

摘要

隨著光電元件與電子封裝材料對高透明度、耐熱性與長期穩定性的需求提升，傳統紫外線固化封裝膠在長時間受熱或紫外線照射下，容易產生黃化、熱劣化及附著力下降等問題，進而影響材料的保護能力與使用壽命，因此本實驗探討結合 ZnO 奈米粒子及 SiO₂ 做為填料整合於封裝膠中，透過添加無機填充物的方式增強封裝膠的水氣阻隔能力、熱穩定性、界面附著力、抗黃化能力與化學穩定性，期望藉由提升封裝膠熱穩定性，改善應用於極端環境下的電子封裝與光學塗層領域。

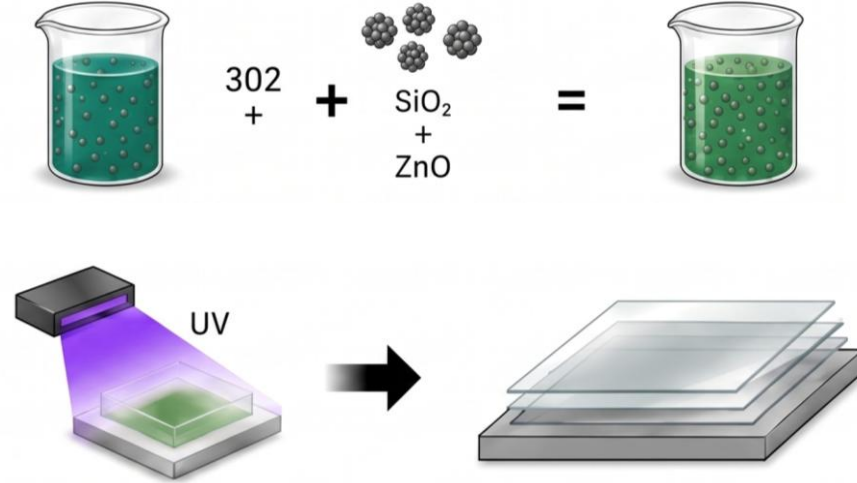
結果與討論 實驗方法

命名對照表	
材料	命名
302 封裝膠	3
SiO ₂ 微米顆粒 (0.2 wt. ratio)	3-S0.2
ZnO 奈米顆粒 (0.2 wt. ratio)	3-Z0.2



