

高精高效一次式點膠系統開發 Development of a high-precision, -efficiency, one-shot OCA dispensing system

陳順同¹，劉慶昌²，胡竣泓²

¹ 國立臺灣師範大學機電工程學系教授，² 國立臺灣師範大學機電工程學系研究生

E-mail: chenst@ntnu.edu.tw

摘要

本研究旨在開發高速、高精度及高密度的點膠塗佈系統，適用於面板蓋玻片(Cover glass)與氧化銦錫(Indium Tin Oxide, ITO)導電玻璃膠合，以及發光二極體(Light Emitting Diode, LED)之護圈層製作。研究中，使用一種陣列式微細噴嘴設計，透由壓力將光學膠一次式地塗佈於所需目標上，以達到高速、高精度及高密度的點膠效果。陣列式微噴嘴結構係以高速精密啄鑽技術，製成所需微細孔徑陣列，以符合觸控面板及微點狀或微透鏡結構的塗佈，如發光二極體所需膠合的位置。點膠塗佈系統以1 μm解析度之電動缸，透由自行設計的供料回饋系統，進行推膠與補償，以獲得精確之光學膠吐膠量。由實驗證實，本研究對於一次式點膠之最大吐膠量40g，最小吐膠量0.002g，其容積精度可控制在0.002g內，如此精度可避免光學膠之溢膠或缺膠，可大幅省卻後續刮膠及補膠的繁瑣程序。此項新研發可應用於導光板、太陽能板及PCB電路等面板之膠合，及夜光鍵盤之發光二極體護膠圈層製作，深具高量產經濟價值。

關鍵詞：塗佈系統、一次式點膠、陣列式微噴嘴

Abstract

This study presents a technique for precisely one-shot coating an optically clear adhesive (OCA) layer on a glass substrate, which provides for gluing the cover glass and the IOT glass together, and making the protected layer for LED. The developed dispensing/coating system possessing a high precision electric cylinder with 1 μm resolution can exactly feed and compensate optically clear adhesive through the designed supply system. A well-sealed loop dispensing system and a small multi-nozzle array are designed. Step-difference depth for obtaining highly reliable adhesive thickness is schemed to facilitate estimation of the total amount of adhesive needed for dispensing, and thus save on subsequent procedures such as shaving and OCA repair. The distribution method for OCA-droplet array is based on a ‘middle-dense, outer-sparse, up-down-bilateral symmetry’ strategy whereby air bubbles are expelled from gaps in the droplet array. Experimental results confirmed that the maximum and minimum feeding amounts of optical clear adhesive are 40 g and 0.002 g, respectively. The developed one-shot adhesive dispensing technique is a highly efficient for the bonding task and encapsulation of LED arrays with microelectronic chips. The technique will contribute significantly to the bonding processes of light-guide plate, solar panel, PCB, and multi-chip LED package.

Keywords: Dispensing system, one-shot dispensing, small multi-nozzle array

1. 前言

在產品往電子化發展的引領下，3C 製品不斷向微型化與智慧化方向發展，並要求產品具有更好的使用性和便利性，促使這股風潮不斷提升，市佔率也不斷攀升，3C 製品市場都呈現出增長的態勢。點膠塗佈系統廣泛應用於導光板[1]、太陽能板及 PCB 電路[2]等面板之膠合，

亦即在 ITO 導電薄膜的四周塗佈光學膠(OCA)後，再將蓋玻片對應與該點膠塗佈有光學膠的 ITO 導電薄膜膠合，隨後利用紫外光(Ultraviolet rays)使光學膠固化，以完成觸控面板結構之膠合。現今技術皆以單一[3]或陣列針筒[4]的點膠塗佈製程，因面板的性能與結構不斷的改良[5]而達到拓展其應用領域的效果，其膠體流量容易因用膠種類之不同，而產生因膠體黏度較低而溢膠或因膠體黏滯而出膠不易的狀況，使點膠塗佈未能緊密黏合密封，造成電路短路等，且點膠塗佈製程時間較長而無法快速量產，本研究開發高速高精度點膠塗佈系統，能大幅降低製造成本及製程時間，取得市場競爭優勢。

