

111年度科技部奈米創新計劃: 奈米電子光電領域

計畫名稱：應用於5G物聯網之高效率鈣鈦礦量子點奈米級微型顯示模組

學研機構名稱：國立陽明交通大學 郭浩中 講座教授

計畫執行期程：自111年8月1日至112年7月31日

成功建立技術

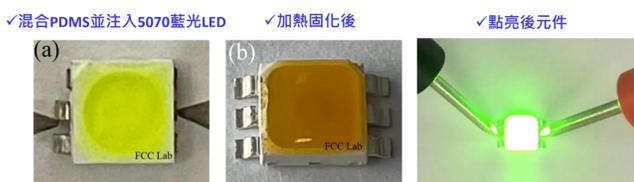
- ▶ 利用ALD鈍化保護技術，研發高可靠度鈣鈦礦量子點薄膜，長期點亮LT50預估為**2300小時**；60°/90%長期測試，LT50為**6070小時**。
- ▶ 研發**高解析度(<2 μm)**鈣鈦礦量子點噴塗技術 (像素=17000 ppi)
- ▶ 研發**頻寬>1 GHz**高速、高效率μLED，EQE>41.4%。
- ▶ 建立OFDM VLC量測系統，**最大傳輸位元率5.02 Gbit/s (世界紀錄)**。
- ▶ 結合開發自適應信噪比控制算法，BL-DMT串流的總傳輸速率可達到**6.2 Gbps**，頻譜使用效率提高至**8.3 bit/s/Hz**。
- ▶ 研發HEMT元件驅動LED達到 $V_{TH}>3 V$ 、閘極漏電流**<10⁻⁴ mA/mm**、電流密度**>800 mA/mm**。

關鍵技術突破

- ▶ 高速微型綠光μLED之開發，達到**5.02 Gbit/s**的傳輸位元率，獲選為OSA Spotlight on Optics, Optica) 焦點論文介紹。
- ▶ 藍光μLED之BL-DMT串流的總傳輸速率達到**6.2 Gbps**，頻譜使用效率提高至**8.3 bit/s/Hz**，發表於國際頂級雷射顯示與照明會議OPIC 2023。

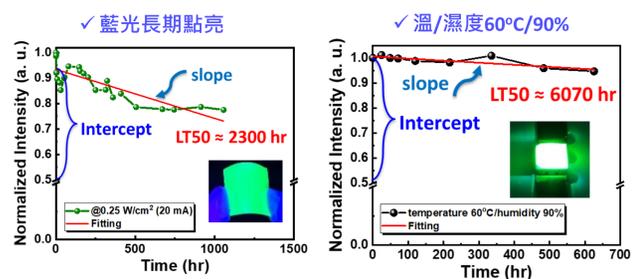
A、高解析度/高轉換效率鈣鈦礦量子點之開發

開發後處理(post-synthesis) 鈣鈦礦量子點合成技術



- ▶ 經過後處理之PeQDs，經過**1100hrs**後可靠度測試，其**量子效率可維持在88%**。
- ▶ 將經過後處理的鈣鈦礦量子點混合PDMS並注入5070藍光LED，**CCE可達73%**。

開發ALD鈍化保護技術



- ▶ ALD應用於量子點薄膜元件，最大發光效率可達到**130 lm/W**，EQE可高達**37.0%**。
- ▶ 藍光長期點亮LT50為**2300 hr**。溫/濕度60°/90%長期測試，LT50為**6070 hr**。

