

2010 TOPCO 崇越論文大賞

論文題目：

透過摻雜奈米粉體封裝技術以提升發光
二極體之光取出特性

報名編號：SC0011

摘要

在本論文中，研究共分為兩個部分。分別使用二氧化矽 (SiO_2) 與氧化鋅 (ZnO) 奈米粉體摻雜於發光二極體 (LED) 的固晶膠以及封裝膠中。

第一部分：分別使用奈米粉體 SiO_2 、 ZnO 摻雜於低功率 LED 的固晶膠。結果得知，當摻雜量為 30 wt% 時，兩者皆有最佳的光輸出通量，其中又以 ZnO 粉體為最佳，當操作電流為 20 mA 時，摻雜 ZnO 奈米粉體之光通量比未摻雜的光通量提升了 3.31%，當電流達到 100 mA 時，光通量則提升了 9.75%。

第二部分：分別使用奈米粉體 SiO_2 、 ZnO 摻雜於低功率 LED 的封裝膠。結果得知，當摻雜量為 0.05 wt% 時，兩者皆有最佳的光輸出通量，其中又以 ZnO 粉體為最佳，當操作電流為 20 mA 時，摻雜 ZnO 奈米粉體之光通量比傳統封裝的光通量提升了 5.22%，當電流達到 100 mA 時，光通量則提升了 12.06%。

從本研究中得知在發光二極體封裝應用上，摻雜奈米粉體的 LED 元件，在光通量均有明顯的改善。尤其以摻雜 ZnO 粉體之 LED 元件，光輸出通量提升幅度最大。

關鍵字：發光二極體、奈米粉體、光取出

壹、導論

一、前言

由於 21 世紀已步入強調節能及環保的時代，減少能源的消耗及環境污染已成為重要的課題，而照明技術更朝向節能、低污染、智能化的方向發展。

LED 與傳統白熾鎢絲燈泡及日光燈相比，LED 具有體積小（不同尺寸可供設計選擇）、亮度衰減較緩慢、低功率損耗、發光熱量低（沒有熱幅射）、耗電量小（低電壓、低電流啟動）、壽命長（約 5~10 萬小時）、反應速度快（可在高頻操作）、環保（耐震、耐衝擊不易碎、廢棄物可回收，沒有污染）、全系列發光顏色皆可生產（由藍色 430nm 至暗紅色 660nm）、提供高功率使用與高亮度產品、利用紅、綠、藍 3 原色晶片封裝技術製作單顆全彩機種（three in one）、可平面封裝易開發成輕薄短小產品等優點，且沒有白熾燈泡高耗電、易碎以及日光燈廢棄物含汞可能造成環境污染等問題，是被看好能夠成為替代傳統照明燈具的潛力商品[1-2]。

而照明對於現代生活是不可或缺的，全球花在照明的平均用電量，約佔全球總用電量的百分之四十，是相當可觀的，因石油危機導致石油越來越昂貴，使得

人類對物質的看法有所改變，積極的發展具省電功能和環保概念的新照明 LED，此為照明史上革命性的改變，大量的減少電力使用量，又對環境有所保護不受污染，可望能為未來照明光源帶來一線曙光。

二、研究動機

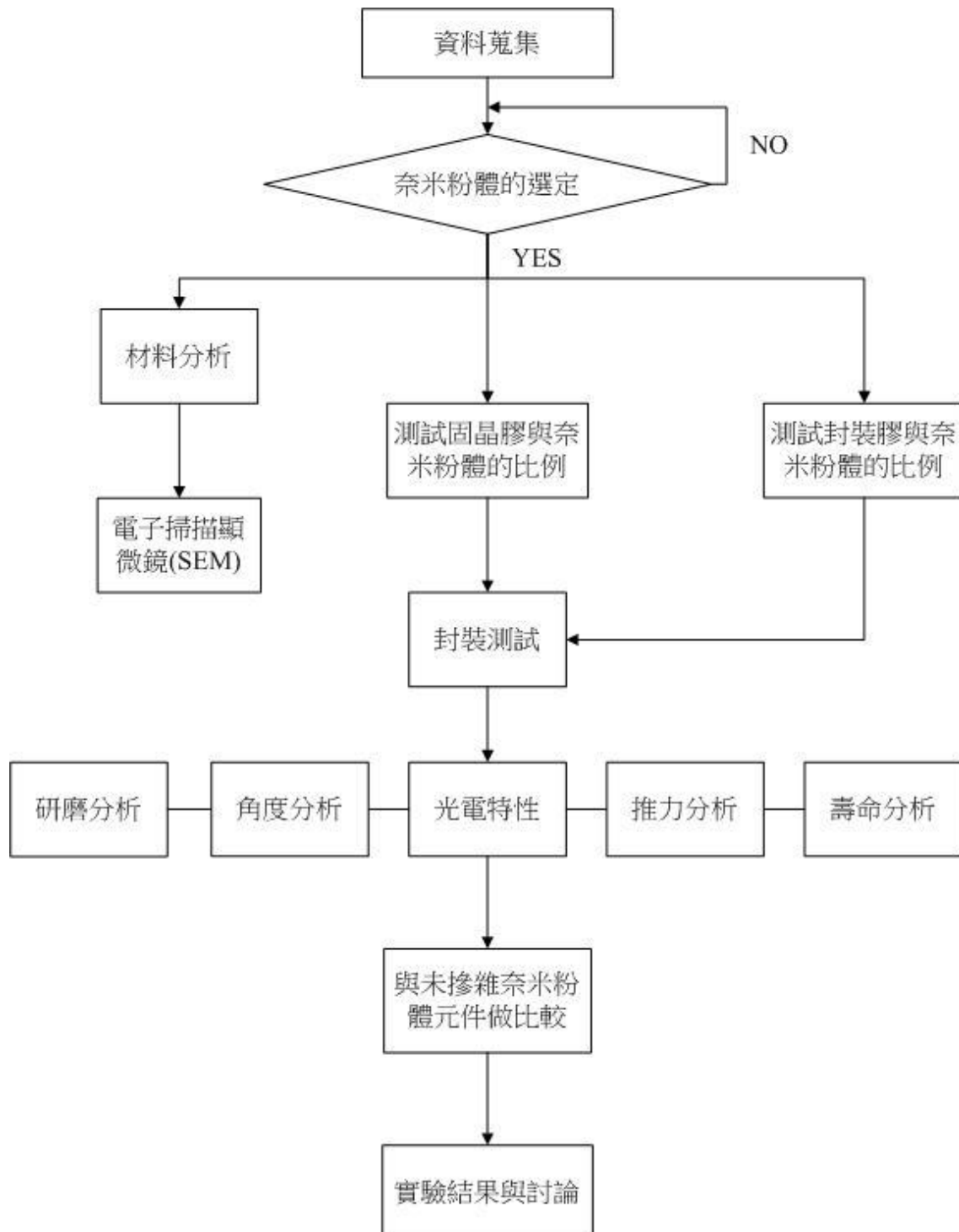
近年來全球廠商都致力於綠色能源的研究上，其中發光二極體（LED）因為具有體積小、高耐震性、壽命長、耗電量少、環保、反應速度快等諸多優點，因此目前被廣泛得應用在手持或面板裝置的背光、戶外看板、交通工具指示與號誌，甚而逐漸滲透至一般室內外照明市場，潛力無窮[3-4]。

元件內部所產生的光子在經過元件本身的吸收、折射、反射後，在元件外部實際量測到的光子數目即為「光萃取率」。因此與光萃取率相關的因素包含了元件材料本身的吸收、元件的幾何結構、元件和封裝材料的折射率差及元件結構的散射特性等。而元件的外部量子效率，則為元件的內部量子效率（Internal quantum efficiency）與元件的光萃取率（Light extraction efficiency）的乘積[5]。

然而早期元件發展集中在提升內部量子效率，主要方法是利用提高磊晶的品質及改變磊晶的結構，使電能不易轉換成熱能，進而間接提高 LED 的發光效率，此方法可獲得約 90%左右的理論內部量子效率。但是這樣的內部量子效率幾乎已經接近理論的極限，在這樣的狀況下，光靠提升元件的內部量子效率不可能提升元件的總光量，因此本研究將透過摻雜奈米粉體封裝技術來提升元件的光萃取率。

貳、實驗流程與方法

一、實驗流程



二、實驗材料

本實驗所使用的奈米粉體-二氧化矽 (SiO_2) 與氧化鋅 (ZnO) 為無機化合物，兩者皆為白色微粒子不吸收可見光，所以作為本論文的實驗材料。

SiO_2 具有硬度大、耐高溫、耐震性、電絕緣的性能。它的粒徑約為 40 nm (如圖1、2所示)、折射率為 1.47、熱導為 0.45 W/mK。

ZnO 它是白色固體，故又稱鋅白。在紫外線或硫化氫下，氧化鋅仍可保持白色。氧化鋅能夠吸收紫外線，它是一種寬頻隙半導體材料，室溫下帶隙約 3.3eV，而粒徑約為 100 nm (如圖3、4所示)、折射率為 1.9-2.0。

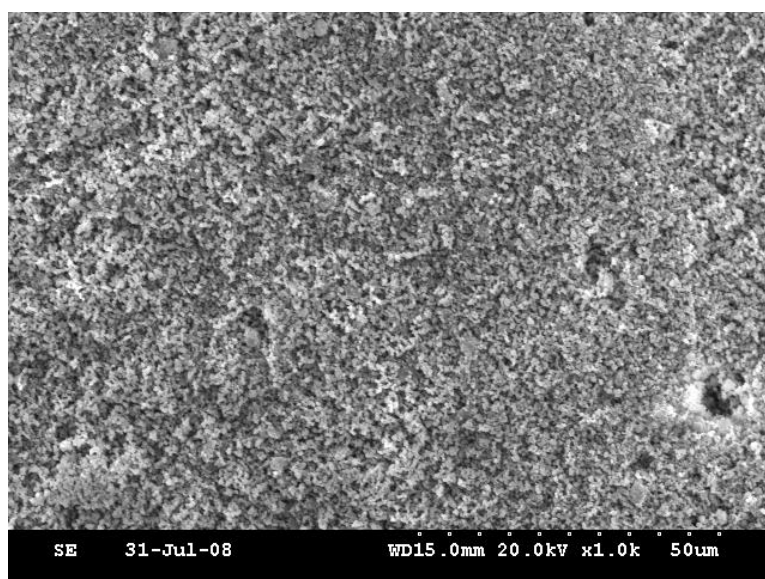


圖1 二氧化矽SEM圖 (1000x)

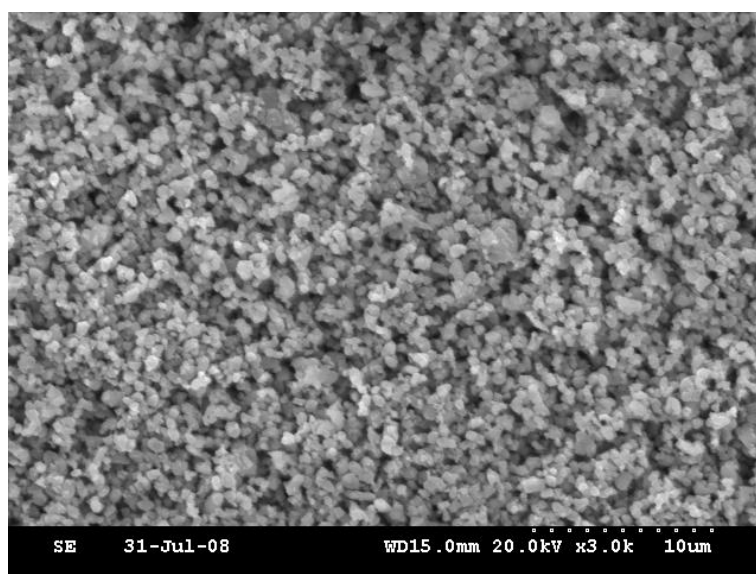


圖2 二氧化矽SEM圖 (3000x)