2. 高精高效點膠塗佈製程與設備

1.1 高精高效點膠塗佈製程設計

本研究所開發之高速高精度點膠塗佈系統如圖 1(a)所示。為使光學膠於擠製過程中，能精密且快速沾粘於面板上，噴嘴結構需能承受高壓作用[6]，本研究以鋁合金為陣列噴嘴結構材料，除了具有良好的切削性外，長時間擠製過程中，鋁合金亦不會與光學膠產生化合，不影響光學膠的膠合性能。為達面板精密且快速定位，以氣壓缸快速移動，配合線性滾珠軸承(Linear bearings)精密定位。為使膠合過程中，光學膠不會滴落於面板，研究將控制電動缸軸桿回縮，藉由軸桿抽回之際，將光學膠回吸，使光學膠接觸角及面積增大，並成兩側較低之半橢圓形狀，面板膠合時抑止光學膠包覆氣體產生氣泡，達到點膠塗佈之均勻性。

1.2 高精高效一次式點膠系統設計

高精高效一次式點膠系統如圖 1(b)所示。硬體包含陣列微噴嘴(Micro nozzle array)機構、工作物快速定位載台(Fast positioning stage)、供料系統(Feeding system)，及中央控制系統(Center control system)等。對於點膠塗佈之厚度控制，設計於 1 mm 以內的尺度，故實驗以短行程氣壓缸驅動玻璃基材，進行快速定位，使 Z 軸載台能快速上升下降，以縮短待塗膠的玻璃面板及陣列式噴嘴間的距離，期能在最短時間內進行吐膠及沾膠，縮短點膠塗佈製程時間及成本。開發完成的高速點膠塗佈系統實體如圖 1(c)所示。為使整個點膠塗佈載台系統能精密且快速地上下平行運動，本研究於載台四角落設計線性滾珠軸承，如圖 1(c)左上圖設計所示，可避免因導軌間的摩擦與磨耗而降低運動速度及精度。

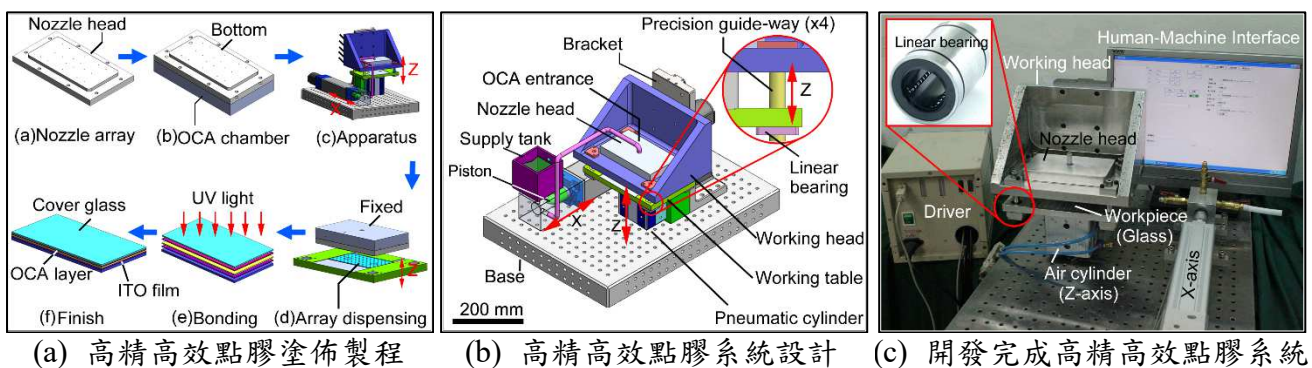


圖 1 高精高效點膠塗佈製程與設備

3. 陣列式微噴嘴設計與製作

為達快速且精密塗佈光學膠於面板，本研究於噴嘴面板上設計陣列微孔，以一次性製程快速塗佈於面板上[7]，為使光學膠於吐膠過程中，能精密且快速沾粘於面板基材上，噴嘴結構需能承受高壓作用。為此，本研究以 6061 鋁合金為陣列噴嘴結構材料。吐膠過程中，為避免光學膠包覆氣體產生氣泡，將微孔兩端進行倒角，一則予以去除毛邊(Burr)，二則提高光學膠於微孔中的流動性，使光學膠於微孔入口處降低壓力，並增加光學膠及面板間的接觸角(θ)，避免造成氣體包覆於膠體中。陣列式微孔噴嘴因需承受光學膠長時間壓力(OCA 內部壓力約