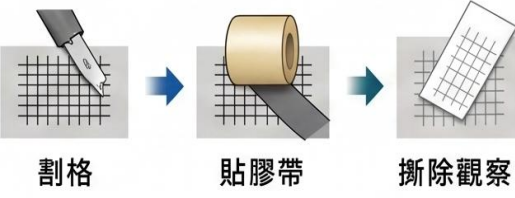
步驟 1
材料準備

步驟 2
UV 固化 & Film Formation

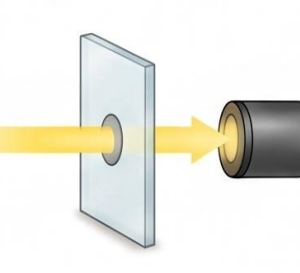


步驟 3 黏附度性能、光學清晰度、熱穩定性測試

黏附度性能 (百格測試)
使用百格刀具在塗層表面劃出方格網，再以膠帶黏貼並撕除，觀察殘留情況評估附著性。



光學清晰度
透光率 / 霧度檢測

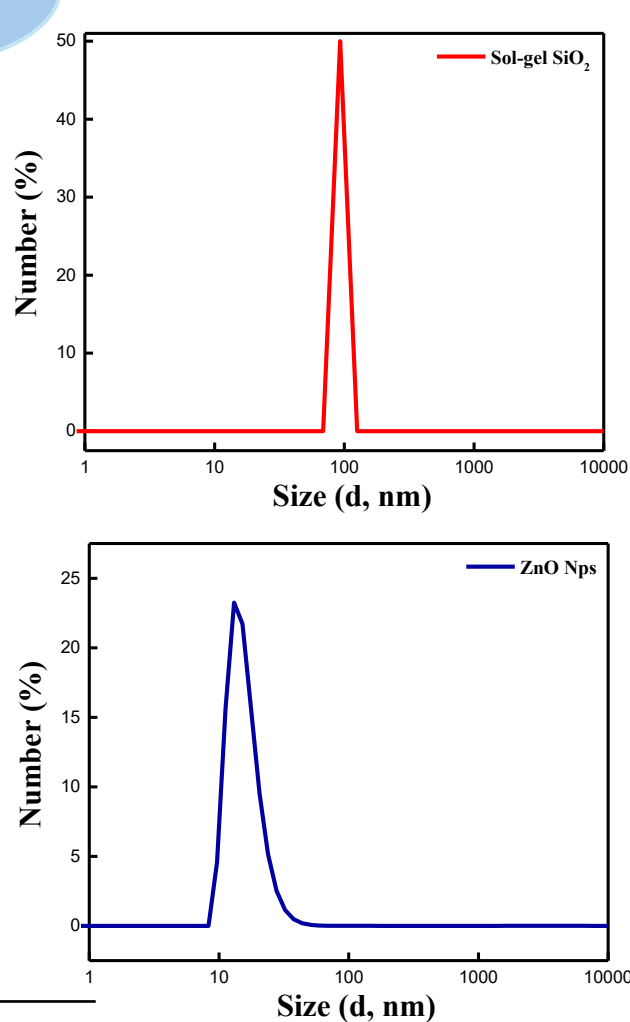
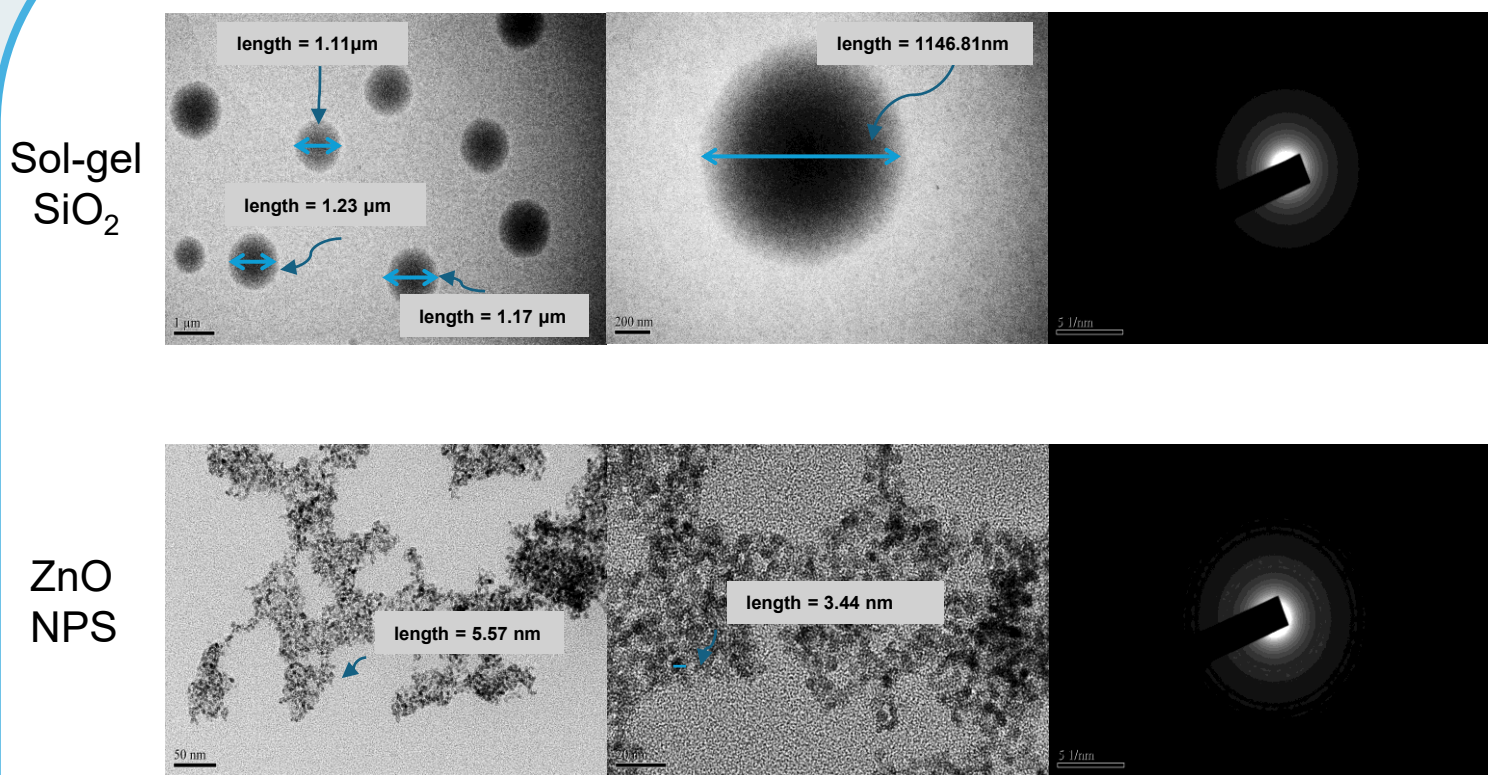


