



國立中山大學機械與機電工程研究所

碩士論文

Department of Mechanical and Electro-mechanical Engineering

National Sun Yat-sen University

Master Thesis

高消光係數低導電度之薄型化高遮光材料開發

Development of High-performance Light Shielding Materials  
with High Extinction Coefficient and Low Conductivity



研究生：許秩華

Chih-Hua Hsu

指導教授：林哲信 教授

Dr. Che-Hsin Lin

中華民國 109 年 3 月

March 2020

# 論文審定書

國立中山大學研究生學位論文審定書

本校機械與機電工程學系碩士班

研究生許秩華（學號：M063020031）所提論文

高消光係數低導電度之薄型化高遮光材料開發  
Development of High-performance Light Shielding Materials with High  
Extinction Coefficient and Low Conductivity

於中華民國 109 年 2 月 16 日經本委員會審查並舉行口試，符合  
碩士學位論文標準。

學位考試委員簽章：

召集人 李佳言 李佳言 委員 林哲信 林哲信

委員 郭文正 郭文正 委員 傅龍明 傅龍明

委員 朱訓鵬 朱訓鵬 委員 \_\_\_\_\_

指導教授(林哲信) 林哲信 (簽名)

# 論文授權書

2020/2/27

國立中山大學博碩士論文公開授權書

國立中山大學博碩士論文公開授權書



etd-0116120-223227

2020-02-27 15:00:18

本授權書所授權之論文為授權人許秩華在國立中山大學機械與機電工程學系研究所108學年度第2學期取得碩士學位之論文。

論文題目：高消光係數低導電度之薄型化高遮光材料開發

指導教授：林哲信

### 注意事項：

1. 依本校102年1月9日101學年度第1學期第10次行政會議通過，研究所畢業生可於上傳電子論文時自行選擇紙本及電子檔開放年限。
2. 因專利申請涉及論文公開時間，為避免因喪失新穎性而無法申請專利，請各位老師及同學上網參考「專利各項申請案件處理時限表」（網址路徑：經濟部智慧財產局→專利→專利情報通→專利處理時限）後再選定論文公開時間。  
另有關著作權相關資訊，請參考「經濟部著作權專區」（網址路徑：經濟部智慧財產局→著作權）。  
若尚有任何專利申請與著作權等相關問題，歡迎洽詢本校產學營運中心智財技轉組，分機2626。
3. 授權書一式兩份，經本人及指導教授共同簽名後，將論文公開授權書裝訂於審定書之後，辦理畢業離校時，除繳交一本論文至圖書館外，另一本繳交至教務處註冊組。

• 電子檔：此項授權同意以非專屬、無償方式授權予本校圖書館，不限地域、時間與次數，以微縮、光碟或數位化方式將論文全文(含摘要)進行重製，及公開傳輸。亦提供讀者非營利使用線上檢索、閱覽、下載或列印。

立即公開傳輸數位檔案。

因特殊原因，校內讀於5年後公開、校外(含國家圖書館)讀於5年後將論文公開或上網公開閱覽。

※ 論文電子檔公開日期：校內民國114年02月16日，校外(含國家圖書館)民國114年02月16日。

• 紙本論文：此項授權同意以非專屬、無償方式授權予本校圖書館，不限地域、時間與次數，以紙本方式將論文全文(含摘要)進行收錄、重製與利用；於著作權法合理使用範圍內，讀者得進行閱覽或列印。

同意立即公開。

因特殊原因，欲延後公開，讀於5年後公開閱覽

※ 紙本論文公開日期：民國114年02月16日。

授權人：許秩華

學號：M063020031

授權人： 許秩華 (簽章)

許秩華

指導教授： 林哲信 (簽章)

林哲信

中華民國 109 年 2 月 27 日

※ 此授權書嚴禁塗改

- 若欲修改權限，請登入系統修改後重新列印此授權書。
- 若論文已審核通過，請聯繫 [etd@mail.nsysu.edu.tw](mailto:etd@mail.nsysu.edu.tw) 或校內分機2452，修改後重新列印並簽章。
- 授權書將自動列印兩份。請於圖書館和教務處辦理離校手續時，裝訂於繳交的紙本論文內。

## 致謝

研究所生涯瞬眼即過，在生活、研究的過程中皆有許多人的陪伴與幫助。首先，我想要感謝的人是給予我指導的林哲信老師。從專題生開始到研究生，總是能在我的研究生涯裡提供指導與協助，不管在研究的過程中遇到任何困難，老師總是能給於我幫助，也總是不厭其煩地給予我們建議及鼓勵，並培養我們獨立思考、研究的能力，最終能夠完成論文。此外，老師也非常支持我們參加研討會，讓我們拓展自己的視野。同時也感謝口試委員郭文正老師、傅龍明老師、李佳言老師、朱訓鵬老師，願意於百忙之中參加學生的口試並給予指導，給予學生研究論文許多珍貴指正與建議，使本研究得以更加完善。

感謝日月光集團的林岳儒副理與費筠芷工程師，在專案期間，提供所需的材料與幫助，並在每次的會議中提供的意見與看法，讓執行的專案可以順利進行。感謝實驗室的助理黃鈺珊總是協助處理實驗室相關事務，感謝學姊高尉馨以及學長白祥廷、李岱恩、鄭名栩、嚴瑋星、呂維銘、陳子捷、李政樺，在我剛進入實驗室時，教導我實驗室儀器的操作，以及提供協助，同時也分享了許多關於研究的想法以及經驗，讓我的研究可以進行的更加順利。感謝同屆的戰友劉柏輝、賴映榮、劉鎧豪、高嘉駿，一起為了目標奮鬥，一起在研究上互相扶持與鼓勵，對於我的研究生生活更增添了許多回憶。感謝學弟李奕頡、溫竣賢、高群智、林永鈞、邱宗徽、陳奕勝、羅嗣政與學妹洪榆雯，在日常與口試當天，都能給予我適時的幫助。感謝家人的支持與鼓勵，讓我可以無後顧之憂的完成研究所學業。感謝一路上幫助過我的人，也祝福大家平安順利。

## 中文摘要

近年來對於影像和光學零組件的微型化發展中，為了得到更高的解析度，需要能夠建置極黑暗的環境，以避免環境干擾達到更好的性能，但是常見的遮光材料，摻雜染料的環氧樹脂，在較小的尺度、厚度下並不能滿足遮光性能要求。因此本研究中開發了一種遮光材料，滿足現代光學零組件封裝中薄型化且不導電的遮光需求。本研究提出的遮光材料利用商用遮光環氧樹脂，摻雜奈米碳黑(Carbon Black) 粉末，大大提高遮光材料的性能，透過在環氧樹脂中的碳黑粉末吸收以及反射入射光，從而使行走在材料中的光之光強度不斷衰減，以達到相同或是更薄的厚度下，具有更長的等效光路徑長度，擁有更好的遮光效能。製程中首先將碳黑分散於溶劑中，分散完畢後加入至環氧樹脂並透過攪拌來混合，因為碳黑本身所具有的高吸光度，使得經過碳黑混合物的透射光降低，最後透過旋轉塗佈機，旋塗不同厚度的樣本進行測試。本研究初期用了紫外-可見光分光光度法(Ultraviolet-Visible Spectroscopy, UV-Vis) 測量遮光材料的遮光性能，但是紫外-可見光分光光度法的測量面積太小而且光源不夠強，無法有效量測材料的光吸收特性，所以後來利用一個高瓦數的鹵素燈和光功率計，建立了一個強光量測系統，用來測試混有碳黑的環氧樹脂的遮光性能。由比爾-朗伯定律(Beer – Lambert Law) 中了解到，吸光物質中吸光度與吸光材料的濃度以及吸光材料的厚度間關係。結果表示，在環氧樹脂中摻雜僅大約 2% 的碳黑粉末的遮光材料，在厚度為 30  $\mu\text{m}$  之下即具有遮光率高達 99% 的優異遮光性能。此外，摻雜了 2% 碳黑粉末的環氧樹脂，其片電阻高達  $10^{37} \Omega/\text{sq}$ ，能夠有效的絕緣。碳黑混合的環氧樹脂具有優異的遮光性能，經過碳黑與環氧樹脂的混合顯示出其作為高遮光性能的薄型材料於高精度光學元件材料的應用潛力。

關鍵字：光衰減、遮光材料、奈米碳黑、光學檢測、高消光係數材料

# Abstract

New image and optical components need an extremely dark environment to achieve a high definition performance. Conventional dye-doped epoxy can't meet the light blocking performance. This study developed a thin and non-conductive materials for high-performance light shielding applications in modern optical component packaging. Commercial light blocking epoxy is doped with nano-sphered carbon black (CB) powders to drastically improve the light blocking performance. The CB powders in the epoxy absorbs and reflects lights and results in a much longer equivalent light path such that the light is attenuated in the materials. The material is made by dispersing the carbon black in a solvent and thoroughly mixing it with the epoxy resin. The high absorbance of carbon black will result in a decrease in the transmission of the carbon black mixture. The light shielding performance of epoxy mixed with carbon black is measured by the Ultraviolet–visible spectroscopy (UV-Vis) method. However, the area measured by UV-Vis is too small and the light source is not strong enough to present the light absorption. A measurement setup built by a relatively high wattage halogen lamp and an optical power meter as a receiver is used. Results show that the CB-doped epoxy exhibits high light shielding performance of up to 99% with only about 2% of doping in the epoxy. Moreover, the measured resistance is as high as  $10^{37} \Omega/\text{sq}$  for the 2% CB-doped epoxy. The epoxy resin mixed with carbon black has light-shielding properties, and the mixture of carbon black and epoxy resin shows its potential as a thin material with high light-shielding properties.

**Keywords:** Light attenuation, Light shielding material, Nano carbon black, Optical properties measurement, High extinction coefficient material

# 目錄

論文審定書 .....	i
論文授權書 .....	ii
致謝 .....	iii
中文摘要 .....	iv
Abstract.....	v
目錄 .....	vi
圖目錄 .....	viii
表目錄 .....	xii
符號表 .....	ii
簡寫表 .....	iii
第一章 緒論 .....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 遮光材料的性質.....	2
1.2.1 遮光材料於液晶顯示器之應用.....	6
1.2.2 遮光材料於影像感測器之應用.....	7
1.2.3 遮光材料於光譜儀之應用.....	10
1.3 介電性質介紹.....	11
1.4 研究動機與目的.....	14
1.5 論文架構.....	15
第二章 實驗原理與材料特性 .....	16
2.1 光與材料的交互作用.....	16
2.2 碳黑概述.....	19
2.2.1 碳黑的結構與特性.....	19
2.2.2 碳黑的應用.....	21
2.3 膠材介紹.....	22
2.3.1 環氧樹脂的種類與應用.....	23
2.4 光吸收模組.....	25
第三章 實驗材料與方法 .....	28
3.1 製程設計與原理.....	28