10 MPa)作用，故可能發生形變，為此，本研究以軟體進行分析，以便調整噴嘴厚度，期使噴嘴形變量能控制在 1μm 以內，圖 2(a)所示為陣列噴嘴之形變分析，最大形變發生於中央部位，為 0.9μm，此時，噴嘴厚度設計值為 7mm。為達到陣列點膠之均佈性及各微孔膠體流量的均一性，本研究以 50,000 rpm 電動式高速主軸加工陣列微孔，如圖 2(b)所示。鑽削加工以油霧 (Oil mist)及高速啄鑽(High speed peck drilling)模式進行，以達到冷卻及快速排屑效果，並獲致高真圓度。大多數流體的質量密度可被視為恆定，與流動中的壓力變化無關，所以，流動中的流體可被視為不可壓縮。Batchelor (1967)引用伯努利定理[8]，如式(1)，P 為流體所受的壓力；ρ 為流體密度；V_q 為流體速度；g 為地心加速度；z 為流體與參考平面的高度。隨著流體速度的增加，物體與流體接觸的界面壓力會減小。本研究以光學膠經過不同幾合形狀的噴嘴，如圖 2(c)所示，並以軟體進行分析模擬，以獲得不同的流速與壓力。

$$\frac{P}{\rho} + \frac{V_q^2}{2} + gz = \text{constant} \quad (1)$$

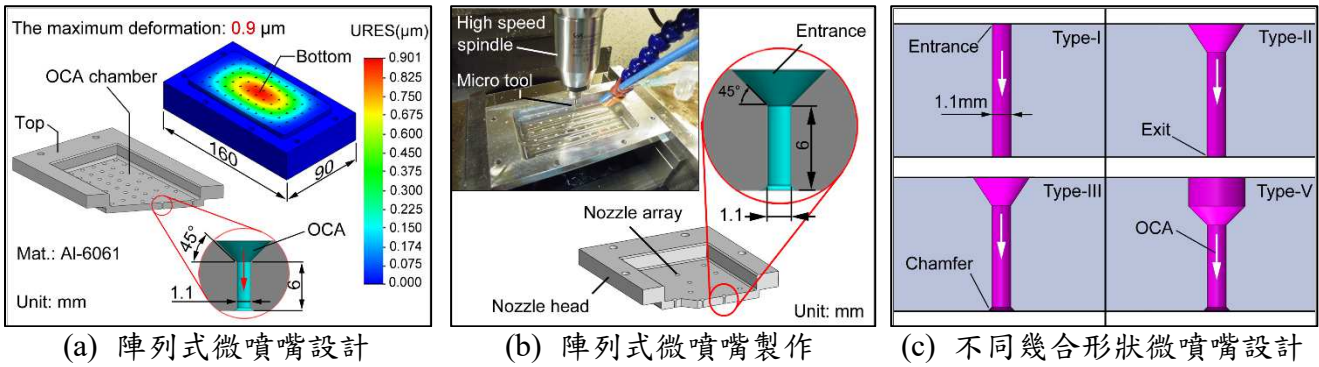


圖 2 陣列式微噴嘴設計與製作

4. 光學膠表面接合與厚度控制

若所設計的點膠系統，從供料到微噴嘴通道出口均無洩漏，則光學膠可視為不可壓縮流體，因此可精確計算一次性分配輸送光學膠的量，意謂可精確控制玻璃基板上的光學膠厚度。設電動缸的自由端的活塞的半徑(r)已知，因此，所分配的一次性光學膠的精確量與電動缸的進給距離，可表示為式(2)所示。其中，S為一次塗膠的總體積量，W和L是基板玻璃的寬度和長度，當電動缸行進正確的距離d以滿足厚度要求(t_{OCA})時，可精確控制分配的光學膠總量(s)。