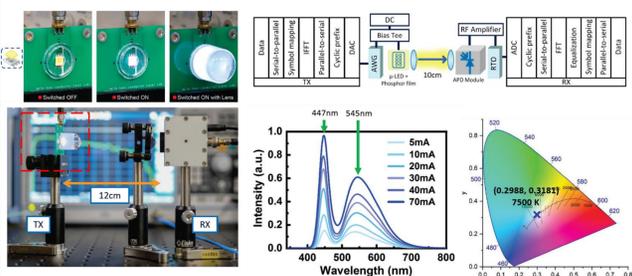
高解析度鈣鈦礦量子點噴塗技術之開發



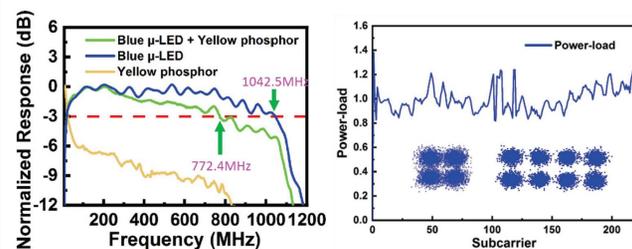
- ▶ 成功利用SIJ噴塗技術達到**線寬為1.5 μm**的量子點線寬，將SIJ噴塗技術應用於顯示技術上，可達**17000 ppi**之單色超高分辨率。

B、高傳輸速率白光μLED可見光通訊系統之研究

白光 μ-LED VLC量測裝置與CIE-1931 diagram



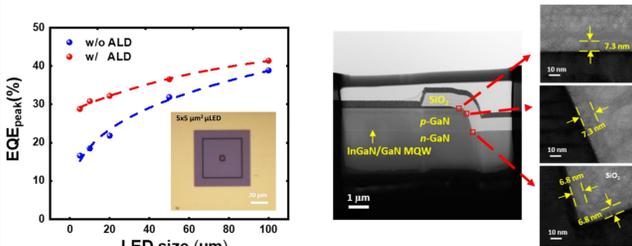
- ▶ 藍色μLED陣列搭配黃色色轉換薄膜，放射峰分別在**445 nm**和**545 nm**處具有藍色和黃色波峰。
- ▶ 在前後分別安裝**聚焦透鏡**，提升接收發光強度，**自由空間透射率約為10公分**。



	Data rate (Gbits)	Distance (cm)	Material of Color conversion
IEEE Photonics Technology Letters, 2014	1.7	3	Poly para-phenylene vinylene
IEEE Electron Device Letters, 2018	0.6		CdSe/ZnS
ACS applied materials & interfaces, 2018	0.3		CsPbBr ₃ QD
This work (NYCU)	2.4	10	Yellow-phosphor

- ▶ 高速白光VLC系統，使用藍色半極性μ-LED陣列和黃色螢光膜，利用正交分頻多工調變技術(OFDM)來提高頻譜效率，**Data rate可達2.473 Gbit/s**。
- ▶ 測得的藍光和白光的**3-dB頻寬**分別約為**1.1 GHz**和**780 MHz**。