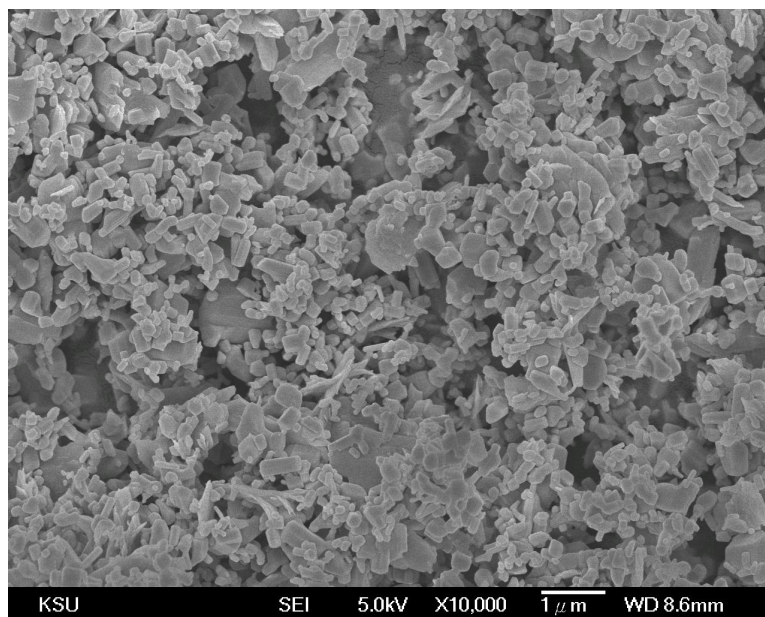


圖3 氧化鋅SEM圖（10000x）

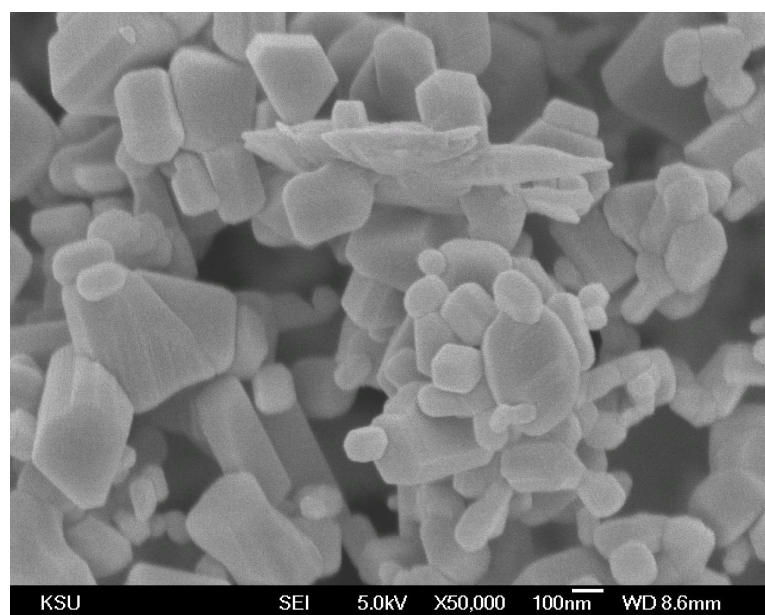


圖4 氧化鋅SEM圖（50000x）

三、實驗儀器

（一）烘箱

本實驗室的烘箱分為兩台，一為Eopxy烘箱，一為Silicone烘箱，如圖5所示，這是考慮到兩種膠體如果共用一台烘箱，容易造成汙染，使得製作出來的元件特性改變。



圖5 烘箱儀器圖

(二) 積分球系統

實驗經過封裝製程後做成的元件，所量測到的元件光電特質，才是決定元件好壞及可靠度高低的依據。在此我們就是透過儀器積分球量測系統，如圖6所示，量測出SMD 型式元件結構的光電特性。



圖6 積分球量測系統圖

(三) 光學量測系統 (OM)

本實驗室使用的機台，如圖 7 所示，光學顯微鏡的儀器裝置簡便，其成像原理是利用可見光照射在試片表面造成局部散射或反射來形成不同的對比。然而光學顯微鏡為一般光束，可見光的波長 200 nm 到 750 nm，可適用於低倍數的放大。在解析度（或謂鑑別率、解像能，係指兩點能被分辨的最近距離）的考量上自然是比較差的。



圖7 光學顯微鏡量測系統圖

(四) 場發射掃描式電子顯微鏡 (FE-SEM)

電子顯微鏡主要是由電子槍 (Electronic Gun) 發射出高加速電壓之入射電子束，經過一組磁透鏡聚焦 (Condenser Lens) 後，用遮蔽孔徑 (Condenser Aperture) 選擇電子束的尺寸 (Beam Size) 後，通過一組控制電子束的掃描線圈，再透過物鏡 (Objective Lens) 聚焦，打擊在試片後，產生相關二次訊號分析各種特性。二次訊號包刮，直射電子、散射電子、二次電子、背向散射電子、Auger電子極X射線等訊號。然後將這些訊號經由適當檢測器 (Detector) 接收後，再經過放大器 (Amplifier) 放大，然後送到顯像館 (Braun Tube) 上成像。放大倍率可達10~640K 利於觀察薄膜表面集結面型態分析，其分析原理，如圖8所示。本研究使用崑山科技大學奈米技術研發中心提供之場發射掃描式電子顯微鏡 (Field Emission Scanning Electron Microscope, FE-SEM)，儀器型號為JEOL-JSM-6700F，如圖9所

示，利用FE-SEM 高解析度之分析影像，觀察奈米粉體的粒徑。

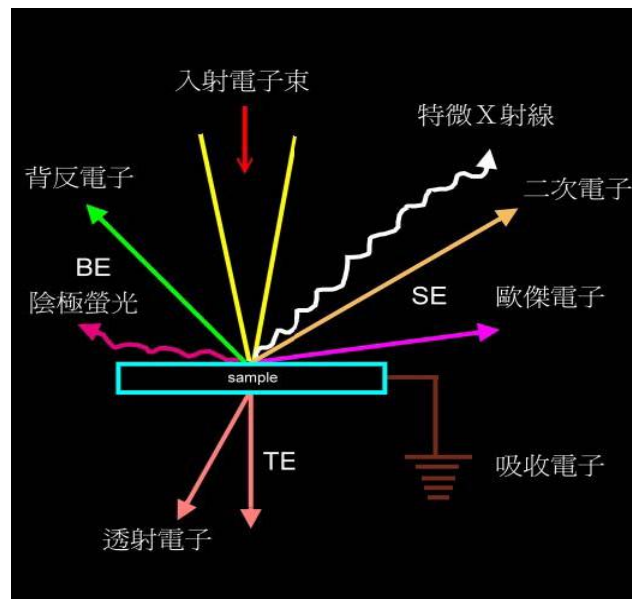


圖8 SEM分析原理示意圖



圖9 SEM量測系統示意圖

四、元件封裝流程

在製作發光二極體的封裝實驗流程中，首先以SMD導線架作為封裝基座，在SMD導線架的空碗杯底部點上固晶用的透明絕緣Epoxy膠體，在將藍光LED晶粒放在固晶膠體上壓合好送進烤箱烘烤170℃時間為1小時將固晶膠體烘乾，完成封裝流程中的Die-bond步驟；之後固晶完的導線架放到打線機上，將藍光LED晶粒上的正負電極各別打上金線到導線架的正負電極上，完成封裝流程中的Wire-bond步

驟，此時的元件便可以通電發出藍光；將完成Wire-bond的導線架注入混合的Silicone封膠，將導線架的碗杯完全填滿至平杯後送入烤箱烘烤150℃時間為2小時，將Silicone膠體烘乾後便完成元件製作；最後將完成的元件進行光電特性量測。

本實驗主要分為兩部分，製作元件的流程圖，如圖10所示，奈米粉體摻雜於低功率LED，左行的流程為支架→使用摻雜奈米粉體的固晶膠做固晶→打線→封膠，右行的流程為支架→固晶→打線→使用摻雜奈米粉體的封裝膠做封裝。

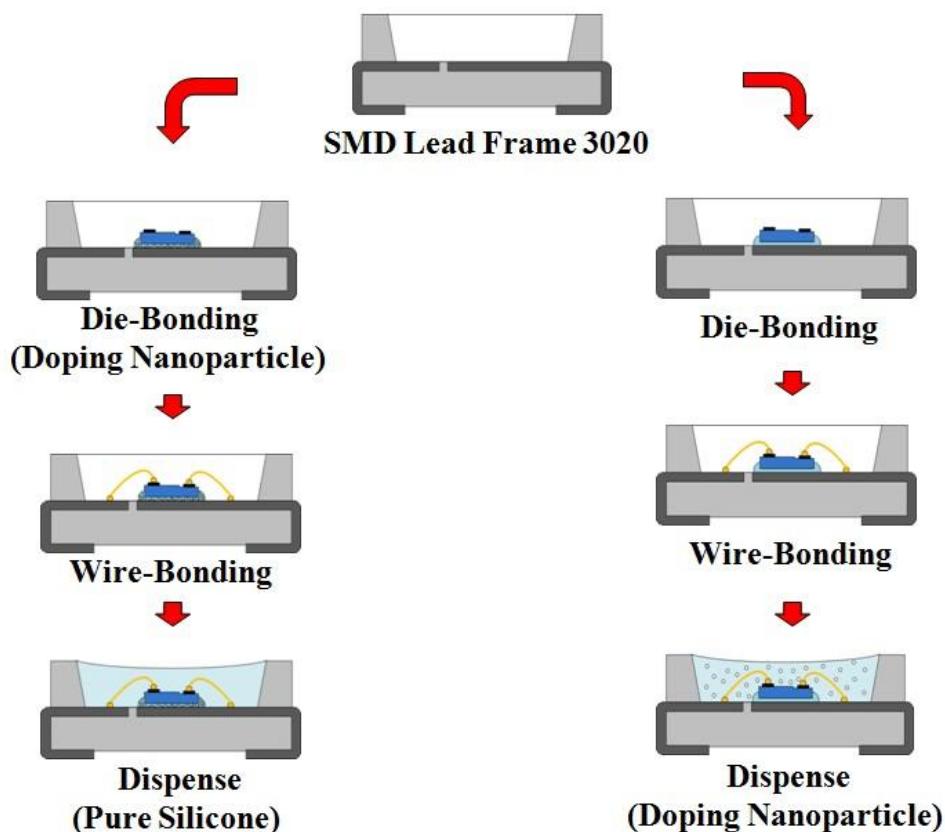


圖10 奈米粉體摻雜於低功率LED結構流程圖

(一) 支架

本實驗所使用的表面黏著型（SMD）支架型號為3020，3020的支架尺寸為長度（3 mm）、寬度（2 mm）、高度（1.3 mm），如圖11所示。

Lead-Frame	Top-View	Bottom-View	Entity-View
Low-Power (SMD 3020)			

