

XR용 Micro-LED Display 기술 보고서



Senior Analyst
Dr. Nam Deog Kim

Chief Analyst
Dr. Choong Hoon Yi

1. XR용 Micro-LED Display 제작 방법

- 1.1 Micro-LED display 제작 방법 5
- 1.2 Micro-LED display 제작시의 기판 bonding 방식 23

2. Hybrid 결합 방식의 Mono-color Micro-LED Display 기술

- 2.1 Mono-color micro-LED chip array 제작 기본 공정 25
- 2.2 Die-to-die hybrid 결합 방식에 의한 mono-color micro-LED display 제작 방법 30
- 2.3 Die-to-wafer hybrid 결합 방식에 의한 mono-color micro-LED display 제작 방법 32
- 2.4 Wafer-to-wafer hybrid 결합 방식에 의한 mono-color micro-LED display 제작 방법 33

3. Full Wafer 결합 방식에 의한 Mono-color Micro-LED Display 기술

- 3.1 Full wafer 결합 방식 제작 기본 공정 35
- 3.2 Full wafer 결합 방식 개발 사례 47

4. Multiple Stacking 및 Bonding에 의한 Full-color Micro-LED Display 기술

4.1	Multiple adhesive bonding 방법에 의한 full-color display	50
4.2	2D materials-based layer transfer 에 의한 full-color display	58
4.3	Multiple metallic bonding에 의한 vertical stacking 방식 full-color display	71

5. Monolithic Integration 방법에 의한 Full-color Micro-LED Display 기술

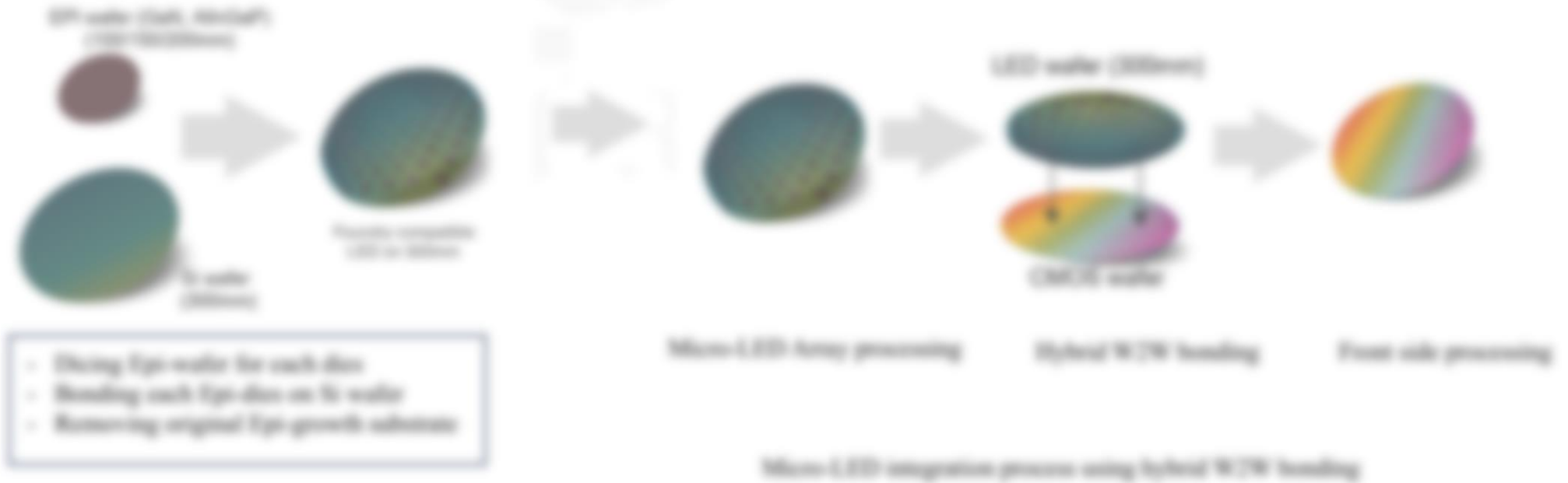
5.1	Multi-layer epitaxy 방법에 의한 monolithic full-color micro-LED display	95
5.2	RGB monolithic GaInN-based micro-LED arrays connected via tunnel junctions	98
5.3	Eu-doped GaN and InGaN-based RGB monolithically stacked full-color micro-LEDs	101
5.4	QD color conversion 방식에 의한 monolithic RGB micro-LED display	103