3.2	遮光材料之製作.....	28
3.2.1	分散碳黑.....	28
3.2.2	環氧樹脂與碳黑混合.....	29
3.2.3	遮光材料製作.....	29
3.2.4	材料之電性晶片製作.....	31
3.3	遮光材料之光學測量系統.....	31
3.3.1	UV-Vis 光學量測架構.....	31
3.3.2	自行架設之光學量測架構.....	33
3.4	遮光材料之電性測量系統.....	34
3.4.1	指叉電極量測架構.....	34
3.4.2	四點探針量測架構.....	34
3.4.3	介電常數量測架構.....	36
3.5	實驗材料.....	36
第四章 實驗結果與討論.....		38
4.1	材料特性分析.....	38
4.1.1	碳黑的分散結果.....	38
4.1.2	碳黑與環氧樹脂的 FTIR 圖.....	41
4.1.3	碳黑與環氧樹脂之吸收係數.....	43
4.1.4	等效光路徑長度.....	45
4.1.5	光吸收模組.....	47
4.2	材料的遮光性能分析.....	48
4.2.1	遮光材料的 UV-Vis 光學量測.....	48
4.2.2	遮光材料的雷射光光學量測.....	49
4.2.3	遮光材料的強光光學量測.....	51
4.3	遮光材料之電性分析.....	55
4.3.1	遮光材料的指叉狀電極量測.....	55
4.3.2	遮光材料的片電阻量測.....	57
4.3.3	遮光材料的介電係數量測.....	58
第五章 結論與未來展望.....		60
5.1	結論.....	60
5.2	未來展望.....	61
參考文獻.....		62
論文原創性報告.....		67
自述.....		68



## 圖目錄

圖 1-1 三聚氰氯(Cyanuric Chloride, $C_3Cl_3N_3$ )和含有-NH <sub>2</sub> 的高分子反應圖。 ....3	3
圖 1-2 (A)純 PMMA 與(B)在 PMMA 中添加奈米顆粒顏料的影像圖。 .....4	4
圖 1-3 (a)為垂直排列的奈米碳管樣品的 SEM 影像圖。(b)為相同樣品在放大倍數下的 SEM 影像圖。(c)為樣品的 SEM 上視圖。(d)樣品的 TEM 影像圖。 .....4	4
圖 1-4 兩個相同的青銅頭像，一個未做任何處理，另一個塗上 Vantablack 材料(Surrey NanoSystems <sup>®</sup> )。 .....5	5
圖 1-5 液晶顯示器之(A)透視圖和(B)濾光片的截面圖。 .....7	7
圖 1-6 影像感測器之結構示意圖。分為(A)彩色濾光片陣列、(B)低通濾波器、(C)紅外光濾光片、(D)電路、(E)像素、(F)微透鏡、(G)黑色遮光材料七個部分。 ..9	9
圖 1-7(A)商用的影像感測器的照片(Curtesy of Lahat <sup>®</sup> )以及(B)光在有遮光層和沒有遮光層的影響下之示意圖。 .....9	9
圖 1-8 以(a)紅色、(b)綠色和(c)藍色的發光二極體作為光源的初始的光譜訊號圖以及抑制雜散光後的光譜訊號圖。 ..... 11	11
圖 1-9 論文架構圖。 ..... 15	15
圖 2-1 碳黑與石墨晶體結構示意圖。圖(A)為碳黑之微結構，其平面間的排列為無序排列。圖(B)為石墨之微結構，其平面間的排列為有序排列。 .....20	20
圖 2-2 碳黑之結構示意圖。 .....20	20
圖 2-3 透過染料摻雜的遮光環氧樹脂(A)和摻雜碳黑的遮光環氧樹脂(B)中光傳播路徑的示意圖。 .....26	26
圖 3-1 遮光材料製程方法示意圖。 .....30	30

圖 3-2 (A) 旋塗之前的商用遮光環氧樹脂的照片。(B) 在玻璃基板上旋塗後的商用環氧樹脂(上)和摻雜碳黑的環氧樹脂(下)的照片。.....30

圖 3-3 具有指叉狀電極之電路板示意圖。圖(A)為電路板之示意圖，依電極區域分為指叉狀電極區以及輸出訊號區。圖(B)為透過光學顯微鏡放大指叉狀電極區，並量測指叉狀電極的間距以及線寬的結果圖。.....31

圖 3-4 UV-Vis 分光光度法量測架構圖。利用濾光鏡調整色調後，再透過狹縫變成單一特定波長，之後入射樣本後透過偵測器轉換為訊號，比較特定波長入射光的強度以及透射光的強度，即可繪製成吸收光譜。.....32

圖 3-5 本研究所採用的 UV-Vis 光學量測架構。其中包含儀器的連接方式以及樣本的固定方式。.....32

圖 3-6 本研究所採用的強光光學量測架構。其中利用了(A)高亮度的雷射光源與(B)大功率之鹵素燈以及可量測特定波長之光功率計。.....33

圖 3-7 本研究所採用的量測遮光材料電阻值之示意圖。.....34

圖 3-8 本研究所採用的量測遮光材料片電阻值之示意圖。.....35

圖 3-10 碳顆粒之 SEM 影像圖。(A)粒徑大小約為 26 nm 的碳黑顆粒、(B)粒徑大小約為 40 nm 的碳黑顆粒、(C)粒徑大小約為 10 $\mu$ m 之碳球、(D)粒徑大小約為 3  $\mu$ m 之碳球。.....37

圖 4-1 添加 0.05 g 碳黑在 10 種不同溶液中，分別為 1. 16 ml 水、2. 16 ml 甲苯、3. 1 ml 甲醇加 15 ml 水、4. 16 ml 甲醇、5. 16 ml 乙醇、6. 16 ml 異丙醇、7. 16 ml 丙酮、8. 0.05 g 十二烷基硫酸鈉加入 16 ml 水中、9. 0.05 g 十二烷基硫酸鈉加入 16 ml 乙醇中以及 10. 山梨糖醇單油酸酯加入 16 ml 乙醇中的分散結果，以及經過時間為(A)碳黑剛分散完畢、(B) 1 分鐘、(C)10 分鐘、(D) 1 小時、(E) 24 小時、(F) 72 小時之後的結果。.....39

圖 4-2 將碳黑與環氧樹脂混合完畢後，透過旋塗在玻璃基板的影像圖。(A)為未

添加分散劑直接進行混合，(B)為添加異丙醇當作分散溶液。 .....	40
圖 4-3 碳黑跟環氧樹脂混合並固化後的 SEM 影像圖。(A)未添加溶劑。(B)添加異丙醇作為溶劑。 .....	41
圖 4-4 FTIR 光譜圖。圖(A)為 26 nm 與 40 nm 壓錠後之紅外線吸收光譜。圖(B)為單劑型、雙劑型環氧樹脂以及分別添加碳黑後之紅外線吸收光譜。 .....	42
圖 4-5 不同粒徑大小與濃度的碳黑之吸光度與波長的關係圖。 .....	43
圖 4-6 不同粒徑大小與濃度的碳黑之吸收係數與波長的關係圖。 .....	44
圖 4-7 單劑型與雙劑型兩種環氧樹脂之吸收係數與厚度關係圖。 .....	45
圖 4-8 在 30 $\mu\text{m}$ 的厚度下，分別添加體積百分比 1~7% 的 26 nm 的碳黑與 40 nm 的碳黑的等效光路徑長度。 .....	46
圖 4-9 在光吸收模組下，在單劑型與雙劑型環氧樹脂分別添加體積百分比 1~7% 的 26 nm 的碳黑與 40 nm 的碳黑的吸光度。 .....	47
圖 4-10 雙劑型的環氧樹脂，在不同厚度下的光穿透率。 .....	48
圖 4-11 在雙劑型環氧樹脂中添加 3% 的 40 nm 的碳黑後的複合材料，在不同厚度下的光穿透率。 .....	49
圖 4-12 在 30 $\mu\text{m}$ 厚度下，透過雷射光光學量測系統量測摻雜了不同體積比的 26 nm 和 40 nm 碳黑於單劑型和雙劑型的環氧樹脂之透光率。 .....	50
圖 4-13 強光光學量測系統量測不同厚度下單劑型環氧樹脂的光強度。 .....	51
圖 4-14 強光光學量測系統量測不同厚度下雙劑型環氧樹脂的光強度。 .....	52
圖 4-15 強光光學量測系統量測量測不同厚度下單劑型與雙劑型的環氧樹脂的光穿透率。 .....	53
圖 4-16 強光光學量測系統量測摻雜了不同體積比的 26 nm 和 40 nm 碳黑於單劑	

型和雙劑型的環氧樹脂之透光率。.....	54
圖 4-17 吸光度與添加碳黑的關係之實驗值與模組預測值。.....	54
圖 4-18 摻雜了不同體積比的 26 nm 和 40 nm 碳黑於單劑型和雙劑型的環氧樹脂之直流訊號下的電阻測量值。.....	56
圖 4-19 摻雜了不同體積比的 26 nm 和 40 nm 碳黑於單劑型和雙劑型的環氧樹脂之交流訊號(1 kHz)下的電阻值。.....	56
圖 4-20 四點探針量測摻雜了不同體積比的 26 nm 和 40 nm 碳黑於單劑型和雙劑型的環氧樹脂之片電阻值。.....	58
圖 4-21 四點探針量測摻雜了不同體積比的 26 nm 和 40 nm 碳黑於單劑型和雙劑型的環氧樹脂之電導度。.....	58
圖 4-22 介電係數量測系統量測摻雜了不同體積比的 26 nm 和 40 nm 碳黑於單劑型和雙劑型的環氧樹脂之介電係數。.....	59

# 表目錄

表 3-1 本研究所使用之膠材。 .....	37
表 3-2 本研究所使用之奈米碳黑。 .....	37

## 符號表

A：平行電極板面積

Abs：吸光度

$C_0$ ：兩電極板間儲存的電容量

c：入射光光速

$c_p$ ：粒子的濃度

$c_g$ ：膠材的濃度

d：兩電極板間的距離

h：普朗克常數，其值為  $6.626 \times 10^{-34}$  Js

$I_0$ ：入射到材料的光束強度

$I_A$ ：吸收光強度

$I_R$ ：反射光強度

$I_T$ ：透射光強度

K：材料的光吸收係數

$k_g$ ：膠材的光吸收係數

$k_p$ ：粒子的光吸收係數

L：吸光材料的厚度

$l$ ：加入粒子後所增加的等效路徑長

T：透光度

$\Delta E$ ：能量差

$\epsilon$ ：材料在兩電極板中的介電常數

$\epsilon_0$ ：真空的介電常數，其值為  $8.854 \times 10^{-12}$  F/m

$\epsilon_r$ ：相對介電常數

$\lambda$ ：入射光波長

$\nu$ ：入射光頻率

## 簡寫表

- ALD：原子層沉積(Atomic Layer Deposition)
- BET：比表面積檢測法(Brunauer, Emmett and Teller method)
- BM：遮光層(Black Matrix)
- BPA：雙酚 A(Bisphenol A)
- CCD：感光耦合元件(Charge-coupled Device)
- CMOS：互補性氧化金屬半導體(Complementary Metal-Oxide Semiconductor)
- CVD：化學氣相沉積(Chemical Vapor Deposition)
- FTIR：傅里葉轉換紅外光譜(Fourier-transform Infrared Spectroscopy)
- IC：積體電路(Integrated Circuit)
- ITO：氧化銦錫(Indium Tin Oxide)
- LED：發光二極體(Light-emitting Diode)
- MWCNT：多壁奈米碳管(Multi-wall Carbon Nanotube)
- PMMA：聚甲基丙烯酸甲酯(Polymethyl methacrylate)
- SDS：十二烷基硫酸鈉(Sodium Dodecyl Sulfate)
- SEM：掃描式電子顯微鏡(Scanning Electron Microscope)
- SNR：訊雜比(Signal to Noise Ratio)
- TFT-LCD：薄膜電晶體液晶顯示面板(Thin Film Transistor Liquid Crystal Display)
- UV-Vis：紫外光/可見光光譜偵測法(UV-Vis Absorption Detection)
- VANTA：垂直排列的奈米碳管陣列(Vertically Aligned Nanotube Array)

# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景

隨著現今影像感測模組的不斷地進步，許多種類的產品都搭載著影像感測模組，如手機、筆記型電腦、車用自動駕駛等產品。在這些產品中，為了市場需求，對於其體積有一定大小的限制，因此於產品中為了提高空間的使用率，市面上大多傾向於應用微型化的影像感測模組，影像感測模組係由鏡頭、濾光片、積體電路(Integrated Circuit, IC)、以及影像感測器等元件所組成。隨著半導體元件製程的進步，積體電路元件不僅運算能力大幅提升，同時其尺寸也得以縮小，因此影像感測器的封裝尺寸也得以縮小，發展出微型化之影像感測模組，應用於消費性電子產品。

影像感測模組需要接收來自鏡頭的光，而於此同時，必須避免其他的光源的干擾，因此對於側壁遮光的處理便十分的被重視，側壁只要發生些微的光洩漏，就會影響到光學感測器的性能。而在現今元件尺寸越來越小的發展進程中，側壁遮光層的厚度也會開始受到限制，然而隨著厚度的縮小，遮光效能也會隨之降低。因此為了解決此問題，需要發展出一種具更高遮光效能的薄型遮光材料。而除了光學接收模組，在顯示器中，遮光層也是一個重要的部件。遮光層主要遮蔽用於將開口處之外，也就是顯示器背光源之外的光，進而提升顯示器的對比度；以及用來防止鄰近的紅、綠、藍三原色光的互相干擾，避免紅、綠、藍三原色的純度降低。然而現行的遮光材料，為了製作薄型的遮光層，通常都是利用金屬作為遮光層，但是金屬遮光層容易造成元件產生漏電的現象，造成元件的損壞，所以低導電度之遮光層對於光學元件的發展而言是必要的。

本研究欲開發一高效能的薄型遮光材料，在 30  $\mu\text{m}$  的厚度下能夠遮擋 99% 的光，同時具有低導電度避免元件漏電的產生，應用於電子產品之影像感測模組，在不影響其性能下，減少元件損壞的機會。



## 1.2 遮光材料的性質

一般之遮光層所使用之遮光材料其遮光原理有兩種，分別為光的反射以及光的吸收，兩種方法，降低光的透射量[1]。其中反射式遮光層，一般為以濺鍍方式沉積在元件表面上之金屬，由於金屬之間的能隙非常低，會吸收許多頻率的光，而被金屬材料所吸收的光，會從其表面上進行反射，以相同的波長射出，大部分金屬的反射率都高達 90~95% 左右。透過金屬層的沉積，只需要透過很薄的一層金屬就可以反射大部分的光，但是電子產品的感測元件容易因為漏電的產生而受損，而使用金屬作為遮光層容易使元件之間發生漏電。因此金屬遮光層雖然具有良好之遮光性能，但不適合應用於電子元件之遮光。

本研究之目標為開發用於電子產品感測元件之遮光層，為了避免漏電的產生，不適合使用金屬作為遮光層。因此所使用之遮光方式將為吸收式的遮光材料。在吸收式的遮光材料中一般固體材料會因為難以加工施作，不適合直接作為遮光層，大多會使用較容易操作之材料如膠材等，能直接塗覆於元件表面，於操作上較為方便，然而膠材本身通常吸光效能不會太好，因此製作遮光材料時，會添加其他遮光性能較好之材料在膠材中，增加其遮光能力，添加進入膠材的種類可以分為兩種，為顏料(Pigment)以及染料(Dye)。

(1)顏料：為用來著色的粉末狀材料。不溶解於水、油類、樹脂類、有機溶劑等材料裡面，但能均勻地在這些材料中分散，並能使材料上色。顏料作為製造塗漆、油墨、色膏、化妝油彩、彩色紙張等不可缺的原料。也用於塑膠以及橡膠類製品和合成纖維等的填充與著色；

(2)染料：能溶解於有機溶劑或是水，使用時會先將染料配成有機溶液、水溶液等染液，用於對纖維等物體染成不同顏色的材料，依製作方式分為合成染料與天然染料兩種。染液對物體進行染色時，染料分子通過擴散、吸附等物理或化學的作用，從染液轉移到欲染的物體上使其染色[2]。

在 1982 年，Marechal 對聚合染料的合成、性質以及用途進行一系列的研究[3]，

而在現今聚合染料不只應用於塗料、油墨、塑料、染色等傳統工業領域上[4]，也應用在半導體[5]以及液晶顯示[6, 7]中。而顏料與染料兩者間的差異在於，顏料是透過加入的粉末對可見光的選擇性吸收，而呈現出的顏色，本身並不會跟其他物質作用。染料則會與周圍分子進行化學反應，而其之合成方法主要分為兩種。第一種為單體聚合法：帶有可聚合基團的發色體結構與本體聚合，其中有縮合聚合與加成聚合兩種反應方式。縮合聚合與加成聚合所得到的聚合染料之差異在於，加成聚合所得到的聚合染料為發色體在側鏈處，而縮合聚合所得到的聚合染料其發色體在主鏈上。第二種合成方法則是化學改性法：將發色體與聚合物本體進行接枝，優點在於聚合物仍能保有主要性能，可與所需要的官能基進行結合。如圖 1-1 所示，三聚氰氯(Cyanuric Chloride,  $C_3Cl_3N_3$ )容易與帶有 $-NH_2$ 的高分子反應，因此可以順利的進行接枝。所以接枝的困難度在於主鏈上是否存在可反應基團。圖 1-2 為原本透明之壓克力樹脂(Polymethyl Methacrylate, PMMA)，在經過添加顏料進入壓克力樹脂中混和後，原本透明之壓克力樹脂變為黑色不透光之複合材料。

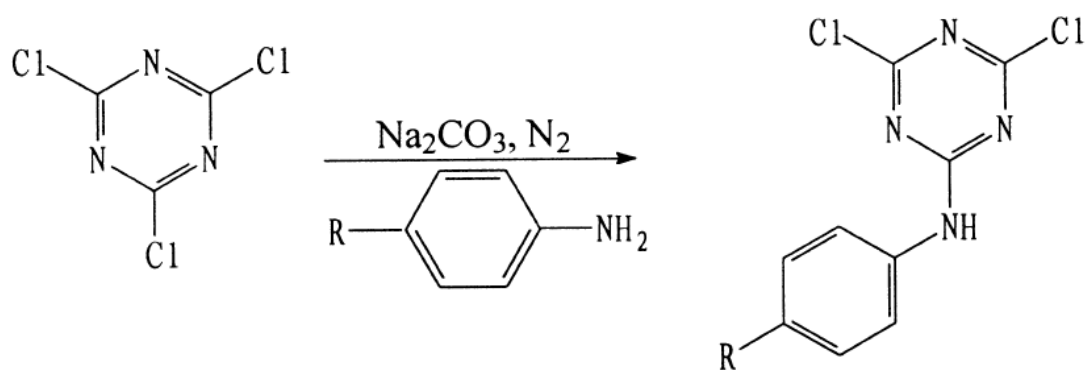


圖 1-1 三聚氰氯(Cyanuric Chloride,  $C_3Cl_3N_3$ )和含有 $-NH_2$ 的高分子反應示意圖。[5]

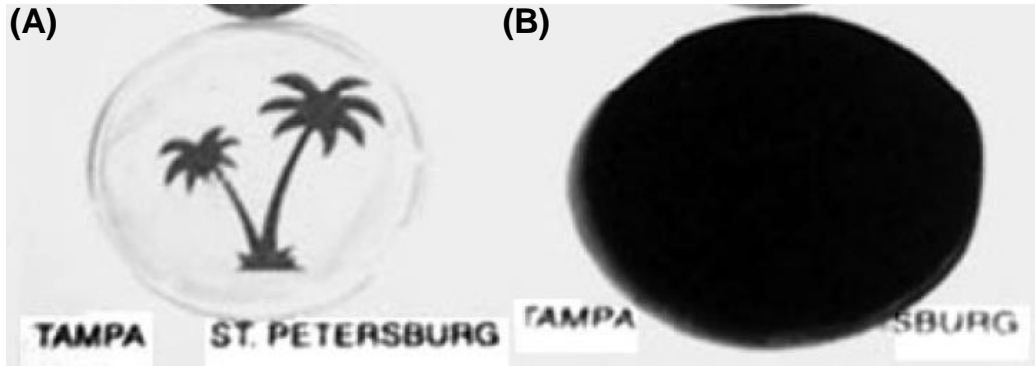


圖 1-2 (A)純 PMMA 與(B)在 PMMA 中添加奈米顆粒顏料的影像圖。[8]

而除了材料本身特性也有利用結構來進行遮光的方式，在 2008 年，Yang 等人 [9]透過有序排列的奈米碳管進行遮光，其研究結果顯示其在可見光波長之內表現出高吸光性，且具有非常低的漫反射率( $10^{-7}$ )，而總反射率為 0.045%，比任何材料的最低光反射率低三倍，這使其成為有史以來最暗的人造材料。吸光原理利用光線進入到奈米碳管之間時，光線會在奈米碳管之間不斷反射，而光的能量便會在反射進行中被逐漸損耗，使得材料擁有非常高的吸收率。圖 1-3 所示，垂直有序排列的奈米碳管形成高度多孔的奈米結構，且其中大多數奈米碳管是直徑為 10 nm。

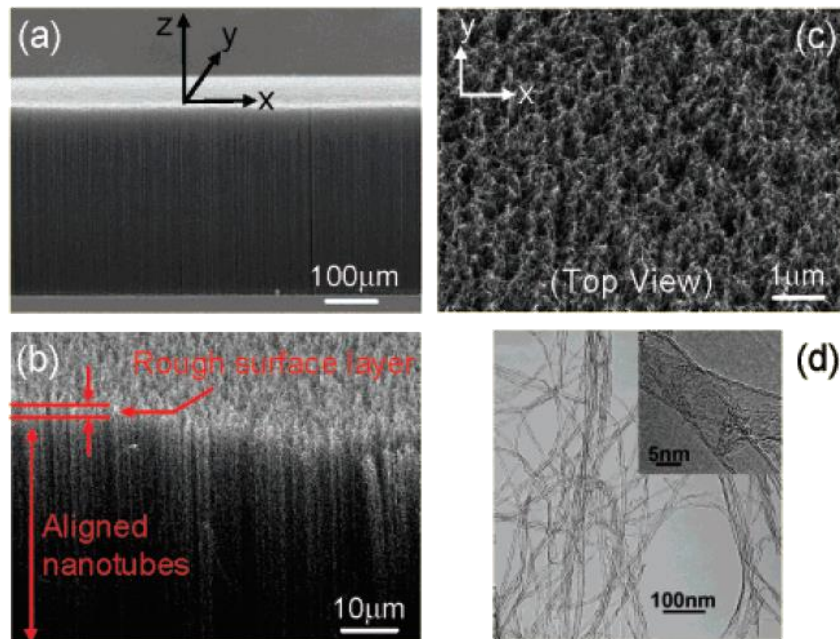


圖 1-3 (a)為垂直排列的奈米碳管樣品的 SEM 影像圖。(b)為相同樣品在放大倍數下的 SEM 影像圖。(c)為樣品的 SEM 上視圖。(d)樣品的 TEM 影像圖。[9]