$$S = t_{OCA} \times L \times W = \pi r^2 d \quad (2)$$

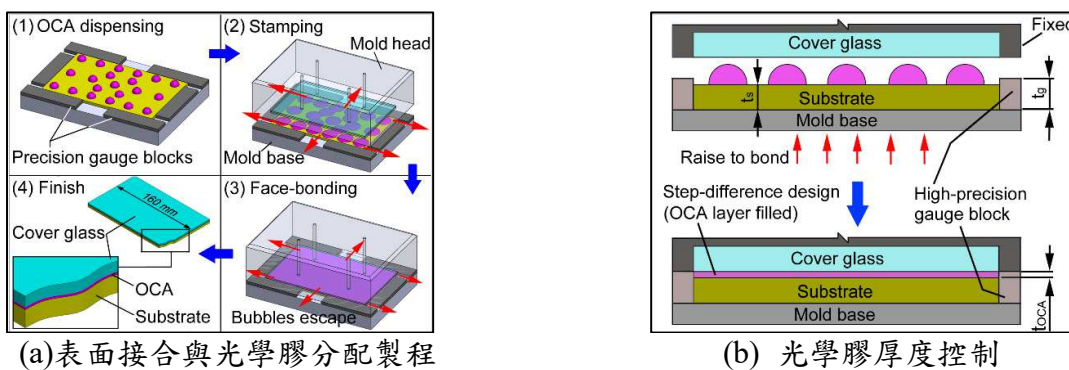


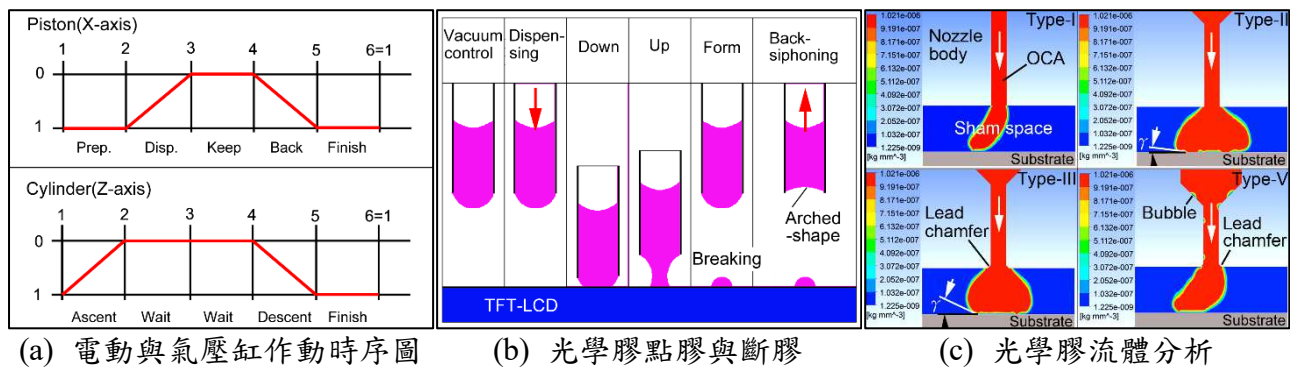
圖 3 表面接合與光學膠厚度控制

圖3(a)為一次性分配光學膠與表面接合技術，光學膠厚度(t_{OCA})可透由精密塊規進行調變，如圖3(b)所示。本研究提出的表面接合與光學膠厚度控制技術，可精確調控光學膠厚度，其厚度(t_{OCA})亦為高精密塊規厚度(t_g)減去基板玻璃厚度(t_s)，此間梯差設計能精確的將光學膠厚度控制到微米等級。

5. 光學膠點膠與塗佈實驗

5.1 光學膠作動時序設計

圖4(a)所示為電動缸軸桿與氣壓缸之間的作動時序圖。為避免光學膠因重力而發生非預期性的滴落現象，故本研究設計將電動缸軸桿於每一步吐膠完成之際，設計微步退回一次，將光學膠回吸，進而造成斷膠(Broken adhesive)，使其因拱形的膠體內聚力而阻礙滴落。圖4(b)顯示點膠與斷膠的過程。軸桿回吸，不論對高或低黏滯係數的光學膠，均能達有效斷膠及增加膠體接觸角的效果，本研究更透由有限元素軟體(Ansys-Fluent)，進行點膠路徑之暫態分析，如圖4(c)所示，比較不同微噴嘴的塗佈結果。