熱穩定性
高溫加熱測試



材料分析

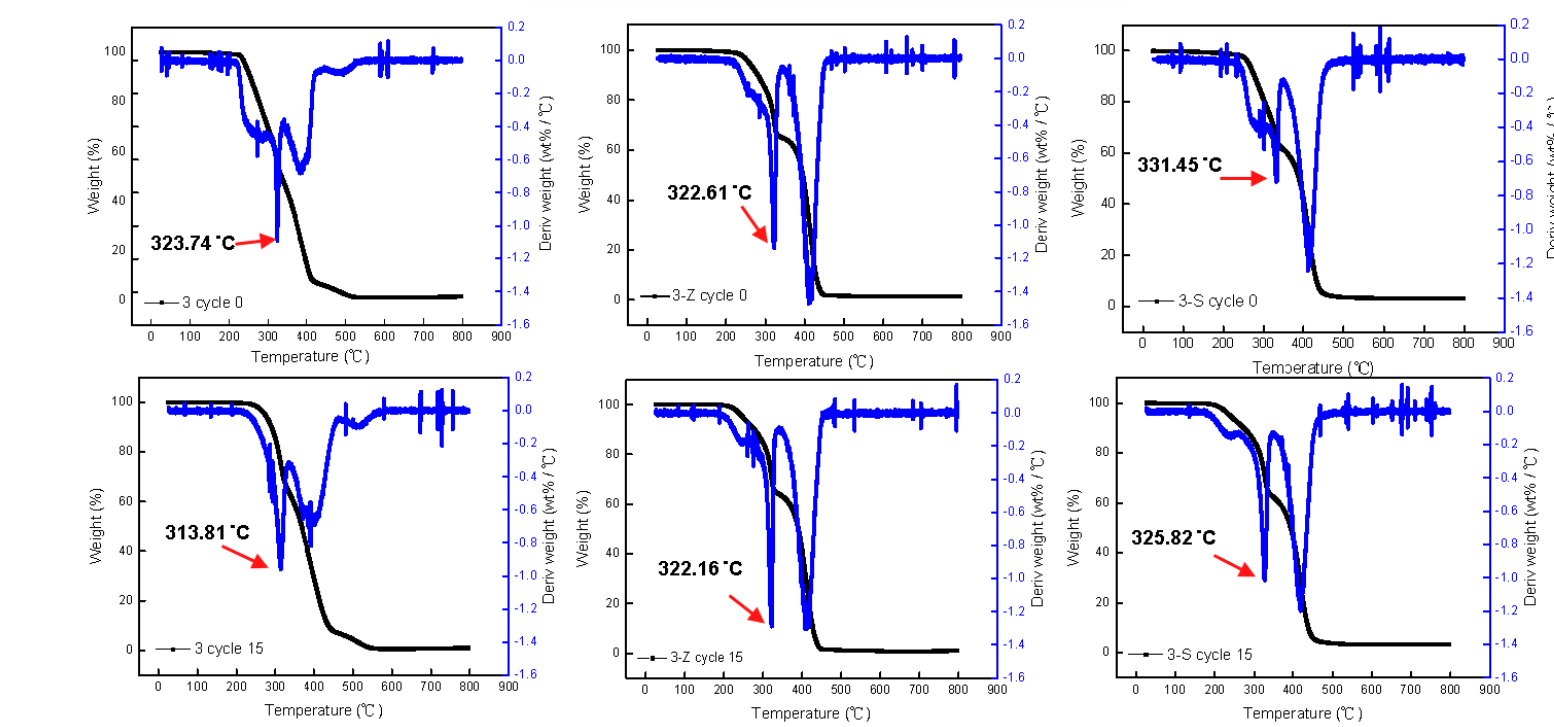
結構與粒徑分析



Sample	Z-Average (nm)	Number-average size (nm)	Number (%)	Polydispersity (PI)
SiO ₂	4543	92.89	50	1
ZnO	34.62	13.06	23.25	0.2531

● 結晶構造差異：
繞射光譜證實，SiO₂ 為無定形非晶結構；而 ZnO 則有清晰的多晶同心圓繞射環，具備結晶性。

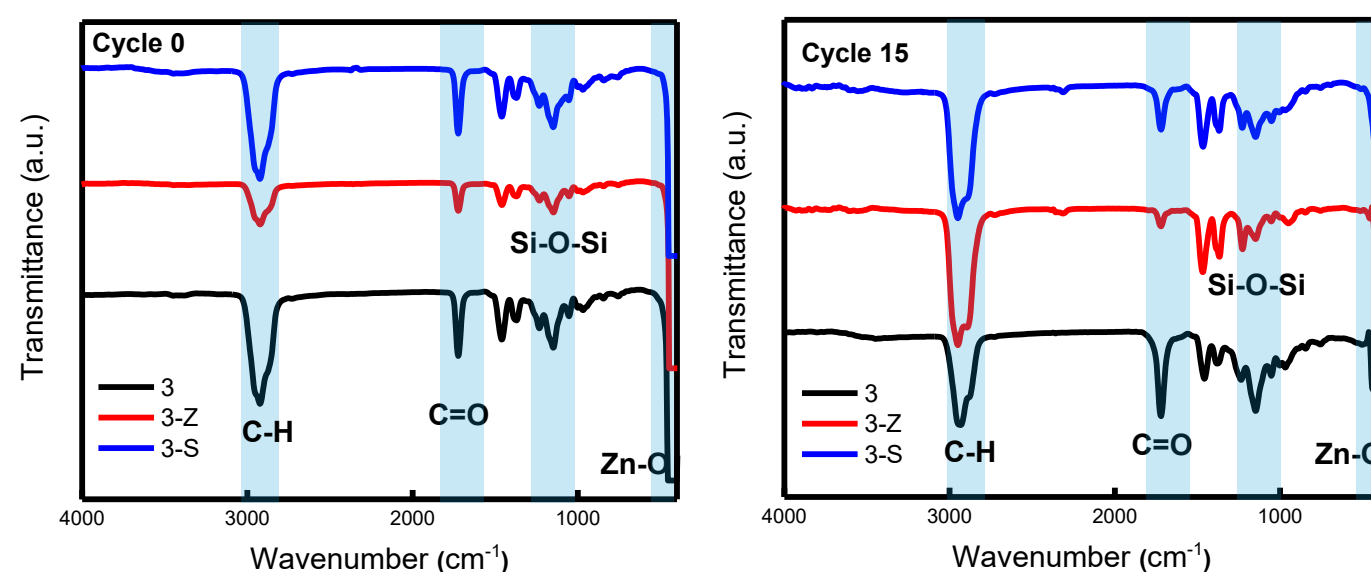
熱穩定性分析



Sample	DTG peak temperature (°C)		ΔT (°C)
	Without heating	Cycle 15	
3	323.74	313.81	9.93
3-Z	322.61	322.16	0.45
3-S	331.45	325.82	5.63

