필요. 특히 LT₆₀의 측정 환경과 초기 구동 조건을 확인해야 봉지 효과의 산업적 의미를 정확히 평가할 수 있다.

9. 연관 논문

참고문헌의 「Stretchable OLEDs Based on a Hidden Active Area for High Fill Factor and Resolution Compensation」은 높은 발광 면적 비율이라는 공통 과제를 다룬다. 「Realizing Stretchable OLEDs: A Hybrid Platform Based on Rigid Island Arrays on a Stress-relieving Bilayer Structure」는 단단한 아일랜드의 변형 완화라는 관점에서 관련된다. 「Stretchability of Encapsulated Electronics」와 「Mechanics of Stretchable Interconnects with Embedded Neutral Mechanical Planes」는 각각 봉지된 전자소자의 신축성과 배선 역학을 살펴볼 연관 문헌이다. 이들 논문과의 구체적인 성능 우열은 제공된 자료만으로 판단할 수 없다.

10. 선정 이유

이 논문은 신축성 OLED에서 발광 면적 비율과 기계적 변형성을 동시에 확보하기 어려운 문제를 소자 구조 차원에서 다룬다. 변형을 해석, 인장 중 배열 발광, 봉지층 특성과 작동 수명을 함께 제시해 구조 설계의 효과를 여러 측면에서 검토할 수 있다. 다만 산업 적용 수준의 검증 여부는 원문과 후속 연구 확인이 필요하다.

11. 키워드 태그

신축성 OLED, 수직 분리 구조, 발광 면적 비율, 아일랜드-브리지, 수동 매트릭스, 하이브리드 봉지, 변형을 분산