在2014年由Surrey NanoSystems公司基於奈米碳管材料開發出黑色遮光材料，名為奈米碳管黑體(Vantablack)，其中 Vanta 代表垂直排列的奈米碳管陣列由 Vertically aligned nanotube arrays 的字母縮寫而成，透過在基板上利用化學氣相沉積(Cheical Vapor Deposition, CVD)或原子層沉積(Atomic Layer Deposition, ALD)排列奈米碳管，將長度約為 10  $\mu\text{m}$  的奈米碳管垂直豎立於基板上，而密集排列的奈米碳管能夠在可見光波長範圍內吸收約 99.96%的入射光[10]，在奈米碳管黑體中，光會在奈米碳管之間不斷偏折，幾乎不能反射出奈米碳管黑體，最終被吸收光能被轉換成熱能，再透過基板將熱傳導出去。圖 1-4 顯示出兩個相同的青銅頭像，但其中一個塗上 Surrey NanoSystems 公司所開發出 Vantablack 塗層，由於其極高的吸光度肉眼觀察到的效果就像是在看平面的物體，幾乎看不出任何的立體結構。



圖 1-4 兩個相同的青銅頭像，一個未做任何處理，另一個塗上 Vantablack 材料 (Surrey NanoSystems®)[11]。

由於奈米碳管的優異的性能，已有研究將其應用於太空中[12, 13]，通過其表面結構處理引致之低反射率，可以有效控制雜散光限制背景雜訊。多壁奈米碳管 (Multi-wall Carbon Nanotube, MWCNT) 是非常好的吸收材料，與目前的表面處理方

法相比，可提供 10 倍的改善，當將其應用於整個光學系統時，這項技術的發展將帶來許多好處，包括：(a)簡化儀器控制雜散光以達到同等的性能、(b)通過提升對比度來提高觀察效率以及(c)比起之前能進行更低雜訊的觀察。由於大部分光都被吸收且不反射出來，若能妥善應用於影像感測元件中，可以防止雜散光進入影像感測中，提升靈敏度並改善影像的表現，或者是應用於太陽能中，利用吸光率高的特性，將光能轉換成熱能，還有應用於軍事的迷彩，在黑夜裡不被敵人發現。

但是由於奈米碳管黑體的製程過於複雜且設備昂貴，而且這種結構遮光的方式，其附著力過低，太過於脆弱在物體表面上容易脫落，只要觸碰到就會損害塗層，因此不利於應用於光學元件當中。

### 1.2.1 遮光材料於液晶顯示器之應用

液晶顯示器為平面薄型的顯示裝置，透過背部的光源發出的白光，經過彩色濾光片後留下的紅、藍、綠三種顏色的光，透過改變子像素上之電壓值，能調控紅、藍、綠三種顏色光的強度，透過不同三色光配比，即可得到彩色顯示畫面。因此彩色濾光片為液晶顯示器中最重要之零件，而在濾光片中，黑色遮光層也占了重要的一部分，黑色遮光層不只能防止顏色的純度降低，同時能提升顯示器之對比度，因此黑色遮光層在液晶顯示器也是重要零組件之一。如圖 1-5 所示，濾光片於一玻璃基板上製作出具有防止反射的遮光層，以及具有紅、藍、綠三原色的濾光層，最後在濾光層上製作一層透明導電氧化銦錫薄膜(Indium Tin Oxide, ITO)。而在濾光片的結構中，遮光層(Black Matrix, BM)用於增進來防止鄰近的紅、藍、綠三色光的互相干擾，避免紅、藍、綠三色光的混色，降低顏色的純度；同時可將開口處之外的背光源的光遮蔽掉並防止反射，進而提升顯示器之對比度。

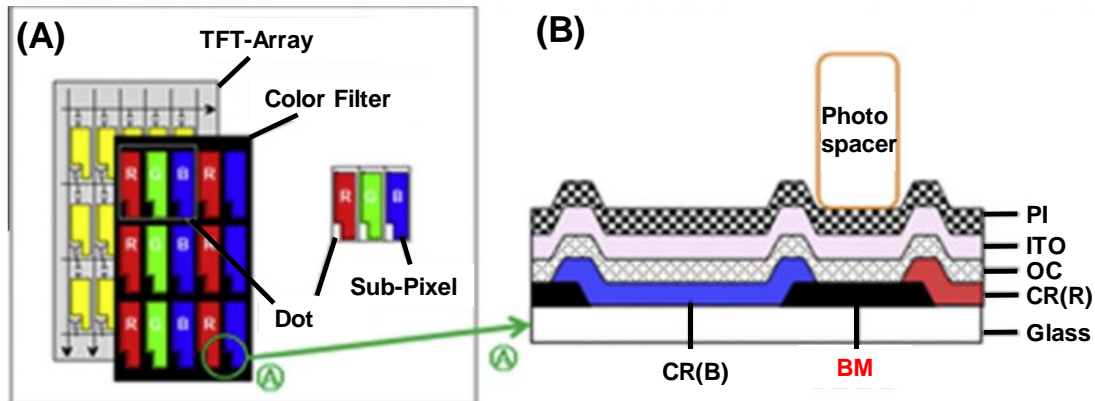


圖 1-5 液晶顯示器之(A)透視圖和(B)濾光片的截面圖。[14]

目前濾光片主要使用金屬鉻作為遮光層的材料，因為鉻層在很薄的情況下具有高遮光率、良好的接合強度以及耐熱的優點，但是其加工製程複雜，需要經過濺鍍或蒸鍍製程，因此其製造成本相對昂貴，並且製造過程中重金屬鉻的廢棄物會對環境產生污染。最後由於鉻為金屬，其具有高反射率會造成雜散光的影響顯示效能，因此為了解決高反射率問題，要在鉻上再另外鍍上氧化層以解決高反射率問題。其中鉻本身的低電阻，容易造成漏電現象，因此無法應用在薄形化的薄膜電晶體液晶顯示面板(Thin film transistor liquid crystal display, TFT-LCD)中。

在 2012 年，Peng 等人[15]利用環氧樹脂作為發光二極體(Light-emitting Diode, LED)的主要封裝材料，可以提高其導熱性和紫外線屏蔽效率。於其研究中發現氧化鋅(ZnO)奈米粒子在紫外線波段具有良好的吸收特性且其本身是良好的熱導體。因此採用將氧化鋅奈米粒子與環氧樹脂混合製備複合溶液，製備複合薄膜。於其實驗結果表明，在添加 5wt%的條件下，氧化鋅奈米粒子與環氧樹脂複合材料將具有較高的可見光透光度以及較高的紫外線遮蔽能力，氧化鋅奈米粒子的摻雜能有效增強環氧樹脂對紫外線的遮蔽效能。高分子材料作為遮光層之基材，具有製程上相對簡單、成本低、對環境傷害少的優點，但是比起金屬型其遮光率較低為最大缺陷。因此提升高分子材料遮光層的遮光率是重要的課題。

## 1.2.2 遮光材料於影像感測器之應用

影像感測器(Image Sensor)為將感光元件所感應光源的光訊號轉換成電訊號的

元件。影像感測器收集類比的光訊號，再將該訊號傳至影像處理器進行類比數位轉換以及色彩調整的處理後，輸出成為數位化影像。隨著多媒體與3C產業的發展，影像感測器已是醫療、電腦、通訊、家電、娛樂等影像設備上的關鍵零組件。由於影像感測模組應用在消費性電子產品往微型化發展，在元件的尺寸不斷縮小的情況下，就需要面對光學元件效能上的問題，其中之一為在較小的感光面積下將大幅降低感測器的感光能力，另一方面在較高的畫素密度下，元件之間的交互干擾將會增加，幾種元件的尺寸不斷縮小的過程中，所要面臨的問題。目前常用之影像感測器的類型可分為互補性氧化金屬半導體(Complementary Metal-Oxide Semiconductor, CMOS)或是感光耦合元件(Charge-coupled Device, CCD)。

圖 1-6 為影像感測器之結構示意圖，圖中(A)彩色濾光片陣列：透過 RGB 三色濾色鏡的陣列，當光通過時會將另外兩種顏色給濾掉，而每個像素只接收一種顏色。(B)低通濾波器：這些設計旨在限制光通過傳感器的頻率。(C)紅外光濾光片：紅外光濾光片可防止紅外光進入感光元件，因為這類感測器通常對於紅外光比較敏感，會造成色偏的現象或是出現人眼無法看到的影像，因此紅外光濾光片有助於避免紅外光之影響。(D)電路：CCD 和 CMOS 感測器的結構不同。CCD 在每個光點收集電荷，然後將其從感測器通過遮光的垂直像素陣列傳輸出去，然後再轉換為信號並進行放大。CMOS 感測器將電荷轉換為電壓，並放大每個像素位置的信號，因此輸出電壓而不是電荷。(E)像素：像素包含一個光敏光電感測器，該光電探測器可測量落在其上的光子的數量。利用光子引起矽釋放出電子，從而在每個光點處形成電荷進行光量測。(F)微透鏡：微透鏡有助於將光聚集到每個像素中，從而提高感測器的靈敏度。(G)黑色遮光材料：在感測器上並不是所有的像素都用於捕獲圖像，在周圍的物體通常都用來遮光，這是影響影像雜訊比的重要原因。良好的遮光層能夠使影像更清晰、雜訊更少[16]。



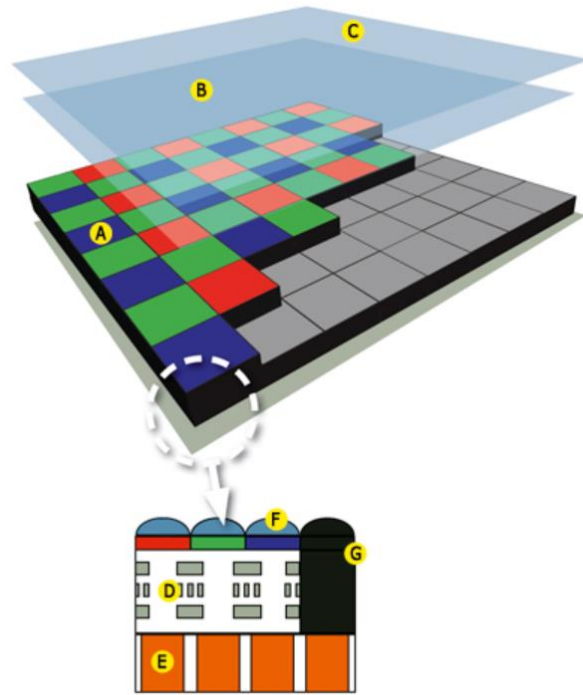


圖 1-6 影像感測器之結構示意圖。分為(A)彩色濾光片陣列、(B)低通濾波器、(C)紅外光濾光片、(D)電路、(E)像素、(F)微透鏡、(G)黑色遮光材料七個部分。[16]

圖 1-7 顯示了商用的影像感測器的照片以及光在有無遮光層影響之示意圖。通常光在光學感測器的玻璃層中進行傳輸和傳播，若沒有遮光層會產生污染現象降低光學感測器的性能。因此，薄型且高性能的光遮蔽層對於防止現代微型光學零組件的封裝中的光污染是必不可少的。