(a) 電動與氣壓缸作動時序圖

(b) 光學膠點膠與斷膠

(c) 光學膠流體分析

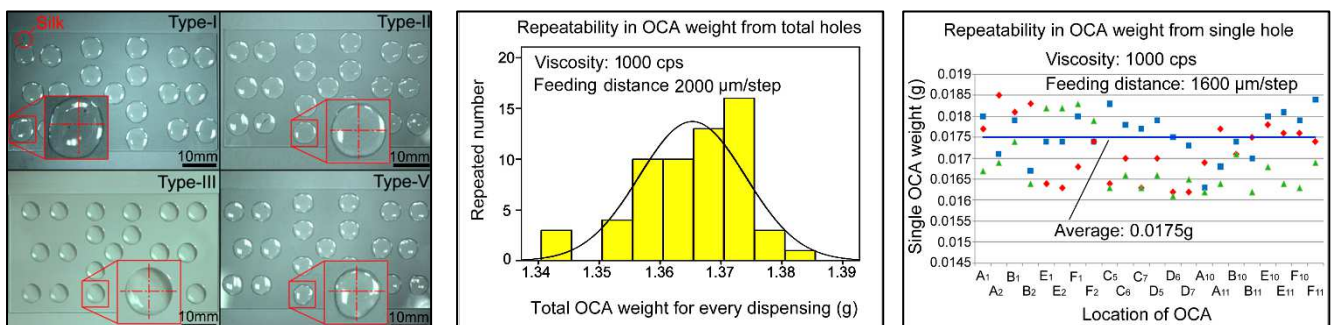
圖 4 光學膠作動時序設計

5.2 光學膠之形狀與重量重現精度實驗

膠體形狀實驗如圖 5(a)所示，顯然，III 型設計可產生更好的對稱形式和更小的液滴接觸面積。經由電動缸軸桿位移之重現精度實驗得知，電動缸軸桿步進 1,000 μm 及 2,000 μm ，其最大誤差量均為 $\pm 1 \mu\text{m}$ ，並由式(3)與(4)及步進最大誤差，可換算吐膠量之解析度為 0.002 g，式中， r ：活塞半徑(mm)， d ：電動缸軸桿步進距離(mm)， D ：膠體密度(g/mm^3)， V ：一次吐膠體積量(mm^3)， M ：一次吐膠重量(g)。

$$V = \pi r^2 d \quad (3)$$

$$D = M/V \quad (4)$$



(a) 膠體形狀實驗

(b) 吐膠常態分佈

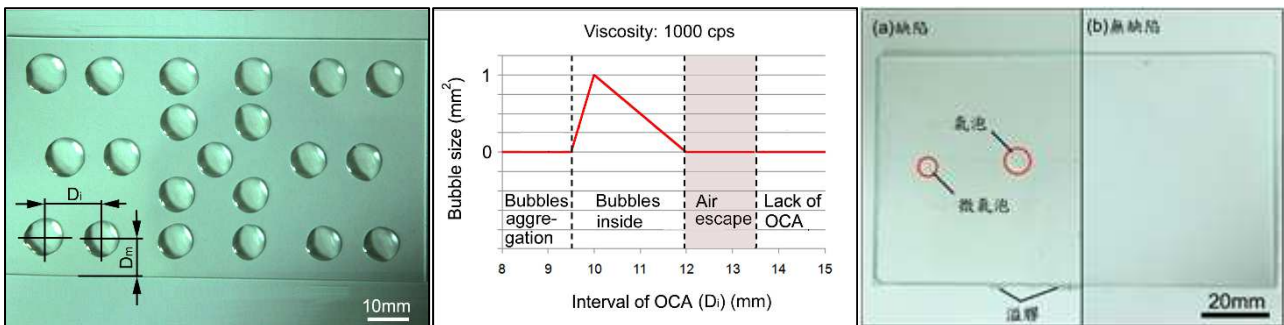
(c) 膠體重量重現性分佈

圖 5 光學膠之形狀與重量重現性實驗

圖5(b)為步進2,000 μm 吐膠的常態分佈圖,5(c)為單點膠體重量重現性(以66點為實驗例)。經單點膠體重量實驗,得知中心點與邊緣各點膠體重量之平均值為0.0175 g,其單點重量誤差範圍僅0.003 g內,證實光學膠不會因入口設於陣列噴嘴中央而造成壓缸壓力不均的現象。