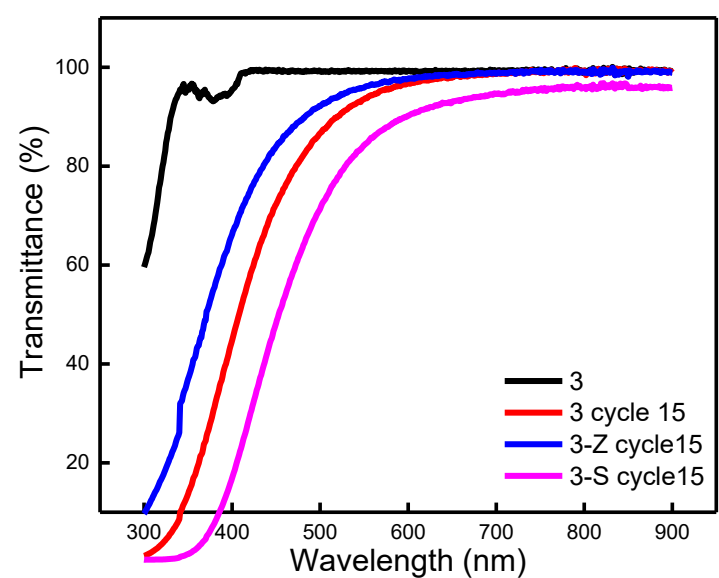
- 添加 ZnO
經過熱循環後，ZnO 樣品仍能維持完整的熱分解曲線，有較佳的耐熱循環穩定性。
- 添加 SiO₂
可提升材料耐熱性。但在長時間熱循環下的穩定效果有限。

結構分析

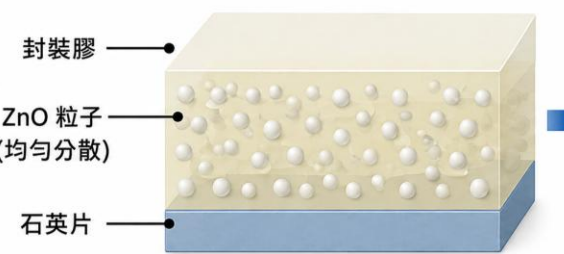


- 與原封裝膠相比，加入 ZnO 與 SiO₂ 的樣品在經歷 15 次循環後，展現出更優異的結構穩定性。
- 3-Z 具有最佳的保護效果，能有效抑制材料降解，是提升長期耐用性的最佳選擇。