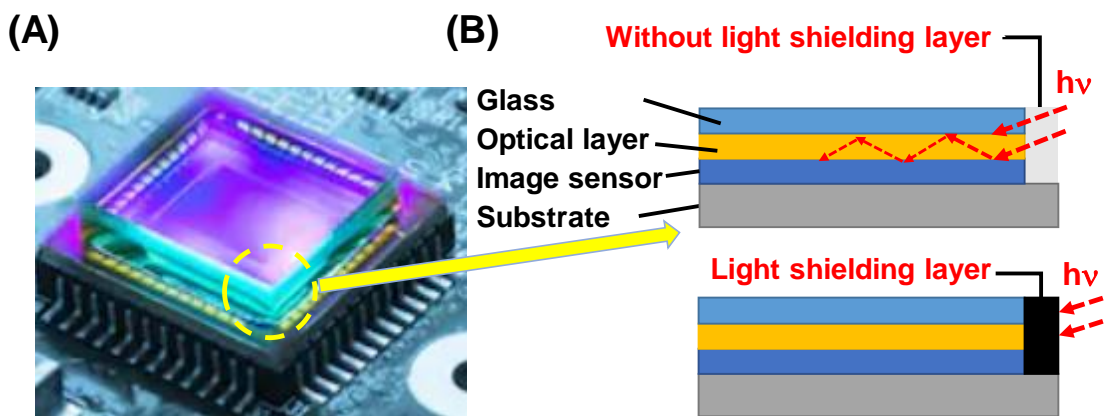


圖 1-7(A)商用的影像感測器的照片(Curtesy of Lahat<sup>®</sup>)以及(B)光在有遮光層和沒有遮光層的影響下之示意圖。



### 1.2.3 遮光材料於光譜儀之應用

光譜儀(Spectrometer)為透過將光分解為光譜線的分析儀器，光譜儀通常由輸入光源、狹縫、光柵、稜鏡和偵測器所組成，當光通過分光元件後進行分光，依光的頻率大小排列形成光譜圖。而依照所使用的波長，如紅外線、可見光、紫外線和 X 射線等等波段，為對物質的結構和成分進行測量、分析的設備。光譜儀具有非破壞性、分析精確度高、靈敏度高、測量範圍大、分析速度快、樣品用量需求少等優點。

但是在光譜儀中容易受到雜散光影響造成量測上的誤差，雜散光為光學系統中，任何不需要但是會傳播後到達感測器額外衍生出來的光線或是光斑，雜散光的出現會使成像品質降低以及降低對比，也會遮蔽住光學檢測系統中微弱的訊號，降低訊號雜訊比(Signal to Noise Ratio, SNR)。其中雜散光的遮蔽對於光譜儀是非常重要的技術。它是光譜儀會產生誤差的主要來源，它會造成分析測試樣品濃度的上限的限制。當一台光譜儀的雜散光固定時，被分析的樣本濃度越高，其誤差就會越大。因此，於光譜分析中如何降低雜散光的影響，在光譜儀中是需要被重視的問題。

在 1976 年，Larson 等人[17]發現到當採用原子發射光譜法測定濃度接近偵測極限之樣品時，光譜的背景訊號會佔總測量信號的很大一部分。因此，如果要進行準確的分析，則需要進行精準的背景校正。而若在光譜儀內部對於雜散光的抑制沒有處理好，樣品的成分發生變化時，雜散光可能會使得光譜儀測量的信號產生明顯的偏移。而雜散光便是光學系統中沒有遮蔽好外部光線，或是內部黑化處理不當時所產生的光，不是工作光卻會影響量測結果，因此光譜儀對於高效能的遮光材料亦是有所需求的。

在 2006 年，Zong 等人[18]開發出一種簡單實用的方法來校正分光計對由儀器的光譜雜散光引起的測量誤差的響應。該方法已經實現並通過商用 CCD 陣列光譜儀進行了驗證。校正後的光譜雜散光誤差減少了 1~2 個數量級。從圖 1-6 顯示了

透過紅光、綠光以及藍光作為光源所偵測到之光譜圖，其中不管是紅光、綠光還是藍光的光譜圖，在背景訊號中，還沒做抑制雜散光的處理跟處理了雜散光後的背景訊號比起來，處理雜散光後的背景訊號明顯小了 1~2 個數量級，因此訊號雜訊比才得以提升。所以遮光材料對於光譜儀來說，能夠有效降低雜散光的影響，並且在有效的抑制雜散光的情況下，能夠大大提升訊號品質。

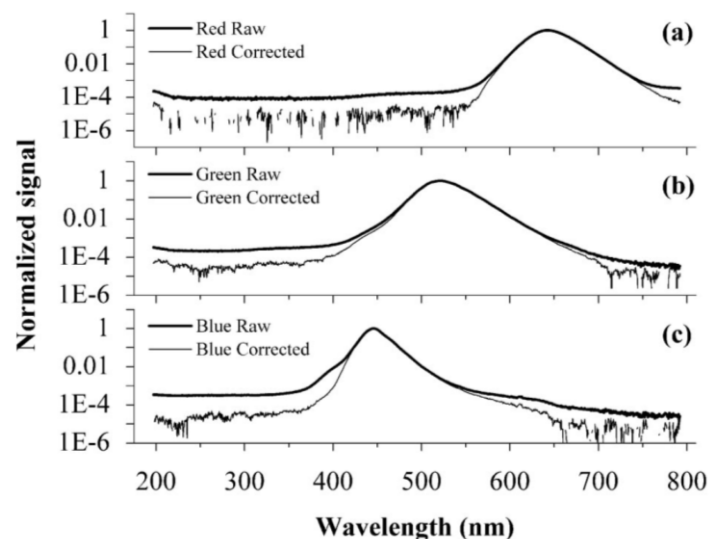


圖 1-8 以(a)紅色、(b)綠色和(c)藍色的發光二極體作為光源的初始的光譜訊號圖以及抑制雜散光後的光譜訊號圖。 [18]

### 1.3 介電性質介紹

因為電子元件尺寸漸往小型發展以及元件密度的提升，如何在元件微小化的同時，兼顧元件的效能也是極為重要的問題，而在抑制耗電量、提高性能、兼顧電晶體與配線的高速化的情況下，電晶體所需要的絕緣膜必須更薄。當薄膜厚度過薄時容易出現漏電流的現象，為了改善此現象，便使用高介電常數之材料。電介質材料(Dielectric Materials)是指將材料施加一外加電場作用下，其內部自由電荷受電場影響，正電荷往負極方向移動，負電荷往正極方向移動，而形成極化(Polarization)的現象。當將電介質材料放在兩個平行電極板之間，作用在它們之間的力會減少，就像是兩電荷被拉遠了一樣。而具有介電常數(Dielectric Constant)的任何物質，都能夠看成是電介質。

介電常數的大小與材料的極化程度有關，其中極化程度越大，介電常數也越大。所以在電介質材料中，介電常數的大小透過極化的能力來決定。而介電系數的衡量方式其中以真空相隔之兩片平行電極板，其空間幾何與電容量之關係式如下所示：

$$C_0 = \epsilon_0 A/d \dots\dots\dots(1.1)$$

$C_0$  為兩電極板間儲存的電容量

$\epsilon_0$  為真空中的介電常數，其值為  $8.854 \times 10^{-12}$  F/m

$A$  為平行電極板面積

$d$  為兩電極板間的距離

而若在兩片平行電極板間不是真空，而是放入介電材料時，此時極化程度產生之電容  $C$  如下列所示：

$$C = \epsilon A/d \dots\dots\dots(1.2)$$

$\epsilon$  為材料在兩電極板中的介電常數。將式(1.2)與式(1.1)相除，得下列公式：

$$C/C_0 = \epsilon/\epsilon_0 = \epsilon_r \dots\dots\dots(1.3)$$

$\epsilon_r$  相對介電常數，或稱為相對電容率。相對電容率為設計電容器的重要資訊。當使用一種新材料於電路中，新材料可能會引入電容，因此，我們需要測量新材料的相對介電常數。

而隨著電子元件尺寸的縮小電晶體所需要的絕緣膜必須變薄。然而當薄膜厚度變薄時容易出現漏電流的現象，而影響電晶體的工作甚至會造成元件損壞，所以為了改善此現象，則必須使用高介電常數之材料，介電常數越高的材料其較薄之等效厚度也越容易完成。因此，藉由高介電常數的材料能在提升電容值之同時，保持較薄之厚度，避免產生漏電流，造成元件異常或是損壞。

絕緣物體容易在其表面上累積靜電荷，吸附微塵而引起吸引粉塵問題，更甚者因電荷放電產生火花引起粉塵爆炸，實際應用中便添加抗靜電劑用來克服這種

問題。而在半導體方面混合物很常見在許多應用中，例如：(1) 加入導電膜，以防止靜電累積、(2)加入電極、(3)加入導電塗層或是(4)通過加入導電材料(碳顆粒、碳纖維和金屬粉末：銀、銅、鋅、鎳等)進入聚合物中。而 Narkis 等人[19]研究聚乙烯與碳黑複合物的電阻率和介電常數，並探討了其他方面，涵蓋了這些材料中的電流-電壓的關係，並透過差示掃描量熱法(Differential Scanning Calorimetry, DSC)比較材料在加熱和冷卻時的變化以及介電常數與溫度的變化關係。因此，在對抗靜電方面添加介電物質可以有效地克服。

在 2006 年，Barba 等人[20] 研究添加不同比例碳黑於矽橡膠在頻率範圍為 0.2~6.0 GHz 內的微波吸收特性的變化。特別是，樣品的介電常數通過網絡分析儀，然後將實驗數據擬為微波的頻率和碳黑含量的函數，附著在金屬板上的一層混合物的反射損耗與模擬遮蔽效果，作為頻率和厚度以及碳黑含量的函數值，並總結了模擬結果。可用於選擇厚度和碳黑含量對於給定的頻率而言，能夠達到理想的遮蔽效果。因為大部分電子設備都在微波頻率工作範圍下使用。這種增長導致電磁干擾的增加，因此開發保護電子設備不受外部干擾影響的系統。為此，使用電磁遮蔽來限制電磁能在特定區域的範圍內或防止電磁傳播能量進入指定區域內。其中可以通過使用吸收來實現遮蔽的結構材料。例如：金屬導體、含金屬和非金屬的複合材料等。這些材料必須具有特定的要求：首先遮蔽效果好、重量輕、機械性能好、可加工性好、成本低特性。

## 1.4 研究動機與目的

消費性電子產品所使用之影像感測模組持續地往微型化發展的趨勢中，影像感測模組對於鏡頭光的接收，以及側壁光的遮蔽處理都是相當重要的工作，其中光的接收處理會接影響到所接收之訊號是否真實，而側壁光的洩漏，就會影響使光學感測器接收到雜訊降低感測器的訊雜比。而在現今元件越來越小的情況下，側壁的光學遮蔽層也需要跟著縮小其厚度，但在縮小側壁厚度時，遮光效能就會隨著厚度降低，同時也增加了漏電的發生風險。以上問題都是在光學感測器設計與開發之中需要被重視的，為了有效且準確的接收、量測目標訊號，在光學元件裡面就必須減少各種因內部反射所帶來的雜散光。而透過使用高吸光性能的遮光材料，能夠使得光學元件內部完全無多餘反射光，提高感測器之訊雜比。但是，大部分物體都不可能完全地把光給吸收，只能藉由改變物體表面樣貌和結構、材料的形狀等方式提高吸光率。但這些處理的共通問題為，這類結構調整會使其強度如附著力等比較弱，對於外在使用條件較為敏感，若有些微碰觸便會造成吸光材料剝落，使得遮光率下降。