5.3 光學膠佈點與膠體間距實驗

膠體間距即為陣列噴嘴間距,定義光學膠兩點中心距為 D_i ,與光學玻璃邊緣間距為 D_m ,如圖6(a)所示。若中心距 D_i 彼此過於接近,則空氣無法適時排除,易發生氣泡包覆現象。實驗得知中心距(玻璃面板長距離方向)小於9.5mm時,光學膠具有較高流動性,促使各點膠體易匯整成團狀,難以控制膠體膠合時的流動方向。中心距大於9.5 mm者,彼此雖不會聚成團,但膠合過程中,會包覆氣體。中心距大於12 mm後,被包覆的氣體才能從中逸出,故取中心距12-15mm,且以中密(12mm)外疏(15mm)方式排列設計,可排除氣泡包覆的問題,彼此關係如圖6(b)之實驗曲線所示,圖6(c)為膠合後之氣泡(非微氣泡)包覆比較。

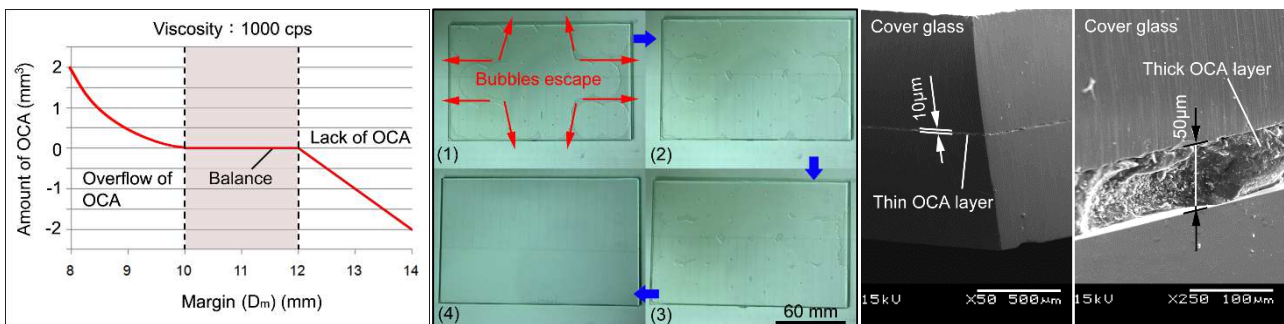


(a) 中密外疏對稱佈點設計 (b) 點膠間距與氣泡包覆關係 (c) 膠合後之氣泡包覆判斷

圖 6 光學膠佈點與膠體間距實驗

5.4 光學膠體邊緣間距實驗

光學膠與光學玻璃邊緣間距,需維持一適當距離,以防溢膠或缺膠問題。如圖7(a)所示,當邊緣間距小於10mm時,膠合後便發生溢膠,隨距離縮小,溢膠量愈多;邊緣間距在10-12 mm之間,不會溢膠,這「範圍」可由光學膠自身的表面張力吸收。而邊緣間距大於12 mm後,膠體無法擴散至玻璃邊緣,故而發生缺膠。圖7(b)顯示基底玻璃和覆蓋玻璃間的面接合過程。隨著壓力的增加,氣泡逐漸從兩個玻璃片之間間隙中排出,最後獲得沒有氣泡的高度平坦的光學膠膜。圖7(c)中,顯示不同厚度的實驗結果,透由一次性光學膠塗佈技術與階梯差設計結合,可在1 μm 內快速精確實現光學膠膜的目標厚度(t_{OCA})。