圖11 為實驗所使用之支架照片

(二) 晶粒

本研究將奈米粉體摻雜於發光二極體中，所使用的LED晶粒尺寸為10 mil × 23 mil。實驗元件經由固晶（如圖12所示）及打線後點亮的照片，如圖13所示。封裝元件所量測的光譜圖，10 mil × 23 mil在藍光部分波長約為454 nm，如圖14所示。



圖12 實驗元件固晶照片



圖13 實驗元件點亮照片（@ 1 mA）

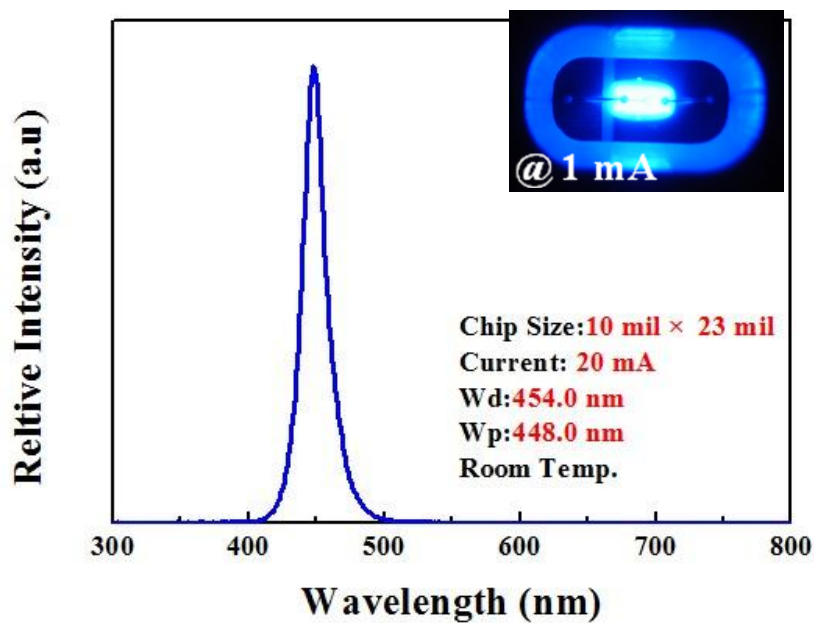


圖14 晶粒尺寸10 mil × 23 mil頻譜圖

(三) 固晶用膠

本實驗所使用的固晶用膠為透明絕緣膠 DX-20，折射率為1.52。先設定烘烤溫度為30°C至150°C，時間為18分鐘，再設定烘烤溫度為160°C，時間為5分鐘，再設定烘烤溫度為160°C至170°C，時間為5分鐘，再設定烘烤溫度為170°C，時間為60分鐘，最後從170°C降溫到0°C，時間為90分鐘，總共花2.97小時，如圖15所示。

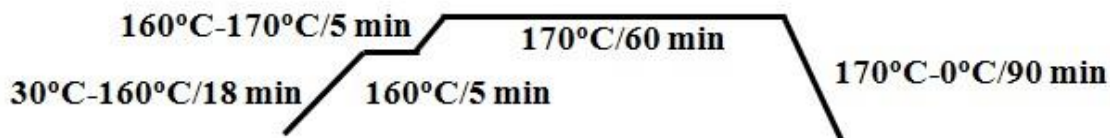


圖15 實驗元件固晶膠烘烤參數圖

(四) 打金線

本實驗所使用的金線線徑為1 mil，打金線在LED 晶粒上，如圖16所示，是以金屬的傳導性和延展性來說。因為金是所有金屬中傳導性和延展性最佳的材質。所以在封裝廠中，打線（Wire Bonded）首推用金線來拉線，如果用其他金屬，如銅或者銀，其實也可以。但它的傳導性和延展性並沒有像金那樣子好。當支架（Chip）的晶粒（Die）很小，而拉線又要很長時，用銅或者銀很容易會有斷線的機率發生。

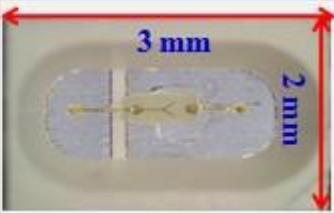
Lead-Frame	Chip Size	Entity-View
Low-Power (SMD 3020)	10 mil × 23 mil	

圖16 實驗元件打線照片

(五) 封裝用膠

本實驗奈米粉體摻雜於LED中，所使用的封裝膠體為Silicone膠它分為兩劑，一種為A膠LPS-5547（呈膠體狀，主膠），另一種則為B膠C-5547（呈液體狀，硬化劑），本實驗是以比例為10:1做為調整黏度的參數材料，高透光性、高折射率（折射率1.53）作為發光二極體封裝材料，封膠結果，如圖17所示。烘烤條件由自己做

驗證，找出最佳的烘烤條件，首先設定烘烤溫度為30℃至40℃，時間為10分鐘，再設定烘烤溫度為40℃，恆溫時間為120分鐘，再設定烘烤溫度為40℃至70℃，時間為10分鐘，再設定烘烤溫度為70℃，恆溫時間為60分鐘，再設定烘烤溫度為70℃至100℃，時間為15分鐘，再設定烘烤溫度為100℃，恆溫時間為60分鐘，再設定烘烤溫度為100℃至150℃，時間為30分鐘，再設定烘烤溫度為150℃，恆溫時間為120分鐘，最後從150℃降溫到0℃，時間為60分鐘，總共花費8.08小時，如圖18所示。

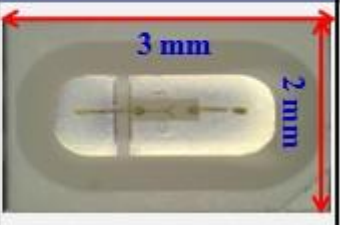
Lead-Frame	Chip Size	Entity-View
Low-Power (SMD 3020)	10 mil × 23 mil	

圖17 實驗元件封膠照片

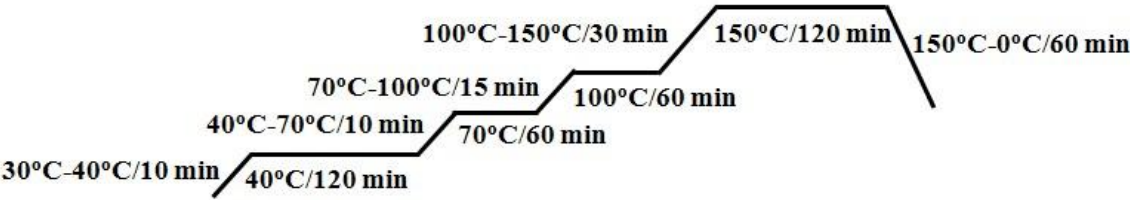


圖18 LPS-5547封裝膠烘烤參數圖

參、結果與討論

這一章會討論實驗的結果，完成的 LED 元件，都將以方全代理的光學積分球（CAS 140CT Compact-Array Spectrometer，如圖 6 所示）測量其光電特性，截取其原始資料，以 Origin 畫成曲線圖，再加以討論分析。本論文的研究主要分為兩部分，包括：奈米粉體摻雜於低功率發光二極體的固晶膠、奈米粉體摻雜於低功率發光二極體的封裝膠。

一、固晶膠摻雜奈米粉體實驗結果

（一）低功率發光二極體

低功率發光二極體的固晶膠摻雜奈米粉體實驗中，將透過奈米粉體二氧化矽（ SiO_2 ）、氧化鋅（ ZnO ）混入Epoxy膠體中來做探討，以不同的重量百分比摻雜於Epoxy，結構示意圖，如圖19所示，在元件光電特性分析部分，透過積分球量測系統（Integrating Sphere）的量測分析結果顯示， SiO_2 、 ZnO 不同摻雜濃度之元件所量測到的光通量關係圖，如圖20、21所示，當在室溫下，將各個不同比例的元件輸入電流20 mA，當 SiO_2 摻雜於Epoxy膠體的量為30 wt%時，藍色LED的光輸出通量為0.94 lm，相較於未摻雜 SiO_2 粉體的光輸出通量0.91 lm，有2.97%的提升，如表1所示。當 ZnO 摻雜於Epoxy膠體的量為30 wt%時，藍色LED的光輸出通量為0.94 lm，相較於未摻雜 ZnO 粉體的光輸出通量0.91 lm，有3.31%的提升，如表2所示。在變電流操作下，注入電流由0 mA到100 mA，以每10 mA為一點量測並記錄。從實驗結果得到元件的光通量會因電流的增加而增加，變化之曲線圖，如圖22、23所示。同時當操作電流提升到100 mA時，使用 SiO_2 摻雜於Epoxy膠體的量為30 wt%時，光通量比未摻雜奈米粉體之低功率藍色LED光輸出通量提升了7.33%，如表3所示。使用 ZnO 摻雜於Epoxy膠體的量為30 wt%時，光通量比未摻雜奈米粉體之低功率藍色LED光輸出通量則提升了9.75%，如表4所示。

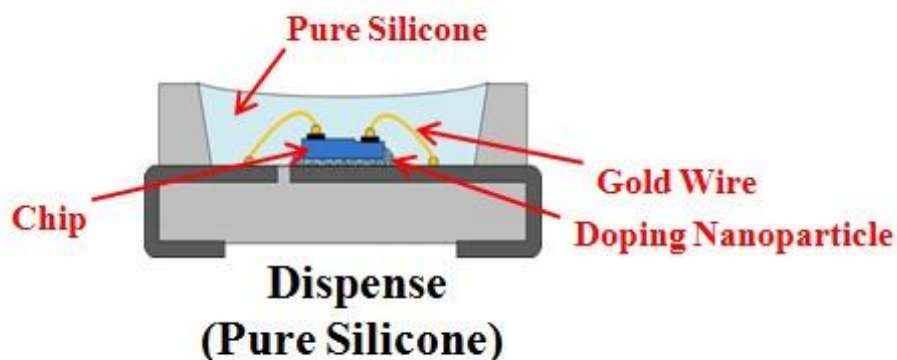


圖19 SMD 3020-固晶膠摻雜奈米粉體之結構圖

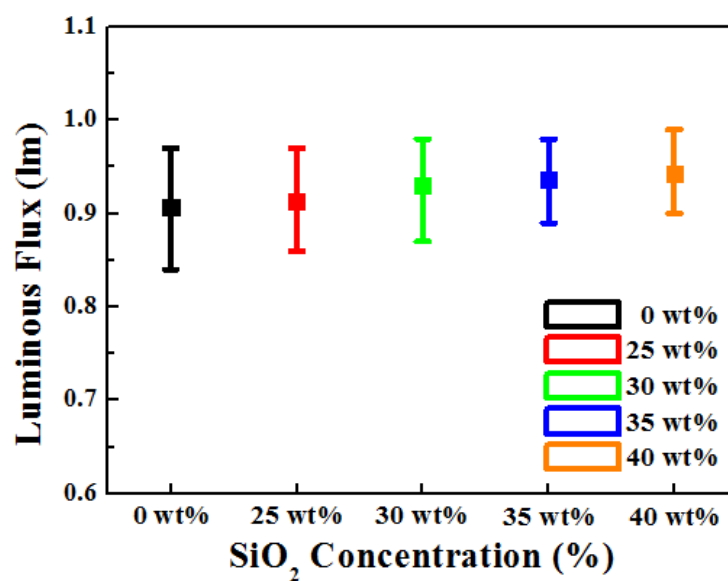


圖20 SMD 3020-SiO₂摻雜於固晶膠不同摻雜濃度之光通量關係圖

(Concentration (%) : Weight Percentage, Operating Current @ 20 mA, Room Temp.)