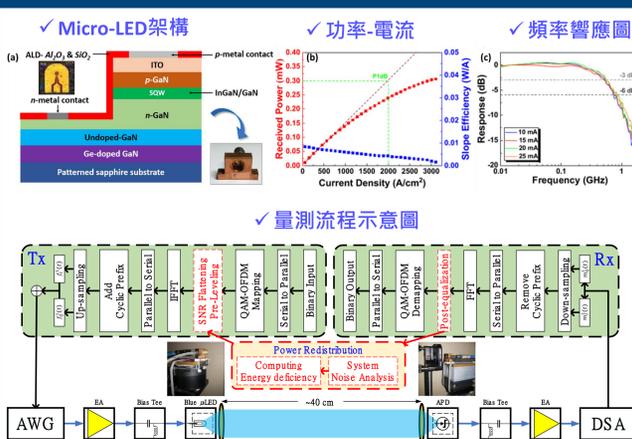
原子層鈍化沉積技術用以提升μLED元件發光效率



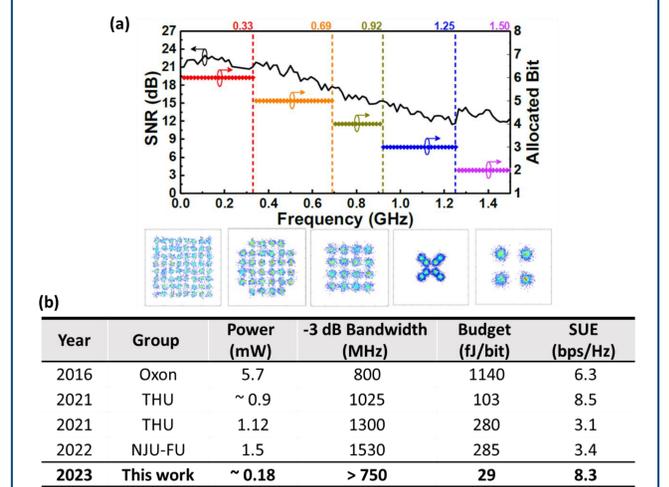
Chip size (μm)	EQE (w/o ALD)	EQE (w/ ALD)	ΔEQE enhancement
5 x 5	16.6	28.8	73.4%
10 x 10	18.5	30.8	66.4%
20 x 20	21.8	32.2	47.7%
50 x 50	31.8	36.5	14.7%
100 x 100	38.8	41.4	2.7%

- ▶ ALD應用於藍光μLED元件 (5x5 / 10x10 / 20x20 / 50x50 / 100x100 μm²)可降低元件因sidewall damage所產生的非輻射複合現象，對**5x5 μm²**而言EQE可提升**73.4%**。

C、高速藍光VLC系統應用技術之開發



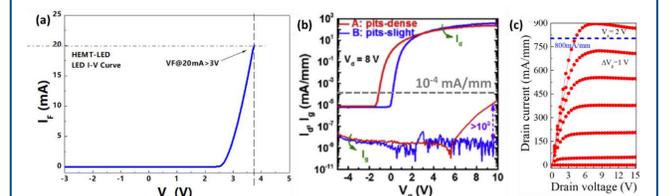
- ▶ 開發自適應信噪比(SNR)控制算法通過分析雜訊來優化傳輸性能。



- ▶ 利用比特加載的離散多音(BL-DMT)編碼及自適應SNR算法來為每個子載波分配允許的正交幅調變(QAM)。滿足誤碼率的標準(BER)= 3.8×10^{-3} ，總傳輸速率達到**6.2 Gbps**，VLC系統中的功耗預算抑制到**29 fj/bit**，並將頻譜使用效率(SUE)提高至**8.3 bit/s/Hz**。

D、HEMT-LED整合技術開發

HEMT-LED元件電性量測



- ▶ 高啟動電壓：本團隊製作出HEMT-LED其啟動電壓**>3 V**。擁有高於3V的啟動電壓意味著HEMT-LED可以更容易地與這些系統兼容，從而減少了需要降壓或升壓的情況。
- ▶ 低閘極漏電流：HEMT的結構使其具有低的閘極漏電流，這使得這類電晶體在高效的應用中表現得尤為出色，HEMT-LED在Id/Ig-Vg量測下其漏電流**<10⁻⁴ mA/mm**。
- ▶ 高電流密度：HEMT其較低的開啟電阻使得HEMT-LED可以在更緊湊的尺寸下達到更高的亮度或功率輸出。HEMT-LED I_d-V_d量測下其**最大電流密度> 800 mA/mm**。

References

- [1] Ultrafast 2×2 green micro-LED array for optical wireless communication beyond 5 Gbit/s, Photonics Research (2021). (IF= 7.080)
- [2] CsPbBr₃ perovskite quantum-dot paper exhibiting a highest 3 dB bandwidth and realizing a flexible white-light system for visible-light communication, Photonics Research (2021). (IF=7.080)
- [3] 4.343-Gbit/s green semipolar (20-21) μ-LED for high speed visible light communication, IEEE Photonics Journal (2021). (IF= 2.443)
- [4] High-Reliability Perovskite Quantum Dots Using Atomic Layer Deposition Passivation for Novel Photonic Applications, Nanomaterials, (2022). (IF=5.719)
- [5] Gateway towards recent developments in Quantum Dot-based Light Emitting Diodes, Nanoscale, (2021). (IF=7.790)