穿透度與光學性能分析

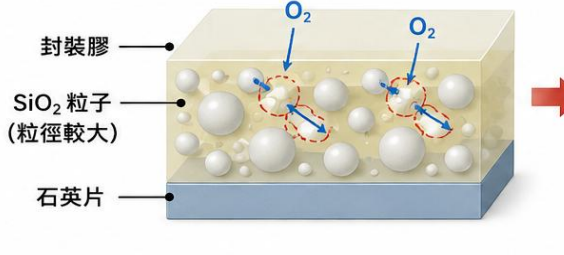


加入 ZnO 可減緩黃化效果



- ZnO 粒子均勻分散於膠材中
- 填補微小空隙，提升界面緻密性
- 阻隔氧氣滲透，減少氧化反應
- 減緩黃化，保持透明度

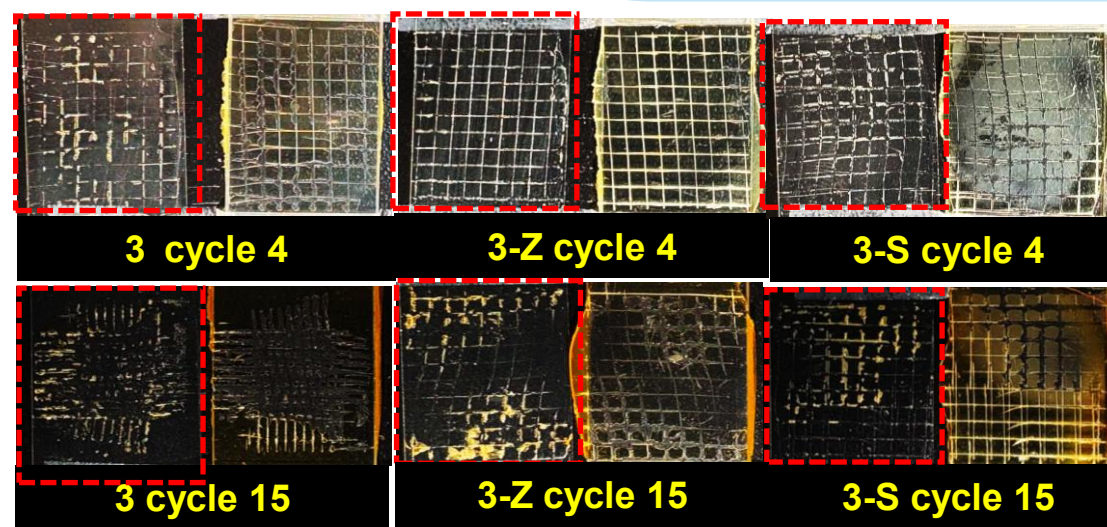
加入 SiO₂ 加速變黃



- 粒子太大與膠材高分子鏈的相容性較差
- 界面處容易產生微小的縫隙
- 縫隙會吸入氧氣 (O₂)
- 在薄膜內部持續提供氧化反應所需的原料
- 加速變黃

- 經 15 次循環測試，原始 302 與 3-S 因嚴重光降解導致結構變黃、光譜大幅右移。
- 添加了 ZnO 的 3-Z 右移程度最小，外觀保持最為透亮，抗黃變效果最突出。

附著力測試



百格測試附著力等級對照表

ISO 等級	ASTM 等級	剝離面積 (%)	外觀描述	備註
Class 0	5B	0%	切口處完全光亮，無任何剝離。	✓
Class 1	4B	< 5%	切口處有少量剝離，剝離面積小於 5%。	●
Class 2	3B	5% ~ 15%	切口處有少量剝離，剝離面積介於 5% 至 15%。	●
Class 3	2B	15% ~ 35%	切口處有少量剝離，剝離面積介於 15% 至 35%。	●
Class 4	1B	35% ~ 65%	切口處有少量剝離，剝離面積介於 35% 至 65%。	●
Class 5	0B	> 65%	剝離面積超過 65%，大部分膠層已剝離。	●

Sample	Percentage of area affected (%)		ISO class	
	cycle 4	cycle 15	cycle 4	cycle 15
3	5	65	1	4
3-Z	0	15	0	2
3-S	35	35	3	4

- 添加 ZnO 後加熱循環後仍能維持完整格線結構，表示有較佳的塗層附著力與界面穩定性，3-Z cycle 4，在百格測試中展現良好黏附度，加熱 15 次後，還是有剝離情況，但相較於另外兩者，性能為最佳。

結論

1. 添加 ZnO 奈米粒子、SiO₂ 微米粒子時，小顆粒子能均勻分散在膠體中，能有效減緩材料黃化保持透明度，加入大顆粒子界面容易產生空隙使氧氣進入，使薄膜內部發生氧化反應，導致黃化加速，黃化後的穿透度以 UV 數據圖觀察出略微影響。
2. 加入 ZnO 經過熱循環後，ZnO 樣品仍能維持完整的熱分解曲線，有較佳的耐熱循環穩定性，而加入 SiO₂ 可提升材料耐熱性，但在長時間熱循環下的穩定效果較有限。
3. 百格黏附度測試中添加 ZnO 後加熱循環後仍維持完整格線結構，表示有較佳的塗層附著力與界面穩定性，SiO₂ 在熱循環過後則反之。