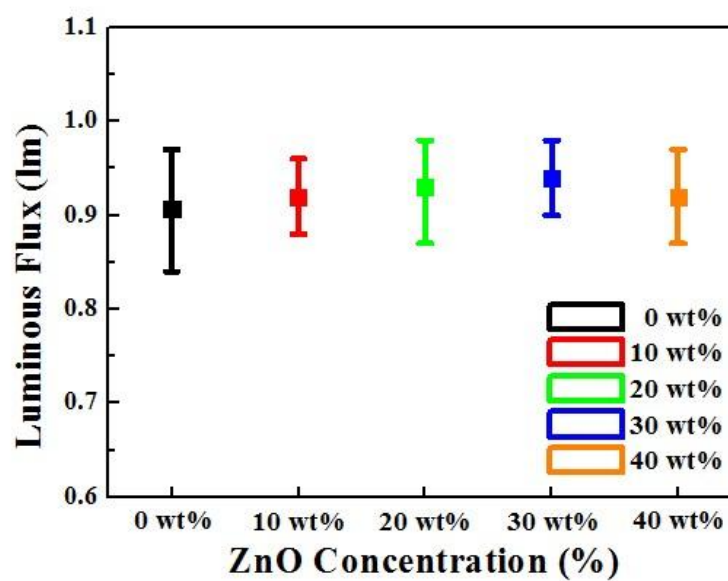


圖21 SMD 3020-ZnO摻雜於固晶膠不同摻雜濃度之光通量關係圖

(Concentration (%) : Weight Percentage, Operating Current @ 20 mA, Room Temp.)

表1 為SMD 3020-SiO₂摻雜於固晶膠不同摻雜濃度之光通量

(Sample : 每一組16 ea)

SiO ₂ Concentration	Initial (mW)	ΔmW (%)	Flux (lm)	Δlm (%)	Total Flux (lm)	$\Delta Total$ (%)
0 wt%	21.98	0.00	0.9115	0.00	0.9115	0.00
25 wt%	22.02	0.18	0.9144	0.32	0.9128	0.14
30 wt%	22.05	0.32	0.9415	3.29	0.9385	2.97
35 wt%	21.91	-0.32	0.9335	2.41	0.9365	2.73
40 wt%	21.84	-0.64	0.9338	2.45	0.9398	3.08

表2 為SMD 3020-ZnO摻雜於固晶膠不同摻雜濃度之光通量

(Sample : 每一組16 ea)

ZnO Concentration	Initial (mW)	ΔmW (%)	Flux (lm)	Δlm (%)	Total Flux (lm)	$\Delta Total$ (%)
0 wt%	21.98	0.00	0.9115	0.00	0.9115	0.00
10 wt%	21.95	-0.14	0.9171	0.61	0.9184	0.75
20 wt%	22.04	0.27	0.9407	3.20	0.9382	2.93
30 wt%	22.00	0.09	0.9425	3.40	0.9417	3.31
40 wt%	21.97	-0.05	0.9167	0.57	0.9172	0.62

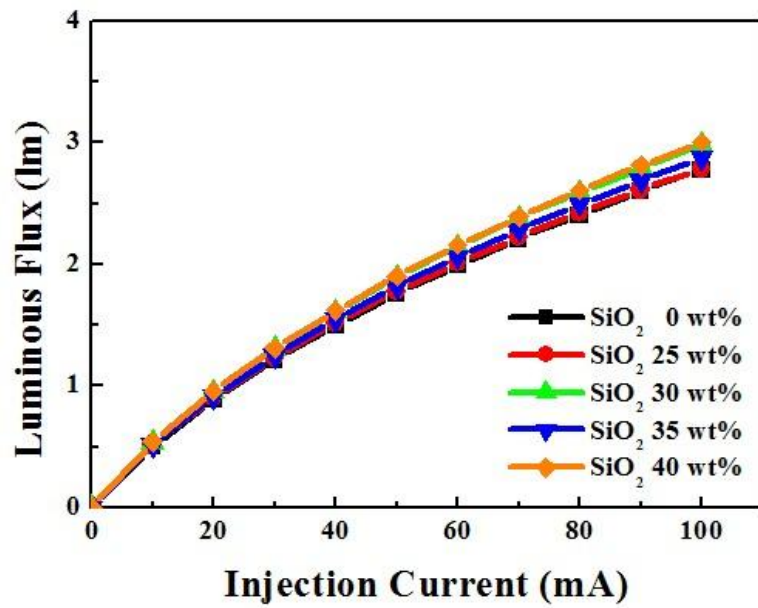


圖22 SMD 3020-SiO₂摻雜於固晶膠不同摻雜濃度之變電流關係圖

(Concentration (%) : Weight Percentage, Operating Current @ 20 mA, Room Temp.)

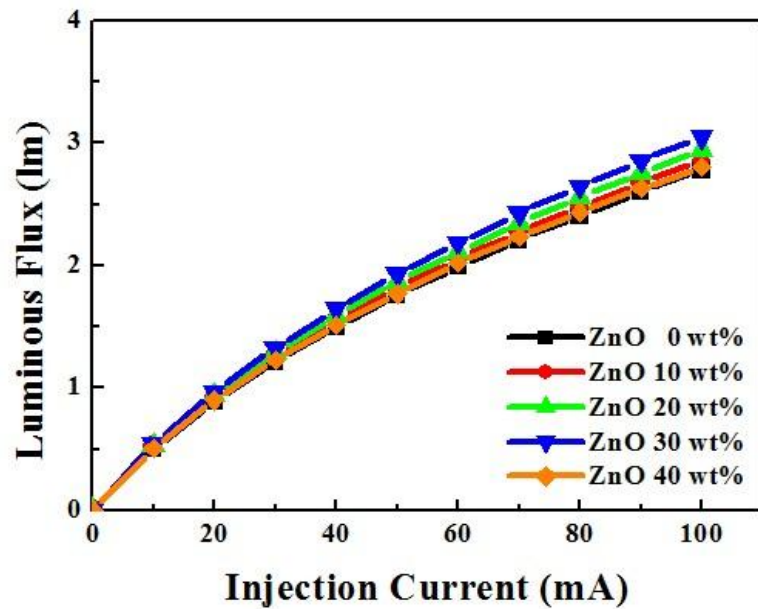


圖23 SMD 3020-ZnO摻雜於固晶膠不同摻雜濃度之變電流關係圖

(Concentration (%) : Weight Percentage, Operating Current @ 20 mA, Room Temp.)

表3 為SMD 3020-100 mA下SiO₂摻雜於固晶膠不同摻雜濃度之光通量

(Sample : 每一組8 ea)

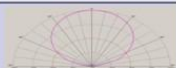
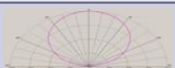
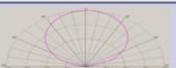
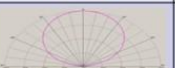
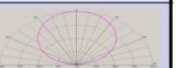
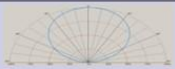
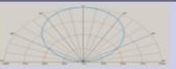
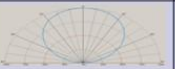
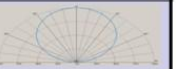
SiO ₂ Concentration	Flux (lm)	Total (%)
0 wt%	2.78	0.00
25 wt%	2.78	0.19
30 wt%	2.98	7.33
35 wt%	2.87	3.36
40 wt%	3.01	8.13

表4 為SMD 3020-100 mA下ZnO摻雜於固晶膠不同摻雜濃度之光通量

(Sample : 每一組8 ea)

ZnO Concentration	Flux (lm)	Total (%)
0 wt%	2.78	0.00
10 wt%	2.85	2.67
20 wt%	2.94	5.95
30 wt%	3.05	9.75
40 wt%	2.81	0.98

在元件角度分析部分，如圖 24 所示，透過視角測試機所量測的結果，SiO₂、ZnO 摻雜於 Epoxy 膠體中，不管粉體摻雜的濃度多寡，發光角度無論在 0° 線或 90° 線發光的角度都沒有太大的差異。

Step	SiO ₂ Concentration				
	0 wt%	25 wt%	30 wt%	35 wt%	40 wt%
Angle	121.91	121.58	121.50	121.66	121.26
0°					
Angle	121.19	120.76	120.62	120.98	119.96
90°					

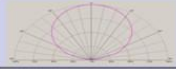
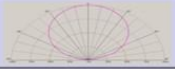
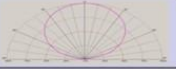
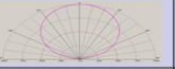
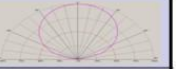
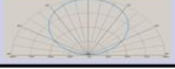
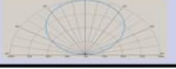
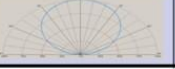
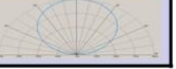
Step	ZnO Concentration				
	0 wt%	10 wt%	20 wt%	30 wt%	40 wt%
Angle	121.91	121.5	121.21	121.17	121.35
0°					
Angle	121.19	120.68	120.49	120.32	120.42
90°					

圖24 SMD 3020-固晶膠摻雜奈米粉體角度分析

(Concentration (%) : Weight Percentage, Sample : 每一組2 ea,

Operating Current @ 20 mA, Room Temp.)