1. XR용 Micro-LED Display 제작 방법

1.1 Micro-LED display 제작 방법

- Wafer-to-wafer(W2W) hybrid bonding

Eye-wafer 및 Si-wafer array가 고해상도기 때문에 미세 패턴 그림과 같이 두꺼운 SiO₂ 층을 성장후 coating한 후에 SiO₂를 Si-wafer에 옮기었다. 그 후에 micro-LED 제작 공정을 통해 micro-LED array를 제작한다. 여기서 미세 구조 그림과 같이 LED wafer와 Si-wafer 구조를 Si-wafer 전체를 bonding 결합을 한다. 그리고 micro-LED를 위한 front side 공정의 mask를 두 공정을 진행한다. 여기서 미세한 micro-LED가 제작 가능하고 있으며, 제작공정을 크게 낮출 수 있는 공정을 진행한다. 다만, Si-wafer 기반의 SiO₂ 층이 잘 bonding 될 수 없어서 하고, 실제 미세한 정교한 alignment에 의한 높은 W2W bonding 수율이 얻어지지 않는다.

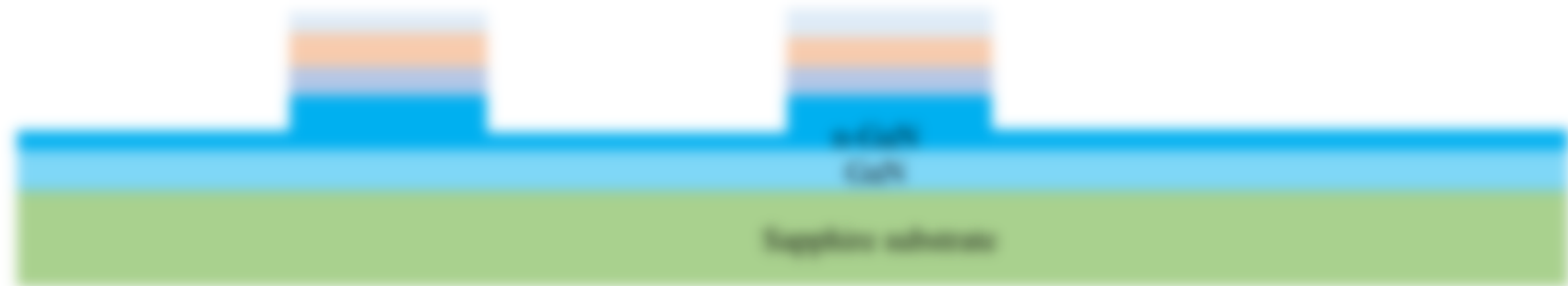


2. Hybrid 결합 방식의 Mono-color Micro-LED Display 기술

2.1 Mono-color micro-LED chip array 제작 기본 공정



- Cleaning (organic and inorganic cleaning with various solutions)
- Deposition of ITO layer and thermal annealing



- The substrate was defined by mesa structure with a photolithography process, followed by etching the ITO film and pre-etch MEMS (KP) etching layer.

3. Full Wafer 결합 방식에 의한 Mono-color Micro-LED Display 기술

3.1 Full wafer 결합 방식 제작 기본 공정

Micro-LED Wafer
Substrate Wafer
↓



4. Multiple Stacking 및 Bonding에 의한 Full-color Micro-LED Display 기술

4.2 2D material-based layer transfer 에 의한 full-color display

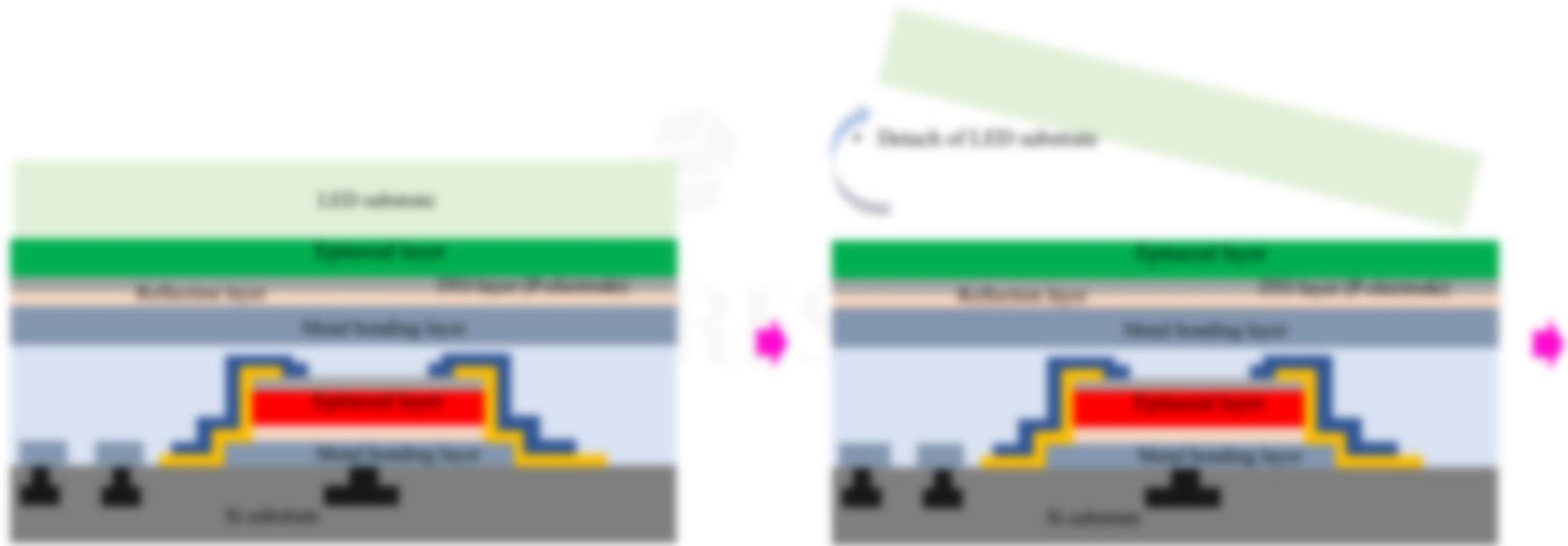
- 본 제작 방식의 장점 및 이슈 :