因此本研究欲開發一中兼具高吸光率、低導電度、輕薄等優勢之高效能薄型遮光材料，但是當材料越薄時，材料的強度也會下降，然而在本研究的應用中，必須利用一個輕薄的材料，而環氧樹脂含有羥基、醚鍵多種極性官能基，因而玻璃、塑料、金屬、混凝土等多種材料具有很強的接合力。所以本研究透過奈米碳黑與環氧樹脂所製成之複合型遮光材料，並簡化遮光材料的加工製程及實驗步驟，以解決材料薄型化後造成漏光的問題。首先會測試基本材料之特性，針對碳黑、環氧樹脂進行主要組成分析，最後再對遮光材料進行光學特性分析以及電性分析，以確定在一定厚度下能夠遮擋 99% 的光，並且具有低的導電率能夠防止漏電的產生，對應用於電子產品上之影像感測模組，可減少元件損壞的機會。

## 1.5 論文架構

本論文第一章將會簡述研究背景與技術，第二章說明材料特性與實驗原理，第三章是實驗的材料、操作與設計的介紹，第四章會呈現出實驗的結果與討論，最後第五章將會針對本研究做完整的總結。完整的架構如圖 1-9 所示。



圖 1-9 論文架構圖。

## 第二章 實驗原理與材料特性

### 2.1 光與材料的交互作用

光為電磁波的一種，由互相垂直的電場以及磁場分量所組成，同時電場以及磁場分量也與電磁波的前進方向垂直。然而電磁波譜範圍廣泛，從極短波長的  $\gamma$  光( $10^{-3}$  nm)，到 X 光、紫外線、可見光、紅外線、微波以及長波長的電磁波( $10^5$  m)，其中可見光只是電磁波譜上的某一小段頻譜，可見光一般定義為波長大約介於 400 至 700 奈米之間的電磁波[21]。

光與一個物體會產生三種交互作用。第一是在進入時於介面直接反射，第二是於材料中被吸收，第三種則是順利穿透材料，其關係式如下列所示：

$$I_0 = I_R + I_A + I_T \dots \dots \dots (2.1)$$

$I_0$  為入射到材料的光束強度

$I_R$  為反射光強度

$I_A$  為吸收光強度

$I_T$  為透射光強度

當有大量透射光時，材料會呈現透明的(Transparent)；而光線在材料內部以擴散方式傳遞，通過試片無法清楚分辨底下的物體，材料即為半透明的(Translucent)；而當光線無法通過時，材料即為不透明的(Opaque)。

當光傳遞到不同介質的介面時，可以觀察到部分入射光從表面反射回原本介質中的現象，稱為光的反射。而光的反射會遵守以下法則：1.入射光與反射光會在同一個介質、2.光的入射角與光的反射角相等。稱為反射定律。因為光為一種電磁波，當光入射到材料上時造成原子極化現象，使一個粒子都向四周發出輻射波。然而根據惠更斯－菲涅耳原理(Huygens-Fresnel Principle)，這些所有輻射波加總起來就形成了反射和折射。當光由一個介質(折射率  $n_1$ )進入另一介質(折射率  $n_2$ )，其反射率可以由下列式所示：

$$R = \left[ \frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right]^2 \dots\dots\dots(2.2)$$

因此可以得知當兩材料的折射率差異越大時，其反射率就越大，且利用入射到材料的光束強度  $I_0$  乘上反射率  $R$ ，即可得知反射光強度  $I_R$ 。

當光在材料傳遞過程中，因為電磁能轉換成為其它的形式像是熱能，而造成能量的衰減，可以稱為光的吸收。而在光與材料內的交互作用中有兩個重要的現象，分別為電子極化(Electronic Polarization)以及電子躍遷(Electron Transitions) [22]。電子極化是因為光為電磁波的一種，而電磁波中有一分量為電場所組成，在光前進的過程中會與路徑上所遇到的每個原子外圍的電子雲交互作用，因此產生電子極化，使電子雲產生移動，然而電子極化就會造成部分輻射能量被吸收。電子躍遷是在材料中對光的吸收和發射是由於電子從一個能量狀態躍遷至另一個能量狀態導致，當光照射在物體上，原子吸收光子的能量後造成電子激發到能量較高的能階上，而能量的變化會與光的頻率有關，其計算方式如下方算式所示：

$$\Delta E = hv = \frac{hc}{\lambda} \dots\dots\dots(2.3)$$

$\Delta E$  為能量差

$h$  為普朗克常數，其值為  $6.626 \times 10^{-34}$  J·s

$v$  為入射光頻率

$c$  為入射光光速

$\lambda$  為入射光波長

因此需要能量大於  $\Delta E$  才能造成電子躍遷而吸收，而躍遷之後的電子又會衰變為基態，並釋放出電磁波。而且激發後的電子並不會一直持續在激態(Excited State)，在經過一段時間後，在激態的電子就會掉回基態(Ground State)，在掉回基態的過程中並且伴隨著電磁波的發射。

由於金屬與非金屬之間能帶結構的不同而影響吸收，在高能帶中只有部分填滿電子，只要光的能量足以將電子激發進入高於費米能量的空乏態，光就能夠被



吸收。而且在金屬材料中，空乏態與填滿態之間的能隙非常低，並不需要很強的能量，而光的能量會與光的頻率成正比關係，因此許多頻率的光都會被金屬材料所吸收，而且吸收通常位於很薄的金屬表面，因此金屬材料只需要很薄一層就能遮光，而被金屬材料吸收後的光會從表面上反射出相同波長的光，所以大部分金屬的反射率都高達 90~95% 左右。在非金屬的吸收當中，在價帶中的電子藉由吸收光子的能量，使電子躍過能隙從價帶進入傳導帶。因此能隙的大小決定需要多大的光子能量才能達到吸收的效果。不同的材料皆具有不同大小的能隙，然而從式 (2.3)，可以得知需要波長多少的光才能夠使電子越過能隙，並造成吸收。因此，材料能隙過大時，當光的波長在可見光波長不被吸收時，可以觀察到材料呈現透明；而能隙的大小在可見光波長皆能越過時，可以觀察到材料呈現不透明；而能隙的大小在可見光波長一些能越過一些不能越過時，可以觀察到材料顯現出顏色。

而在 1852 年 Beer 提出吸光物質濃度與吸光程度的關係[23]，與提出吸光物質厚度與吸光程度的關係，結合起來後就得到了有關於光吸收的基本定律，當光照射到吸光物質時，由於吸光物質吸收了一部分光的能量，造成光透射後光強度的降低，並且吸收物質的濃度和厚度皆會影響到吸光的效能，其中關係為：

$$Abs = -\log_{10} \frac{I_T}{I_0} = \log_{10} \frac{1}{T} = K \cdot L \cdot c \dots \dots \dots (2.4)$$

Abs 代表的是吸光度

T 為透光度

K 為材料的吸收係數

L 為吸光材料的厚度

c 為吸光材料濃度

所以從這一公式可以看出材料的吸光度會跟材料的吸收係數、材料的厚度以及材料濃度成正比，因此想要增加吸光度，就把材料變厚、增加材料濃度或者是尋找高吸收係數的材料。

當光經過反射以及吸收之後，並無完全衰減，最後順利穿過材料的光線，稱為透射光。透射光的公式為下列所示：

$$I_T = I_0(1 - R)^2 e^{-KL} \dots\dots\dots(2.5)$$

$I_T$  代表的是透射光的強度

$I_0$  是入射光的強度

$R$  為反射率

$K$  為材料的吸收係數

$L$  為材料的厚度

只要知道入射光大小和材料的厚度、折射率以及吸收係數，就可以計算出反射量、吸收量以及透射量之大小。

## 2.2 碳黑概述

碳黑為一種無定型碳，為人類最早開始使用的奈米材料，基本粒子粒徑大小為 10 nm ~ 100 nm 間，製造方法為烴類化合物在缺氧的情況下進行熱裂解或燃燒得到的極細碳黑粉末，在著色、補強橡膠方面具有優異的表現。

### 2.2.1 碳黑的結構與特性

一般影響碳黑基本性質的主要因素可分為三項：(1)粒子表面積(Surface Area)、(2)聚集體凝集的結構(Structure)、(3)表面化學性質(Surface Chemistry)三種特性。其中(1)粒子表面積：當碳黑粒子越小時，在相同質量或總體積下其具有最大的表面積，可吸收較多的可見光，因此色度較黑，具較高著色力。而量測粒子表面積的方法是用比表面積檢測法(Brunauer, Emmett and Teller method, BET)，為利用量測單一分子的氮氣，在高真空下，沉積在粒子表面的情形，再將粒子所吸收的氮氣容積，換算為粒子的表面積。當粒徑越小，比表面積越大[24, 25]。(2) 聚集體凝集的結構(Structure)：碳黑粒子集結的尺寸和形狀會決定碳黑的結構，碳黑結構的高低

則會影響碳黑分散及黏度。高結構的碳黑因為兩聚集粒子的中心點距離較大，粒子間吸引力較弱，分散的效果比較容易達到。評估方法為測量聚集體凝縮時形成的空隙，測試方法為測量碳黑之吸油值，具有較高的碳黑結構時會有較高的吸油值。在 1964 年 Heckman[26]透過電子顯微鏡觀察到碳黑的微結構，其基本粒子由碳所組成，其排列方式類似於石墨狀晶體構造，石墨層平面間的碳原子排列是有序的，但與石墨差異在於平面與平面間的排列是無序的，如圖 2-1 所示。

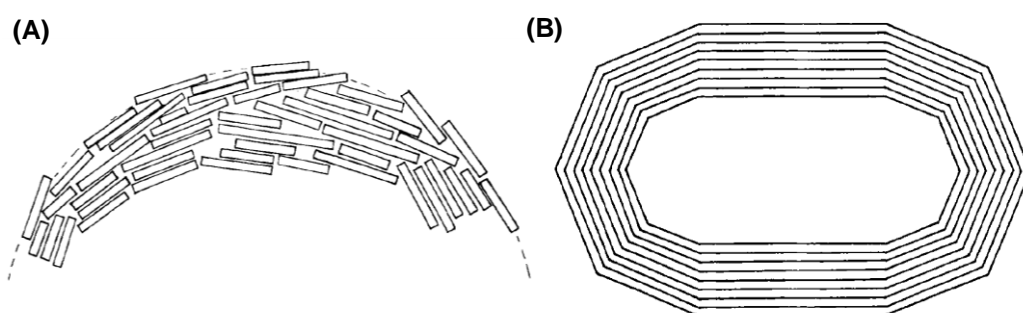


圖 2-1 碳黑與石墨晶體結構示意圖。圖(A)為碳黑之微結構，其平面間的排列為無序排列。圖(B)為石墨之微結構，其平面間的排列為有序排列[26]。

碳黑粒子不單獨存在，為多個粒子通過晶層形成鏈狀結構，其為碳黑的結構[27]。碳黑聚集的程度以結構性來表示，透過測量碳黑的吸油值來得知結構性，吸油值越高時表示碳黑具有高結構，當結構性比較高時，碳黑的鏈狀結構越發達[28]。碳黑表面具有許多微孔，因此碳黑具有很大的表面積，而碳黑表面又具有醇基、羧基等官能基，而這類帶有極性官能基能幫助與其他物質混合時的表現。圖 2-2 顯示出碳黑粒子間形成鏈狀結構，且表面帶有醇基、羧基等官能基。