在元件機械性質分析部分，如圖25所示，由於直接在Epoxy中摻雜SiO₂、ZnO粉體，這將會影響元件的可靠度，所以經由推力測試來驗證所造成的影響，從圖中得知摻雜SiO₂粉體它的晶粒可承受程度為857 g，摻雜ZnO粉體它的晶粒承受程度為603 g，跟未摻雜粉體的晶粒承受程度1055 g有略降的趨勢，從這個結果得知粉體的粒徑越大，晶粒與支架之間的接合性也就越差，但由於一般市面上10 mil × 23 mil晶粒尺寸的推力標準規範為265 g，由此可見，透過此種製程所製作之元件，雖然接合性有略變差，但仍然有達到標準規範。

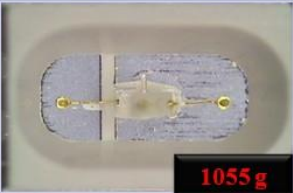
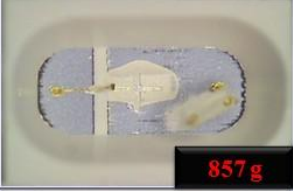
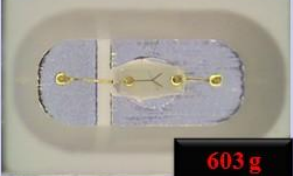
Concentration	Average Force (g)	Note
0 wt%		★ Sampling : 4 pcs ★ Chip Size ➤ 10 mil × 23 mil ★ Standard : 265 g
SiO ₂ 30 wt%		
ZnO 30 wt%		

圖25 SMD 3020-固晶膠摻雜奈米粉體推力分析

在元件研磨分析部分，由於在固晶膠中摻雜奈米粉體，這將會影響支架與晶粒之間的膠體厚度差異，所以經由研磨分析，來驗證膠體厚度的變化，如圖 26、27 所示，得知摻雜的濃度遞增厚度也隨之遞增，粒徑越大厚度也越厚。

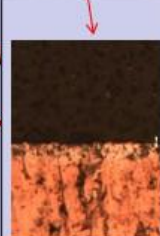
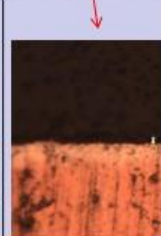
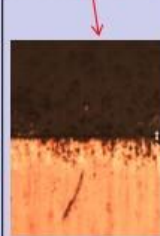
SiO ₂ Concentration	0 wt%	25 wt%	30 wt%	35 wt%	40 wt%
Optical Microscope Image (10x × 4.5x) → (10x × 50x) →					
					
Gap Thickness	0.63 μm	1.68 μm	2.21 μm	2.32 μm	3.37 μm

圖26 SMD 3020-SiO₂摻雜於固晶膠不同摻雜濃度之研磨分析

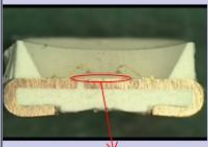
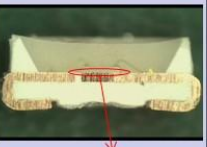
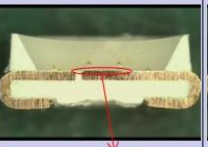
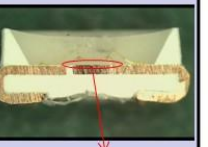
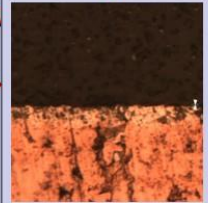
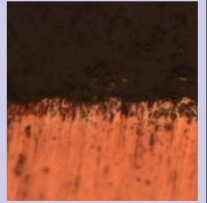
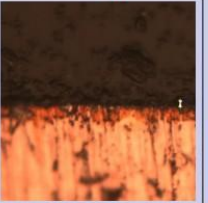
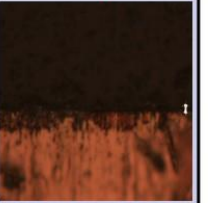
ZnO Concentration	0 wt%	10 wt%	20 wt%	30 wt%
Optical Microscope Image (10x × 4.5x) → (10x × 50x) →				
				
Gap Thickness	0.63 μm	1.68 μm	1.79 μm	3.08 μm

圖27 SMD 3020-ZnO摻雜於固晶膠不同摻雜濃度之研磨分析

從奈米粉體摻雜於固晶膠的研究探討中，當中的許多機制從本研究中得知，奈米粉體摻雜於固晶膠並不會影響發光的角度；奈米粉體的粒徑越大，對晶粒所能承受程度的影響也越大，這是由於晶粒與支架間接合性變差的結果，相對的奈米粉體粒徑越大晶粒與支架間的膠體厚度也就越厚。至於光取出為什麼會提升，這是由於透過奈米粉體摻雜於 Epoxy 膠體中，使得固晶材料層被墊高，讓晶粒背面的光線能夠更容易的從固晶材料層被導引出來，而不被晶片所吸收，因而增加元件光取出率。

二、封裝膠摻雜奈米粉體實驗結果

(一) 低功率發光二極體

低功率發光二極體的封裝膠摻雜奈米粉體實驗中，將透過奈米粉體二氧化矽 (SiO_2)、氧化鋅 (ZnO) 混入Silicone膠體中來做探討，以不同的重量百分比摻雜於Silicone膠體，結構示意圖，如圖28所示，在元件光電特性分析部分，透過積分球量測系統 (Integrating Sphere) 的量測分析結果顯示， SiO_2 、 ZnO 不同摻雜濃度之元件所量測光通量關係圖，如圖29、30所示，當在室溫下，將各個不同比例的元件輸入電流20 mA，當 SiO_2 摻雜於Silicone膠體的量為0.05 wt%時，藍色LED的光輸出通量為0.95lm，相較於未摻雜 SiO_2 粉體的光輸出通量0.91 lm，有4.40%的提升，如表5所示。當 ZnO 摻雜於Silicone膠體的量為0.05 wt%時，藍色LED的光輸出通量為0.96 lm，相較於未摻雜 ZnO 粉體的光輸出通量0.91 lm，有5.22%的提升，如表6所示。在變電流操作下，注入電流由0 mA到100 mA，以每10 mA為一點量測並記錄。從實驗結果得到元件的光通量會因電流的增加而增加，變化之曲線圖，如圖

31、32所示。同時當操作電流提升到100 mA時，使用SiO₂摻雜於Silicone膠體的量為0.05 wt%時，光通量比傳統封裝之低功率LED光輸出通量提升了11.15%，如表7所示。使用ZnO摻雜於Silicone膠體的量為0.05 wt%時，光通量比傳統封裝之低功率LED光輸出通量則提升了12.06%，如表8所示。

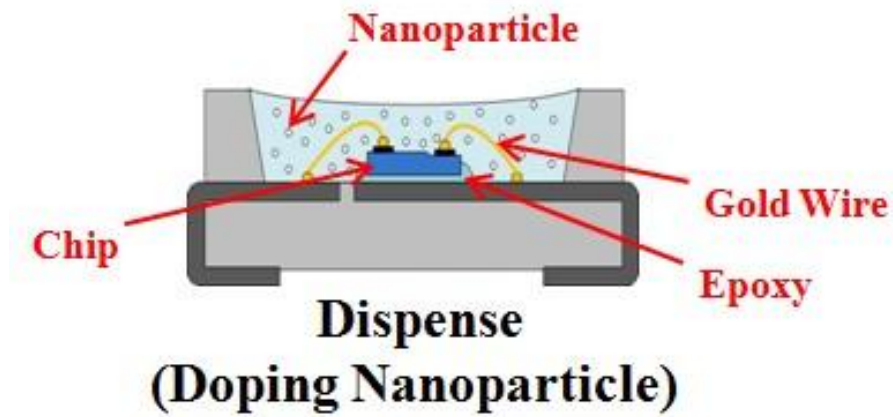


圖28 SMD 3020-封裝膠摻雜奈米粉體之結構圖

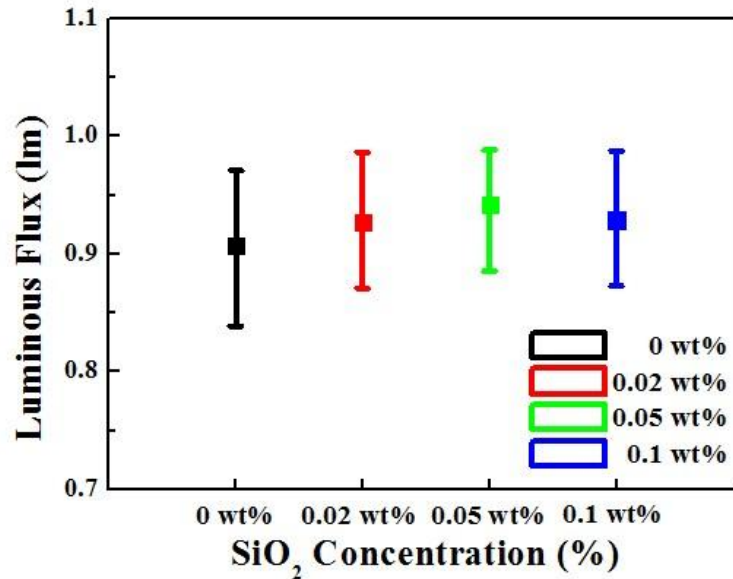


圖29 SMD 3020-SiO₂摻雜於封裝膠不同摻雜濃度之光通量關係圖

(Concentration (%) : Weight Percentage, Operating Current @ 20 mA, Room Temp.)

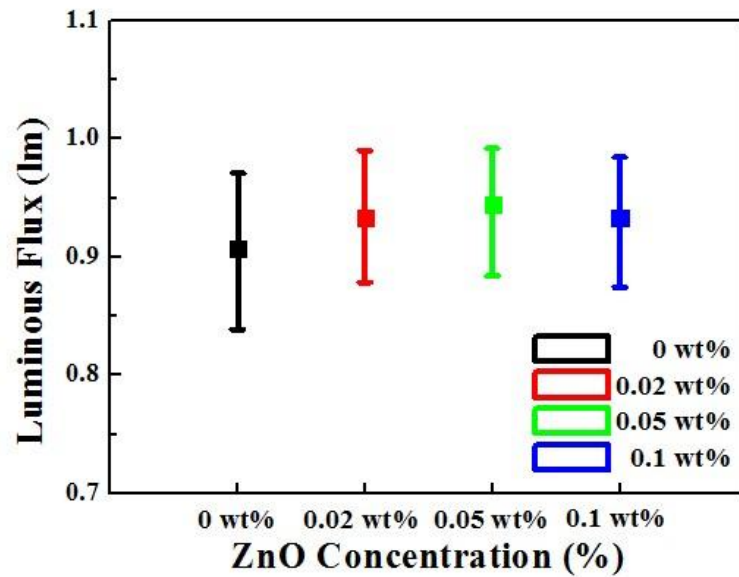


圖30 SMD 3020-ZnO摻雜於封裝膠不同摻雜濃度之光通量關係圖

(Concentration (%) : Weight Percentage, Operating Current @ 20 mA, Room Temp.)

表5 為SMD 3020-SiO₂摻雜於封裝膠不同摻雜濃度之光通量

(Sample : 每一組16 ea)

SiO ₂ Concentration	Initial (mW)	ΔmW (%)	Flux (lm)	Δlm (%)	Total Flux (lm)	ΔTotal (%)
0 wt%	21.98	0.00	0.9115	0.00	0.9115	0.00
0.02 wt%	21.91	-0.32	0.9189	0.81	0.9218	1.13
0.05 wt%	22.07	0.41	0.9553	4.81	0.9514	4.40
0.1 wt%	21.92	-0.27	0.9237	1.34	0.9262	1.61

表6 為SMD 3020-ZnO摻雜於封裝膠不同摻雜濃度之光通量

(Sample : 每一組16 ea)

ZnO Concentration	Initial (mW)	ΔmW (%)	Flux (lm)	Δlm (%)	Total Flux (lm)	$\Delta Total$ (%)
0 wt%	21.98	0.00	0.9115	0.00	0.9115	0.00
0.02 wt%	21.95	-0.14	0.9291	1.93	0.9304	2.07
0.05 wt%	22.04	0.27	0.9616	5.50	0.9590	5.22
0.1 wt%	22.06	0.36	0.9427	3.42	0.9393	3.06

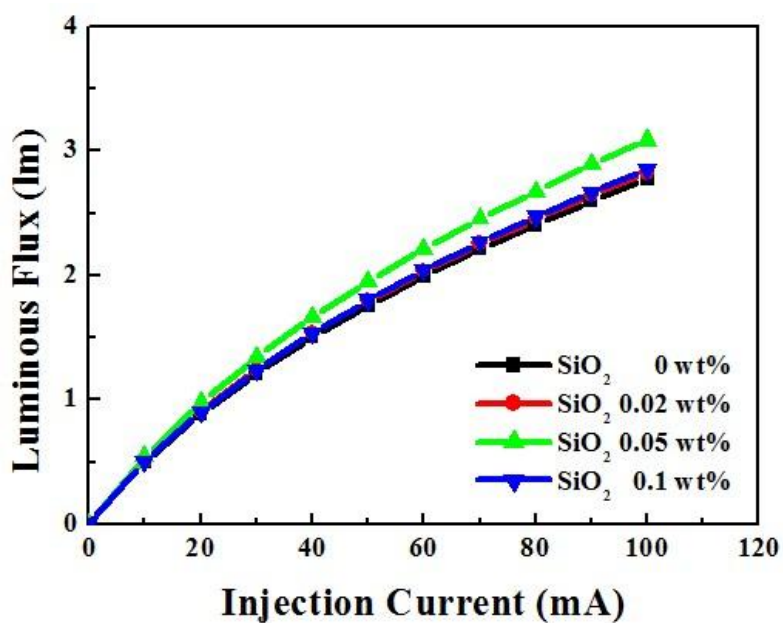


圖31 SMD 3020-SiO₂摻雜於封裝膠不同摻雜濃度之變電流關係圖

(Concentration (%) : Weight Percentage, Operating Current @ 20 mA, Room Temp.)