(a) 膠邊緣間距與氣泡關係

(b) 溢膠及缺膠

(c) 膠體厚度(10 μm 與 50 μm)

圖 7 光學膠體邊緣間距實驗

6. 高精高效一次式點膠系統應用

一次式點膠系統除了應用於光學玻璃的高效膠合外,典型應用實例可如圖 8(a)所示,光學膠精準且均勻地點膠於 LED 元件上,並精密控制點膠量在直徑約 3.2mm。此係利用光學膠

半球狀及透明的效果，將其應用於保護 LED 元件的方法，可避免空氣中的水氣滲入或其他外侵液體影響，而其發光二極體陣列封裝，因熱量極低(僅 65 mW)，故對於光學膠不會造成熱變形影響，此項護層技術廣用於夜光鍵盤(LED luminous keyboard)的製程，如圖 8(b)所示。

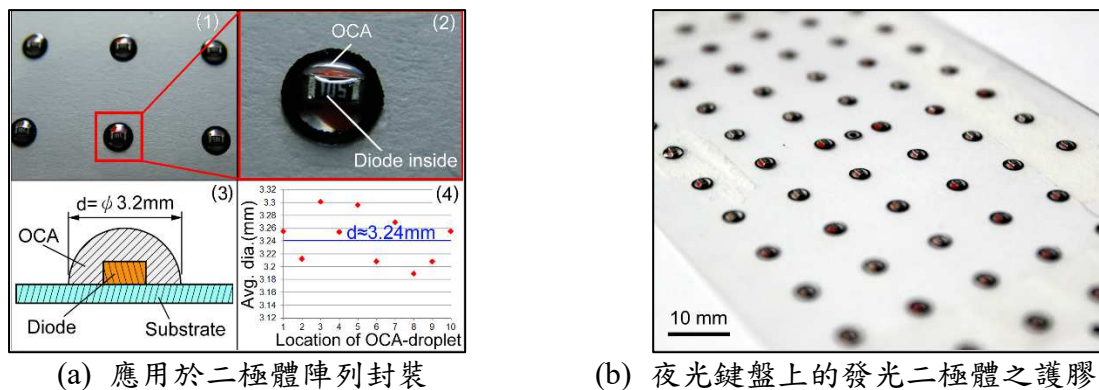


圖 8 高精高效一次式點膠系統應用

7. 結論

本研究成功開發出一套「高速、高精密及高密度點膠塗佈系統」。此系統藉由陣列式噴嘴設計，能以一次式製程獲得大量且精密的點膠塗佈效果。吐膠精度以精密電動缸控制，每次吐膠之誤差，能被精密控制在 0.002 g 範圍內。本研究已成功應用於光學玻璃的陣列點膠塗佈，以及 LED 多晶封裝的點膠，顯示本製程技術開發能大幅縮減製程時間，具低成本效益，相信此項技術對於點膠塗佈產業，有正面實質助益。

誌謝

本研究感謝科技部計畫(NSC 101-2622E-003-001-CC3)，以及瀚能科技實業股份有限公司的技術支援，使實驗得以順利完成，在此特表致謝。

參考文獻

1. 郭永昇，“應用陣列點膠於導光板模仁之製作及動態變模溫系統對精密射出成型導光板之研究”，國立雲林科技大學碩士論文，2005，pp. 33-99。
2. <http://www.crcbond.com>
3. Dispensing Robot Dispenser (DT400E), Dispenser Tech Co., Ltd.
4. Dispensing Robot Dispenser (MD10), Chernger Tech Co., Ltd
5. 何天露，“精密塗佈設備技術簡介”，機械工業雜誌，270期，2005，pp. 24-39
6. S. Khalil, J. Nam and W. Sun, “Multi-nozzle deposition for construction of 3D biopolymer tissue scaffolds”, Rapid Prototyping Journal, 2005, pp 9-17
7. S.T. Chen, C.C. Liu, C.Y. Fu, Study of a high-efficiency, -precision, one-shot OCA dispensing technique, Journal of Materials Processing Technology, Vol.213, 2013, pp.1059-1067.
8. G.K. Batchelor, 1967, An introduction to fluid dynamics. Cambridge University Press 166-167.