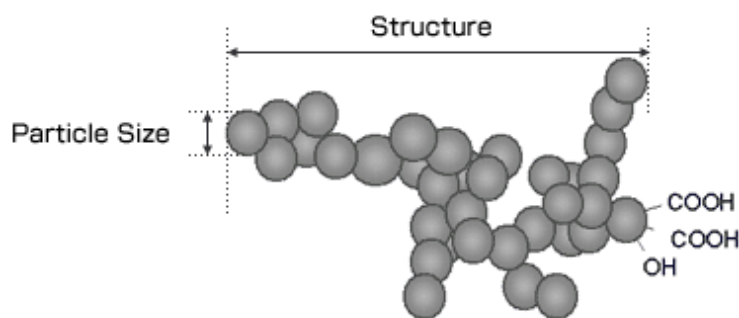


圖 2-2 碳黑之結構示意圖[29]。

而在 1999 年，透過 Michel 等人研究了碳顆粒的光學特性，透過建立一個簡單的碳粒子光學性質模型，對於碳黑的黑度，當相同濃度的碳黑比較時，碳黑粒徑越小時，吸收光的程度越高，除了光的吸收外，同時因為粒子表面幾何形狀的影響，產生了光散射的影響[30]。其中碳顆粒被認為是兩種材料(石墨材料和無定形材料)的混合物並討論了這些材料的幾何排列的幾種模型。基於這些模型，在經典電磁理論的框架內，計算了不同內部結構的球形碳顆粒的消光截面。對於有序結構(例如：洋蔥形顆粒)，使用分析公式，而對於無序結構，則使用考慮各向異性的有效介質形式。基於這些模型，並分析結構影響光學消光性質。

導電性在許多橡膠和塑料混合物中都很重要，在 1986 年，Medalia 提出了各種導電機制，碳黑的導電特性可用來降低許多物質的電阻[31]，可應用各種高分子複合材料的改質[32, 33]。包括抗靜電應用、電線、電纜保護套以及對電磁干擾(EMI)的遮蔽。彈性體和塑料是絕緣體(電介質)，可通過添加具有高電導率的膠體填料(例如碳黑)來賦予其導電性[34-36]。多年來，已經開發出了大量有關電導率測量的信息，以及影響此類化合物或複合材料的因素。關於導電的物理過程，對於碳黑之導電性大多數皆為探討粒子與粒子之間接觸的幾何學研究。當碳黑濃度越高時，原本碳黑之間處於分散，但是碳黑密度越大時，碳黑粒子與粒子之間的平均距離變小，碳黑粒子與粒子之間的相互碰觸機率就會變大，因此，碳黑粒子或碳黑粒子因接觸在一起而造成的導通路線也越多。這時導電性能會根據碳黑粒子在當中的濃度和分布狀態來決定。主導過程取決於複合材料的成分和測量條件。這篇綜述的目的是調查碳黑和非導電聚合物複合材料中所提議的導電機制，特別注意最近的理論進展，並研究碳黑性能和複合材料組成的影響。

### 2.2.2 碳黑的應用

碳黑作為一種奈米材料，在許多的方面上有著不可代替的應用，例如，橡膠中添加碳黑可以作為補強填充劑[37-39]。其中在 1972 年 Medalia 去探討在橡膠中

的碳黑的關係[40]，透過在加入碳黑進入橡膠中，能夠提升硫化橡膠的抗撕裂強度、抗磨性、拉伸強度等性能的行為[41]。橡膠補強現象使橡膠能在碳黑表面滑動，因表面的碳黑粒子不均的活性，有能量不同的吸附點以及少數的活性點。橡膠鏈吸附在碳黑表面上可以有各式各樣的能量結合，吸附的橡膠鏈會滑動伸長在有應力作用下。從剛開始長短不一橡膠的分子鏈吸附在碳黑表面上。當伸長時，較短的分子鏈並不會斷裂而是沿著碳黑表面滑動，使橡膠不被破壞，並提升橡膠的性能。碳黑也能夠當作電磁波遮蔽[42, 43]、紫外線遮蔽、著色、抗靜電[44]或導電等用途，碳黑廣泛應用於油墨、電子元件、塑料、塗料、冶金、皮革化工和乾電池等很多行業製品中[45]。

## 2.3 膠材介紹

環氧樹脂是指在含有環氧基的聚合物，在適當的化學試劑及合適條件下，能形成交聯固化的化合物，因此會具有良好的機械性能以及耐熱性與耐化學性。其中最為重要的是環氧樹脂具有優異的絕緣特性，因此環氧樹脂常應用在電子元件以及半導體元件封裝上。並且環氧樹脂可以分為單劑型以及雙劑型兩種，而單劑型環氧樹脂有下列幾個好處：單劑型使用前不需額外添加固化劑進行混膠，可以簡化混膠的製程，且不會有混合均勻性的問題、單劑型不需要進行 A 劑與 B 劑比例的調配，減少因比例的不同造成誤差的機率、單劑型點膠設備的成本比雙劑型點膠設備的成本低、單劑型環氧樹脂在使用時不用擔心操作到一半即開始固化。但是單劑型環氧樹脂的缺點大部分與儲存條件相關，例如：單劑型環氧樹脂比起雙劑型在添加固化劑之後即會開始固化、單劑型在固化的過程中需要透過加熱烘烤的方式、單劑型環氧樹脂需要在比較低溫的環境才能保存。而雙劑型為透過添加固化劑進入主劑來固化，因此會有混合均勻性的問題。但是雙劑型在添加固化劑後即開始固化，因此在室溫下也可進行固化，不須額外加熱。

環氧樹脂的種類很多，在許多種類的環氧樹脂中，雙酚 A(Bisphenol A, BPA) 型的環氧樹脂是生產量最大、用途最廣的種類。並且依據環氧樹脂的分子量大小可以區分為超高、高、中等、低分子量的環氧樹脂。低分子量的環氧樹脂可以在室溫或高溫下固化兩種條件下固化，但是高分子量的環氧樹脂必須要在高溫下才能進行固化，而超高分子量的環氧樹脂不需要添加固化劑，在高溫情況下即能進行固化。

### 2.3.1 環氧樹脂的種類與應用

固化前的環氧樹脂會具有較差的機械、耐熱和化學性能。然而，經過線性的環氧樹脂與固化劑反應後形成的網狀的熱固性結構，即可具有良好的性能。環氧樹脂的固化可以通過添加固化劑形成共聚物或通過環氧樹脂與其自身反應來達到。常見用於環氧樹脂的固化劑類型包括：酚、醇、酸、胺、酸酐和硫醇這些種類。有一些種類的環氧樹脂添加固化劑後將在室溫下進行反應，但許多環氧樹脂添加固化劑後仍然需要加熱，如果在反應過程中因為熱量不足將會造成網狀的聚合不完整，造成環氧樹脂強度的降低。因此，固化的溫度通常需要達到完全固化的玻璃轉化溫度 ( $T_g$ )，以獲得最大性能。依照環氧樹脂添加固化劑類型的不同最終固化後會產生不同性能與應用，分為以下幾種類型[46-48]：

均聚(Homopolymerization)：環氧樹脂可以在陰離子催化劑或陽離子催化劑的存在下與環氧樹脂反應，形成固化。該過程稱為催化均聚(Catalytic Polymerization)。透過此過程形成的環氧樹脂會表現出耐化學性和耐高溫性，但是其在固化過程需要加熱且會具有脆性。在應用上，當用於紫外線固化塗料時會使用均聚，因為可以使用陽離子紫外線當作催化劑進行紫外線固化環氧樹脂。

胺類(Amine)：在胺類硬化劑中，一級胺( $R-NH_2$ )與環氧樹脂進行加成反應形成羥基和二級胺。二級胺( $RR'-NH$ )再與環氧化物反應形成三級胺( $RR'R-N$ )和羥基，在反應力方面，一級胺反應力為二級胺的 2 倍。因此脂肪胺(Aliphatic Amines)、脂環

族胺(Cycloaliphatic Amines)和芳香胺(Aromatic Amine)均用作環氧硬化劑，而胺類硬化劑會影響固化後的加工性能（黏度）、機械性能和耐熱性。所以可以根據應用的場合選擇不同胺的結構，其中反應能力以脂肪族最快，芳香族最慢，較慢的反應能力可以使操作時間較長，而且芳香族胺會形成比脂肪族胺更多的剛性結構。所以芳香族胺常被當作環氧樹脂的固化劑來使用，因為其具有較佳的性能。但是芳香族胺對健康產生不利影響的擔憂導致脂肪族或脂環族胺作為替代品的使用率增加。

酸酐(Anhydride)：在溫度升高的環境下用環狀酸酐來進行環氧樹脂固化，這個反應只有在環狀酸酐打開後才能發生反應。透過酸酐作為固化劑的環氧樹脂具有低黏度與高包覆的特性，常應用於高壓電絕緣體。

酚類(Phenol)：透過多酚類作為固化劑，例如雙酚 A 或酚醛清漆(Novolac)，可以在溫度升高的環境下（130-180°C）下與環氧樹脂反應。固化後的材料具有醚鍵並且比透過胺或酸酐來進行固化會有較好的抗氧化性和耐化學性。由於許多酚醛是固體狀的，所以這類固化劑會用於粉末的塗料上。

硫醇(Thiol)：透過含有硫的硫醇與環氧基團反應，即使在室溫下，硫也很容易與環氧基團反應。雖然固化後的環氧樹脂通常不具有耐化學或耐熱性，但硫醇的高反應力與不需加熱進行固化，因此其可用於不需要進行加熱固化的應用或者需要非常快速的固化。

在 2002 年，Allaoui[49]透過在環氧樹脂內添加多壁奈米碳管製造出複合材料，從原本相對柔軟和易延展的基質，變成橡膠狀的環氧樹脂。並且去評估添加奈米碳管對整體應力-應變曲線的影響。與純環氧樹脂相比，添加重量為 1% 和 4% 的奈米碳管之複合材料的楊式模數和降伏強度上升至 2 倍以及 4 倍。而電導率對複合材料的測量結果表明，當添加奈米碳管濃度在 0.5wt% 至 1wt% 之間，整體材料從絕緣體轉變成導體。而在 2007 年，Zhang 等人[50]則透過在環氧樹脂內添加碳黑以及已被廣泛用於製造高性能材料的二氧化矽，其中矽碳聚合物樹脂奈米複合材料的電導度會受碳黑與二氧化矽的量影響，甚至當二氧化矽的量太多時，會造成環氧樹脂聚合物交聯程度的降低。而透過探討矽碳聚合物樹脂奈米複合材料，可以

應用在電子設備中[51]，或是作為電磁干擾屏蔽[52]和消散靜電以及壓力和彎曲傳感器[53]。因此環氧樹脂透過添加不同材料製造出複合材料，以應付不同的應用。

## 2.4 光吸收模組

當有一道入射光穿過粒子後，測量穿透粒子後的光，會發現在過程中有部分能量衰減，其中入射光與透射光之間能量的差異稱為消光(Extinction)，此能量的差異為粒子對光的吸收(Absorption)以及散射(Scattering)造成的影響[54, 55]。在 1993 年，Quinten 和 Kreibig 去探討粒子對光的吸收和彈性散射[56]，透過計算奈米尺寸的銀粒子的幾種聚集體的從近紅外到近紫外的總消光損耗光譜，分析了單顆銀粒子消光的結果。然而在 1871 年 Rayleigh 等人[57, 58]提出遠小於光波的單一粒子所產生的散射率，並且發現散射率會與波長的四次方成反比，因此天空看起來是藍色的，因為大氣中的分子及灰塵會散射波長比較短的藍光，遠多於波長比較長的紅光。而在 2006 年，Bond 與 Bergstrom[59]去探討了碳顆粒對光吸收的研究，在 550 nm 波長的顆粒具有吸收截面積為  $7.5 \pm 1.2 \text{ m}^2/\text{g}$ ，且對於吸收強的粒子有高達  $1.95-0.79i$  的複折射係數。因此，對於添加高消光係數的粒子於材料中，可以增加原本材料的遮光效能。