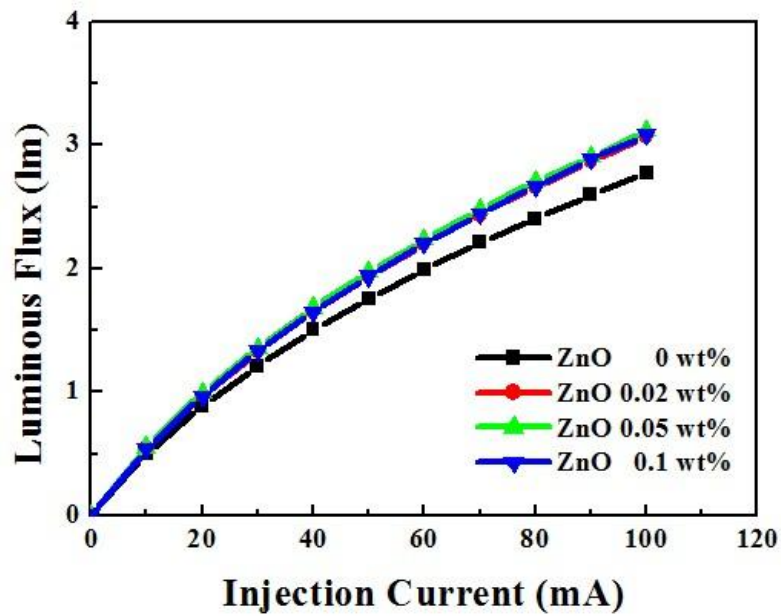


圖32 SMD 3020-ZnO摻雜於封裝膠不同摻雜濃度之變電流關係圖

(Concentration (%) : Weight Percentage, Operating Current @ 20 mA, Room Temp.)

表7 為SMD 3020-100 mA下SiO₂摻雜於封裝膠不同摻雜濃度之光通量

(Sample : 每一組8 ea)

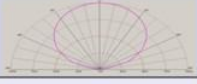
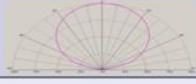
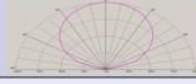
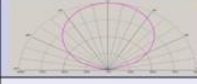
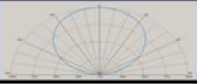
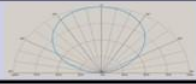
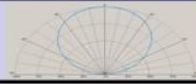
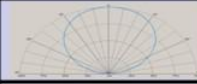
SiO ₂ Concentration	Flux (lm)	Δlm (%)
0 wt%	2.78	0.00
0.02 wt%	2.82	1.65
0.05 wt%	3.09	11.15
0.1 wt%	2.85	2.60

表8 為SMD 3020-100 mA下ZnO摻雜於封裝膠不同摻雜濃度之光通量

(Sample : 每一組8 ea)

ZnO Concentration	Flux (lm)	Δlm (%)
0 wt%	2.78	0.00
0.02 wt%	3.07	10.45
0.05 wt%	3.11	12.06
0.1 wt%	3.09	11.01

在元件角度分析部分，如圖 33 所示，透過視角測試機所量測的結果，SiO₂、ZnO 摻雜於 Silicone 膠體中，當摻雜的濃度增加時，發光角度無論在 0° 線或 90° 線發光的角度都有變窄的趨勢，但由於摻雜的重量百分比濃度差異小，所以對發光角度所造成的影響並不大。

Step	SiO ₂ Concentration			
	0 wt%	0.02 wt%	0.05 wt%	0.1 wt%
Angle	121.91	121.94	121.91	121.19
0°				
Angle	121.19	121.49	121.42	120.62
90°				

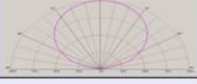
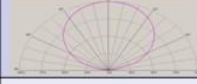
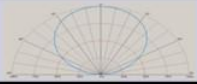
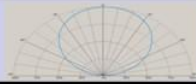
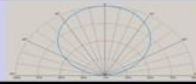
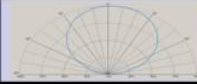
Step	ZnO Concentration			
	0 wt%	0.02 wt%	0.05 wt%	0.1 wt%
Angle	121.91	121.68	121.24	120.06
0°				
Angle	121.19	121.23	120.62	118.86
90°				

圖33 SMD 3020-封裝膠摻雜奈米粉體角度分析

(Concentration (%) : Weight Percentage, Sample:每一組2 ea,

Operating Current @ 20 mA, Room Temp.)

在元件的可靠度分析部分，可靠度測試的架設條件為高溫高濕 60°C 與 90 RH (%) 以及架設電流為 20 mA，量測電流為 20 mA，量測時是在室溫下。Silicone、Silicone+SiO₂、Silicone+ZnO 之三種藍光元件，在不同時間，可靠度測試所量測的光通量與時間之特性曲線圖，如圖 34 所示，橫軸為時間，時間由 0 到 3700 小時，縱軸為光強度，由這張圖我們可以看到在封裝膠中，摻雜氧化鋅奈米粉體的元件比未摻雜的元件，在可靠度上，有越趨近於平穩的狀態，而摻雜二氧化矽奈米粉體的元件並沒有改善可靠度的效果。實驗中我們取 1000 小時後的量測點，計算出各個元件之半衰期公式並計算平均失效時間(我的計算方式是亮度衰減至 50%)。

低功率發光二極體使用單純 Silicone 封裝之 LED 元件，以 1000 小時後的量測點 Fitting(如圖 35 所示)出其半衰期公式為：

$$y = 184.59e^{-2.28E-05x} \quad (1)$$

低功率發光二極體使用 Silicone+SiO₂ 封裝之 LED 元件，以 1000 小時後的量測點 Fitting(如圖 36 所示)其半衰期公式為：

$$y = 191.85e^{-2.58E-05x} \quad (2)$$

低功率發光二極體使用 Silicone+ZnO 封裝之 LED 元件，以 1000 小時後的量測點 Fitting(如圖 37 所示)其半衰期公式為：

$$y = 192.22e^{-1.05E-05x} \quad (3)$$

公式算出後，我們可以算出元件之半衰期，以 Silicone 封裝之元件的原始亮度 223mcd 的一半代入式 1，得 $x=22,141$ ，所以半衰期為 22,141 小時；以 Silicone+SiO₂ 封裝之元件的原始亮度 231 mcd 的一半代入式 2，得 $x=19,723$ ，所以半衰期為 19,723 小時；以 Silicone+ZnO 封裝之元件的原始亮度 241 mcd 的一半代入式 3，得 $x=44,443$ ，所以半衰期為 44,443 小時。由可靠度分析結果顯示，將 ZnO 摻雜於 Silicone 可大幅改善元件的可靠度，但為什麼會改善可靠度，這是由於 LED 點亮時有百分之二十是以光的形式釋放出來，而有百分之八十會產生熱，熱將會造成 LED 燈亮度的衰減，但透過氧化鋅奈米粉體的特性，使得光取出率提升，而光取出率的提升固然能夠使熱減少，使得在長久架設下來，摻雜氧化鋅奈米粉體的元件可以減緩 LED 的衰減速度，增加 LED 元件的可靠度。

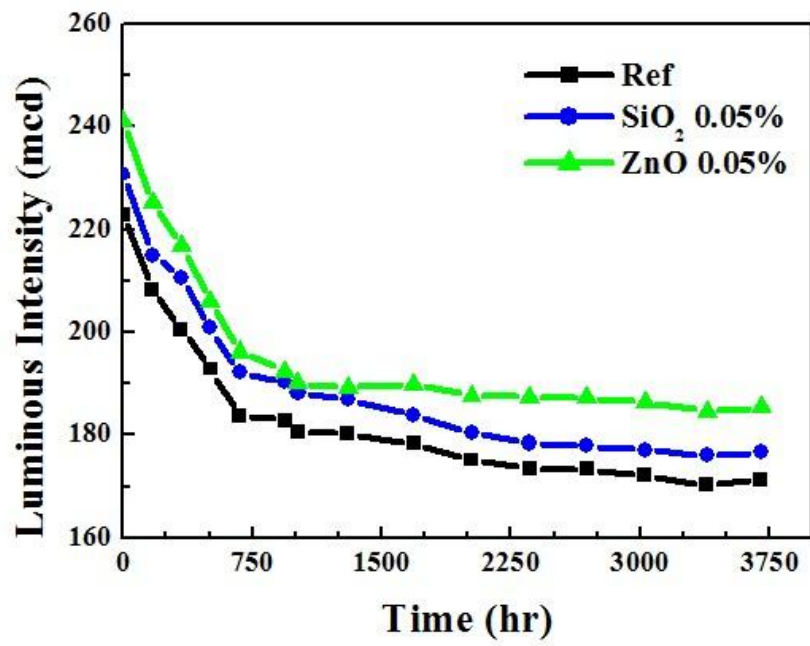


圖34 SMD 3020-封裝膠摻雜奈米粉體之壽命分析 (Operating Current @ 20 mA)