- Two-dimensional materials based layer transfer (2DLT) 방법을 통해 미세 기술들을 가능하게 하는 장점이 있다. 또한 top layer 제작이 복잡한 damage를 유발하는 장점이 없기 때문에 적외선, ultraviolet, laser 등 사용될 수 있다.
 - (i) epitaxy of substrate without LED thickness: 1-2 μm on 2D material coated substrate via either remote epitaxy or van der Waals epitaxy
 - (ii) mechanical release of LED layer from 2D materials and subsequent reuse of the substrate
 - (iii) stacking via the use of adhesive polymer layers
 - (iv) top-down fabrication to yield vertical Micro μLEDs
- Full-color micro-LED의 수직 적층을 구조 설계가 중요한 고려 사항인 경우, color-multiplexing이라고 불리는 현상이 흡수 및 방출을 통해 LED layer 간의 간섭을 방지해야 하는 것이다. 적외선 및 녹색 LED에 의한 방출은 간섭된 적외선 및 빨간색 LED에 의해 방출을 유도하여 동시에 꺼지고 켜지는 현상 현상이 발생하게 된다. 즉, 본 방식에 의해 색 순도가 감소할 수 있다. 본 연구에서는 blue light absorber 및 green light absorber 제작이 더 processed 제작이 필요, curing 온도 등이 최적화가 필요하다.
- 본 공법 연구에서는 silicon TFT integrated blue 단위 제조를 통해 적외선, 적외선 및 녹색 적층을 위한 구조를 구현하기 위한 외부 연구 제안으로 만들 시 설계가 비교적 복잡하다. 이는 또한 수직 적층을 방지하기 구조적 문제이다. top layer 분리 및 적층을 하는 장점이므로 색도 안정성이 높다고 볼 수 있다.

Micro-LED Display Technology and Applications, 2024, UBI Research, Inc. All rights reserved.

4. Multiple Stacking 및 Bonding에 의한 Full-color Micro-LED Display 기술

4.3 Multiple metallic bonding에 의한 vertical stacking 방식 full-color display



5. Monolithic Integration 방법에 의한 Full-color Micro-LED Display 기술

5.1 Multi-layer epitaxy 방법에 의한 monolithic full-color micro-LED display

- 영국 Porotech 업체의 monolithic full-color micro-LED display 기술 (Dynamic Pixel Tuning® technology)

이 기술은 영국 Porotech는 100% 풀 컬러 마이크로 LED 디스플레이를 위한 기술인 Dynamic Pixel Tuning 기술을 선보이며, 하나의 마이크로 LED 칩에서 소위 색조는 전동 및/또는 전동 시간을 조절하여 색을 조절하여 하나의 마이크로 LED 칩을 통해 모든 색을 나타낼 수 있도록 하는, 2021년 세계 최초로 Monolithic epitaxial full-color Micro-LED display 개발 기술을 2021년 12월 15일 공개했다. 이 기술은 100% 풀 컬러 마이크로 LED 칩에서 한 칩에 대해 발광을 하였는데, Color를 위한 Micro-LED 칩을 구조에 따라서는 상이한 발광은 있었다. 2021년 12월 15일 공개했다. This great product is 1.1" green Micro-LED display with 100% full color and 100% efficiency.



Full Color & dynamically tunable pixel 0.35" , 120PPI



Color display with different driving voltage



Red driving
16.7 million bits



Green driving
12.8 million bits



Blue driving
11 million bits

(Source: IED 2022, IED 2023)