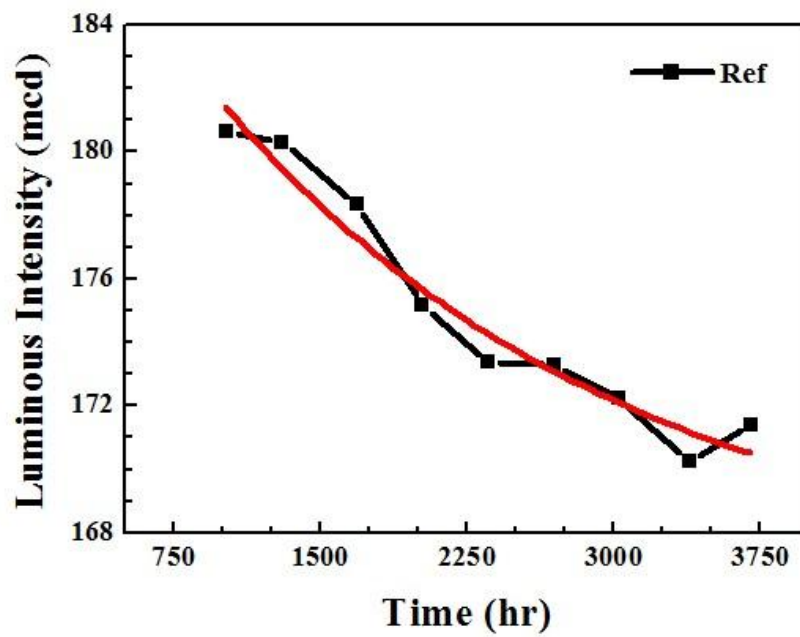


圖35 單純Silicone封裝之LED元件Fitting圖

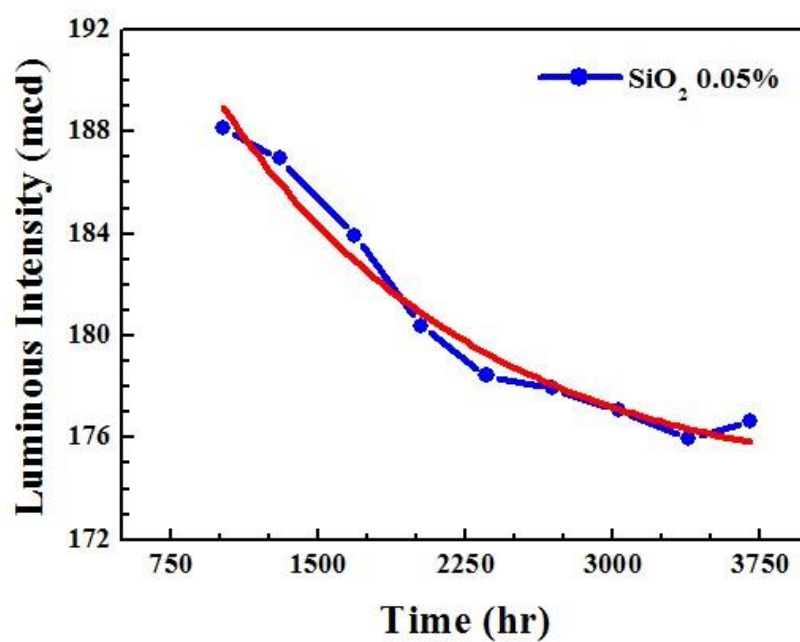


圖36 Silicone+SiO₂封裝之LED元件Fitting圖

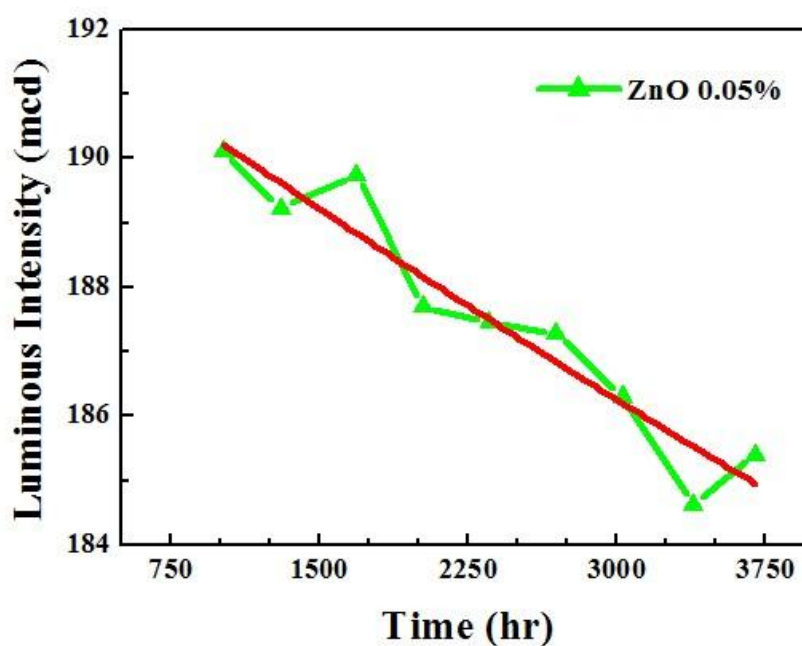


圖37 Silicone+ZnO封裝之LED元件Fitting圖

從低功率發光二極體封裝膠摻雜奈米粉體的探討中，當中的許多機制從本研究得知，封裝膠摻雜奈米粉體摻雜的濃度不可太濃，否則將會影響發光的角度，至於光取出為什麼會提升，這是由於 Silicone 膠體中含有適量的散射粒子，當光入射到奈米粉體表面時將會形成散射，使得光被均勻得混合在一起發射出來，以及封膠材料層的折射率增加，使光通量增加，因而增加元件的光取出率。

在理論的推算部分，將針對光取出提升的緣故作探討，Nanoparticle 摻雜於 Silicone 對折射率的影響，可根據理論公式來推算，Nanoparticle 摻雜於 Silicone 的體積比與質量有關，記為如下[6-7]：

$$L = \frac{V_{\text{nanoparticle}}}{V_{\text{nanoparticle}} + V_{\text{silicone}}} = \frac{\frac{M}{\rho_{\text{nanoparticle}}}}{\frac{M}{\rho_{\text{nanoparticle}}} + \frac{1-M}{\rho_{\text{silicone}}}} \quad (4)$$

M 是 Nanoparticle 的質量， $\rho_{\text{nanoparticle}}$ 、 ρ_{silicone} 分別是 Nanoparticle 和 silicone 的密度，L 為體積比，我的實驗參數：SiO₂ 的密度為 2.2 g/cm³、ZnO 的密度為 5.606 g/cm³、Silicone 的密度為 1.175 g/cm³，從這個式子推算出，Nanoparticle 的體積比與質量為非線性關係，如圖 38、39 所示，分別為 SiO₂、ZnO 體積比與質量之間的關係圖。

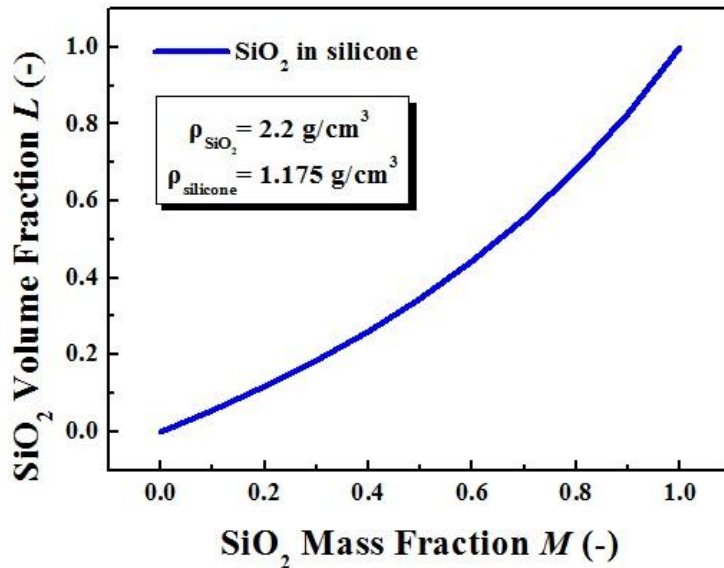


圖38 SiO₂質量與體積比之關係圖

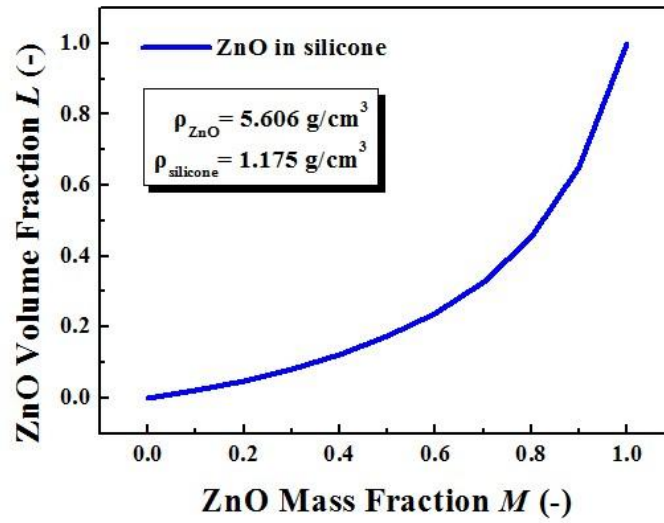


圖39 ZnO質量與體積比之關係圖

計算出體積比後，即可算出 Nanoparticle 摻雜於矽膠的等效折射率，公式記為如下：

$$n_{\text{eff}} = \frac{V_{\text{nanoparticle}} n_{\text{nanoparticle}} + V_{\text{silicone}} n_{\text{silicone}}}{V_{\text{tot}}} \quad (5)$$

$V_{\text{nanoparticle}}$ 與 V_{silicone} 分別是 Nanoparticle 和 Silicone 的體積， $n_{\text{nanoparticle}}$ 與 n_{silicone} 分別是 Nanoparticle 和 Silicone 的折射率， V_{tot} 為總體積，我的實驗參數：SiO₂ 粉體的折射率為 1.47、ZnO 粉體的折射率為 1.9、Silicone 膠體的折射率為 1.53，從這個式子可計算出，Nanoparticle 摻雜於 Silicone 可改變等效折射率，如圖 40、41 所示，分別為 SiO₂、ZnO 體積比與折射率之間的關係圖。

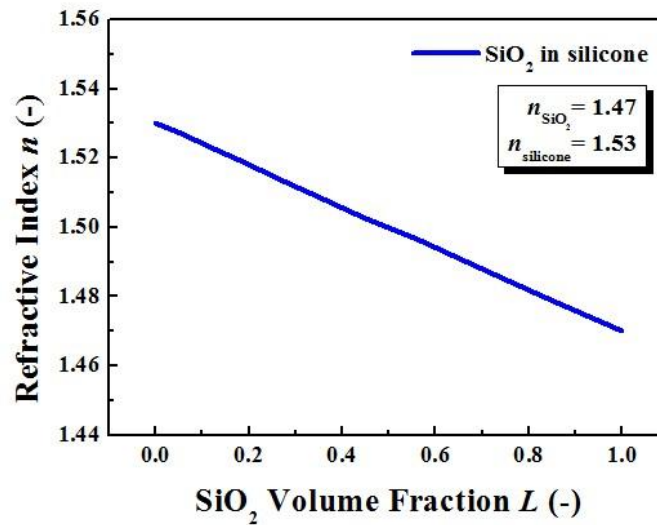


圖40 SiO₂體積比與折射率之關係圖

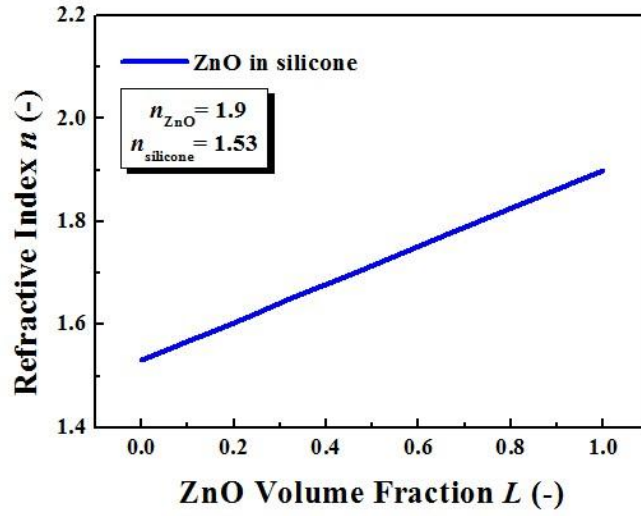


圖41 ZnO體積比與折射率之關係圖

Nanoparticle 摻雜於 Silicone 對瑞利散射的影響，可根據理論公式來推算，記為如下[6-7]：

$$k_s = \frac{2\pi^5}{3} \frac{n_{\text{nano}}^2 - n_{\text{host}}^2}{(n_{\text{nano}}^2 + 2n_{\text{host}}^2)^2} \frac{(2r_{\text{nano}})^6}{(\lambda_0 / n_{\text{host}})^4} \frac{L}{(4/3)\pi r_{\text{nano}}^3} \quad (6)$$

n_{nano} 與 n_{host} 分別是 Nanoparticle 和 Silicone 膠體的折射率， r_{nano} 為 Nanoparticle 的半徑， L 為體積比， λ_0 為波長，從這個式子可以推算出瑞利散射係數 k_s ，而 $1/k_s$ 是散射之間的平均距離，由此公式推算結果顯示，如圖 42、43 所示，在 SMD 3020 中，當 SiO_2 、 ZnO 的重量百分比為 0.05% 時，散射平均距離分別為 300.14 mm、10.29 mm，由此推算過程得知，膠體的厚度必須控制在範圍內，以得到具有散射粒子的透明介質。

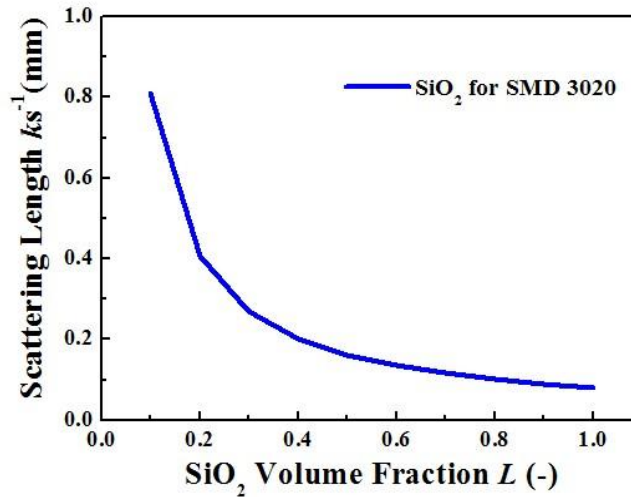


圖42 SMD 3020- SiO_2 體積比與瑞利散射之關係圖

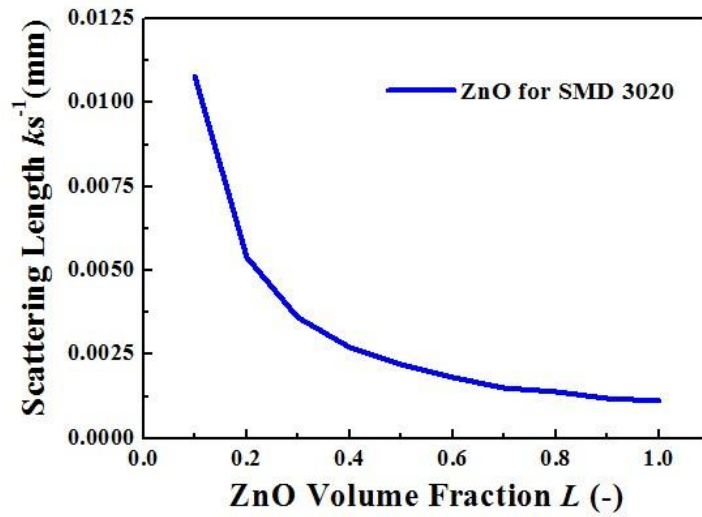


圖43 SMD 3020-ZnO體積比與瑞利散射之關係圖

Nanoparticle 混入 Silicone 對光損失的影響，可根據理論公式來推算，記為如下[8-11]：

$$\frac{I}{I_0} = \exp \left[\frac{-3V_p x r^3}{4\lambda^4} \left(\frac{n_p}{n_m} - 1 \right) \right] \quad (4.11)$$

I 為實際的光強度、 I_0 為理想的光強度， V_p 為體積比， x 為光長度， r 為 Nanoparticle 的半徑， λ 為波長， n_p 、 n_m 分別為 Nanoparticle 與 Silicone 膠體的折射率，經由此公式推算結果，可得知有多少的光損失掉，如圖 44、45 所示，在低功率發光二極體中，計算出來的光散射損失是遠小於 0.01%，所以有非常小的光損失。

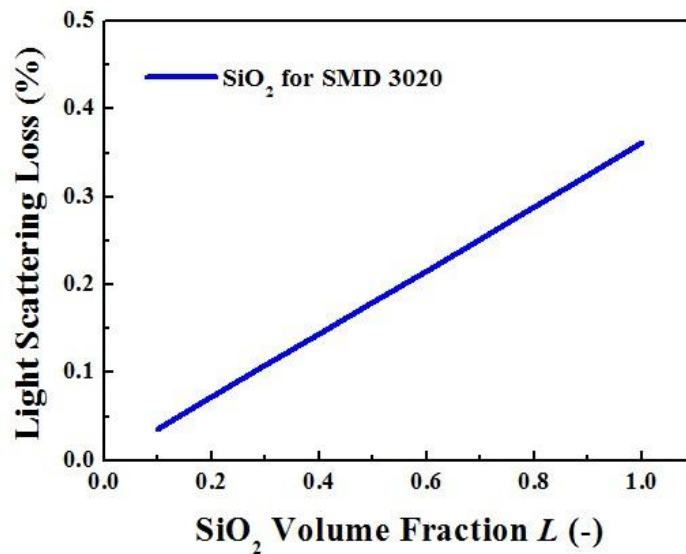


圖44 SMD 3020-SiO₂體積比與光散射損失之關係圖

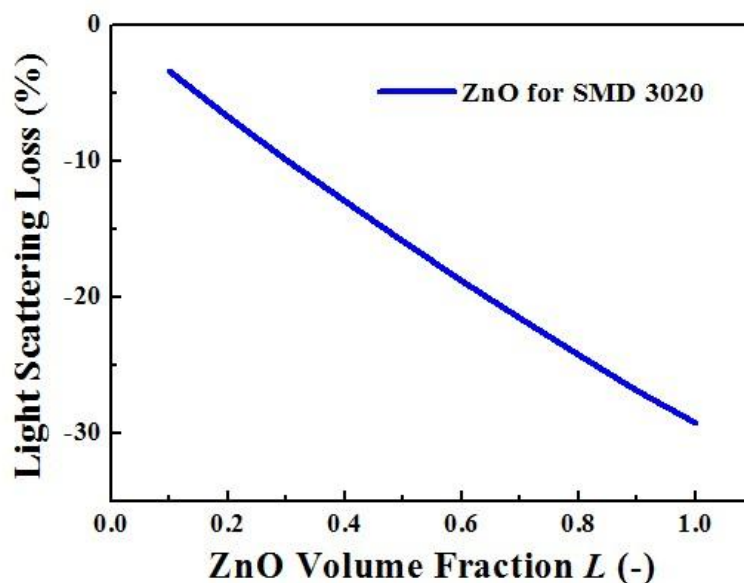


圖45 SMD 3020-ZnO體積比與光散射損失之關係圖

肆、結論

本研究中我們成功將奈米粉體 SiO_2 與 ZnO 充分分散於Epoxy與Silicone膠體中，並做成元件。在光電特性量測方面，從積分球量測系統的分析結果來看，當 SiO_2 摻雜於固晶膠，在摻雜量為30 wt%時，應用於低功率發光二極體（LED）它的光通量是最高的。而 ZnO 摻雜的量相同在30 wt%時，應用於低功率發光二極體的光通量也是最高的。而 SiO_2 、 ZnO 的重量百分比相同在0.05%時，應用在低功率發光二極體的光通量也是最高的。

固晶膠方面，摻雜 SiO_2 的低功率LED比未摻雜的光通量提升了2.97%，飽和電流的光通量則提升了7.33%。摻雜 ZnO 的低功率LED比未摻雜的光通量提升了3.31%，飽和電流的光通量則提升了9.75%。

封裝膠方面，摻雜 SiO_2 的低功率LED比未摻雜的光通量提升了4.40%，飽和電流的光通量則提升了11.15%。摻雜 ZnO 的低功率LED比未摻雜的光通量提升了5.22%，飽和電流的光通量則提升了12.06%。

在可靠度分析方面，低功率LED在封裝膠中摻雜 ZnO 粉體可改善可靠度，但為什麼會改善可靠度，這是由於LED點亮時有百分之二十是以光的形式釋放出來，而有百分之八十會產生熱，熱將會造成LED燈亮度的衰減，但透過氧化鋅奈米粉體的特性，使得光取出率提升，而光取出率的提升固然能夠使熱減少，使得在長久架設下來，摻雜氧化鋅奈米粉體的元件可以減緩LED的衰減速度，增加LED元件的可靠度。

在發光二極體封裝應用上，摻雜奈米粉體的LED元件，在光通量均有明顯的改善。尤其以摻雜ZnO粉體之LED元件，光輸出通量提升幅度最大。

參考文獻

- [1] 羅俊仁，“固態照明與白光二極體”，行政院國科會光電小組編，2004年。
- [2] 蔡國猷，“發光二極體基礎技術”，建興出版社，1995年。
- [3] 史光國，“現代半導體發光及雷射二極體材料技術”，全華科技圖書股份有限公司，2000年，第4-10頁。
- [4] 林宸生，陳德請，“近代光電工程導論”，全華科技圖書股份有限公司，2000年，第5-8頁。
- [5] 黃柏誠，“大面積高功率發光二極體導光元件之設計”，碩士論文，國立中央大學，2004。
- [6] F. W. Mont, J. K. Kim, M. F. Schubert, E. F. Schubert, and R. W. Siegel, “High-refractive-index TiO₂-nanoparticle-loaded encapsulants for light-emitting diodes,” *J. of Appl. Phys.*, vol. 103, p. 083120, 2008.
- [7] F. W. Mont, J. K. Kim, M. F. Schubert, H. Luo, E. F. Schubert, and R. W. Siegel, “High Refractive Index Nanoparticle-Loaded Encapsulants for Light-Emitting Diodes,” in *Proc. SPIE.*, vol. 6486, p. 64861C, 2007.
- [8] B. M. Novak, “Hybrid Nanocomposite Materials Between Inorganic Glasses and Organic Polymers,” *Adv. Mater.*, vol. 5, no. 6, pp. 422-433, 1993.
- [9] Y. Yang, Y. Q. Li, S. Y. Fu, and H. M. Xiao, “Transparent and Light-Emitting Epoxy Nanocomposites Containing ZnO Quantum Dots as Encapsulating Materials for Solid State Lighting,” *J. Phys. Chem.*, vol. 112, no. 28, pp. 10553-10558, 2008.
- [10] Y. Q. Li, S. Y. Fu, Y. Yang, and Y. W. Mai, “Facile Synthesis of Highly Transparent Polymer Nanocomposites by Introduction of Core-Shell Structured Nanoparticles,” *Chem. Mater.*, vol. 20, pp. 2637-2643, 2008.
- [11] T. K. Leodidou, P. Margraf, W. Caseri, U. W. Suter, and P. Walther “Polymer Sheets with a Thin Nanocomposite Layer Acting as a UV Filter,” *Polym. Adv. Technol.*, vol. 8, pp. 505-512, 1997.