所以當均勻的物質中加入了粒子進去後，不只有原本光均勻的物質中的衰減，還必須考慮到光與粒子之間的作用所造成的影響。圖 2-3 顯示了常見的透過染料摻雜的遮光環氧樹脂和摻雜碳黑的遮光環氧樹脂中光傳播的示意圖。在摻雜碳黑的遮光環氧樹脂中，光就不只有環氧樹脂造成的吸收，在環氧樹脂中的碳黑也會造成吸收，在加入碳黑之後甚至還會造成光在環氧樹脂裡面不斷的反射，導致光在環氧樹脂裡面行走的距離更長了，因此穿透環氧樹脂層的光路徑變更長。通過這種簡單的方法，可以大大降低透光率。



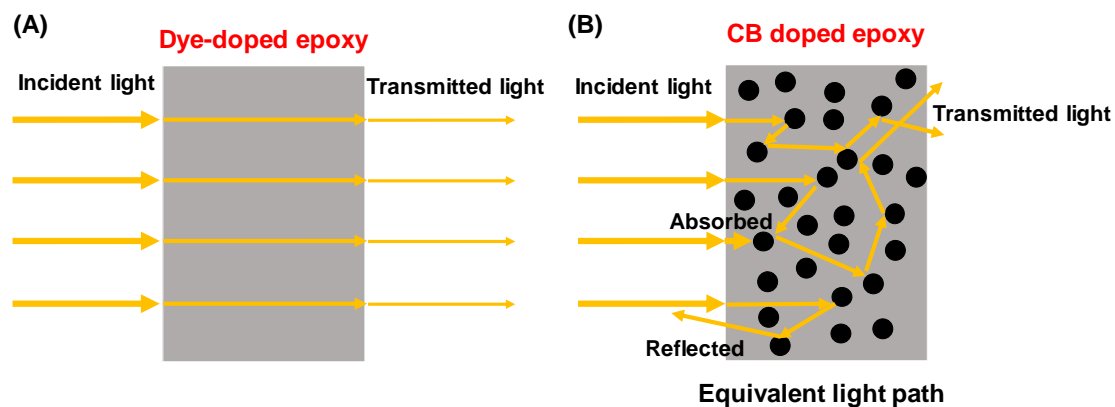


圖 2-3 透過染料摻雜的遮光環氧樹脂(A)和摻雜碳黑的遮光環氧樹脂(B)中光傳播路徑的示意圖。

本研究所使用之新的模型為透過修改 Beer's law 而來，在原本 Beer's law 的模型中，適用於均勻的物質，但是在本研究中原本的環氧樹脂中添加了奈米碳黑，所以當均勻的物質中加入了粒子進去後，光在材料中行進時，不只有原本環氧樹脂所造成的吸收，還必須考慮到光與粒子之間的作用所造成的影響，然而碳黑在裡面的作用不只是因為碳黑具有很高的吸收係數，當光碰撞到碳黑時，光會進行反射，造成光在環氧樹脂裡面不斷的反射，導致光在環氧樹脂裡面行走的距離更長了，因此穿透環氧樹脂層的光路徑變更長。當加入了碳黑顆粒進去後就必須考慮到光與粒子之間的作用。如下列所示：

$$Abs = -\log_{10} \frac{I}{I_0} = k_p c_p L + k_g c_g l \dots \dots \dots (2.16)$$

$k_p$  為粒子的吸收係數

$c_p$  為粒子的濃度

$L$  為膠材的厚度

$k_g$  為膠材的吸收係數

$c_g$  為膠材的濃度

$l$  為加入粒子後最終材料的透射光所增加的等效路徑長

整體公式將吸光分為兩個部分，一部分為粒子的吸收， $k_p$  為粒子的吸收係數，為了測量粒子的吸收係數，必須將粒子分散在不吸收光的溶液中，如乙醇，其中

這包含了光被粒子所吸收以及光被粒子所反射，這兩者皆能有效使得光無法穿透材料，或者是光在不停反射之中最後透射出去這三個部分，另外在公式的第二部分中，利用了會吸光的膠材，也就是 $k_g$ 膠材的吸收係數，造成原本光行進在不會吸收光的溶液中最後透射出的光，也會在行進中因為膠材的吸收而減弱，其中光在不停反射之中所行進的距離即為加入粒子後最終材料的透射光所增加的等效路徑長( $l$ )。

然而碳黑的粒徑大小對於吸光模組中影響部分為碳黑的吸收係數( $k_p$ )以及等效路徑長度( $l$ )，在相同的體積濃度下，26 nm 與 40 nm 的碳黑個數為  $n$ ，透過下列公式

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3 n \dots\dots\dots(2.17)$$

$V$ 為粒子的總體積

$r$ 為粒子的半徑

$n$ 為粒子的個數

即可得知 26 nm 與 40 nm 的碳黑個數相除為 $\frac{n_{26}}{n_{40}} = \frac{40^3}{26^3}$ ，因此可以知道在相同體積濃度下，26 nm 的碳黑比 40 nm 的碳黑多了約 3.64 倍的個數，因此碰撞到 26 nm 的碳黑的機率比碰撞到 40 nm 的碳黑的機率還高，最後造成了等效路徑長度的差異。而且本研究所測量出的結果，也是 26 nm 的碳黑表現比較好。

## 第三章 實驗材料與方法

本章首先將於第一節介紹本研究的製程設計與製作；第二節則對於遮光材料製造流程進行介紹；第三節則對於遮光材料的光學量測系統進行詳細的介紹，包含 UV-Vis、雷射光、強光光學量測系統；第四節則是對於遮光材料的電性量測系統進行詳細的介紹，包含指叉電極、四點探針、介電常數量測系統進行詳細的介紹；最後第五節詳細說明本研究所使用的材料。

### 3.1 製程設計與原理

本研究所開發之薄型遮光材料，透過簡單的加工方法來混合不同比例的碳黑，並將混合好之遮光材料固化於透明玻璃基板上，以利分析添加不同比例碳黑於環氧樹脂中對於遮光效能的差異。本研究同時將混合好之遮光材料，固化於電路板上之指叉狀電極區域上，透過電錶量測添加不同比例碳黑於環氧樹脂中對於電阻特性的差異。

### 3.2 遮光材料之製作

本研究對於製造遮光材料的製程，包括：碳黑的分散方法、材料的混合、遮光材料的製作流程以及最後所要進行量測的樣本的製備流程。如圖 3-1 所示，將於本節進行詳細的描述。

#### 3.2.1 分散碳黑

由於碳黑具有比較大的表面積，容易吸附環境中的水氣，造成碳黑團聚的情形，而且碳黑分散的越好越容易增加碳黑的黑度。而本研究透過將碳黑加入異丙醇後，再利用超音波洗淨機(DC200, Delta, Taiwan)透過超音波振洗的方式來分散碳黑，振洗時間為 10 分鐘，將碳黑分散於異丙醇中。

### 3.2.2 環氧樹脂與碳黑混合

當碳黑分散於異丙醇後，再添加環氧樹脂進去，並且透過攪拌機以轉速 1500 RPM 的情況下攪拌 2 小時，以確保混合材料均勻性。其中添加的異丙醇不只幫助碳黑的分散，對於攪拌製程中，降低環氧樹脂的黏度讓攪拌製程更有利進行，而且因為異丙醇的揮發性，在攪拌的過程中，異丙醇會慢慢揮發。本研究將針對無摻雜以及摻雜 1~7% 之碳黑改質環氧樹脂進行比較。

### 3.2.3 遮光材料製作

接著將混合好後之遮光材料，透過旋轉塗佈機，透過高速旋轉的離心力將材料塗佈於長 75 mm 與寬 25 mm 的玻璃基板上，並透過調整不同轉速以及旋轉時間以控制材料厚度。旋轉塗佈設定參數如下，第一段轉速在 1500 RPM 下持續 10 秒，將遮光材料完整覆蓋到玻璃基板表面上，再透過第二階段在 3000 RPM 下持續 30 秒，控制遮光材料最終所需要之厚度。之後再依造固化條件進行固化，其中單劑型環氧樹脂固化條件為在 125°C 下加熱 1 小時，雙劑型環氧樹脂需將主劑與硬化劑，以體積比 4:1 之比例混合，混和後在 80°C 下加熱 4 小時或是在室溫下放置 24 小時方能完成固化，固化後即可進行之後的光學性能檢測。

然而圖 3-2 顯示了在玻璃基板上滴上商業遮光環氧後呈現照片圖像 (圖 A) 和商購的環氧樹脂 (上半部分) 的照片圖像和摻雜碳黑的環氧樹脂 (下半部分) (圖 B)。在旋塗之前，商用的遮光環氧樹脂非常暗。但是，經過旋塗後，厚度同樣都是 30  $\mu\text{m}$  的情況下，商用的遮光環氧樹脂塗覆的基材看起來是半透明的。相反地，用摻雜碳黑的環氧樹脂塗覆的塗層看起來是黑色和不透明的。

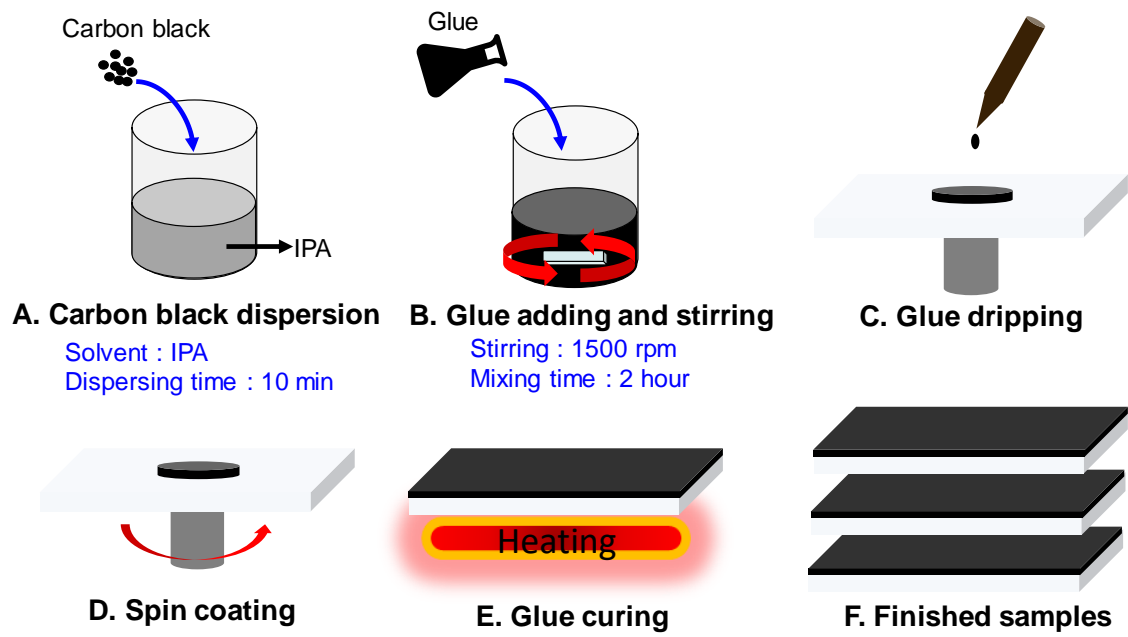


圖 3-1 遮光材料製程方法示意圖。

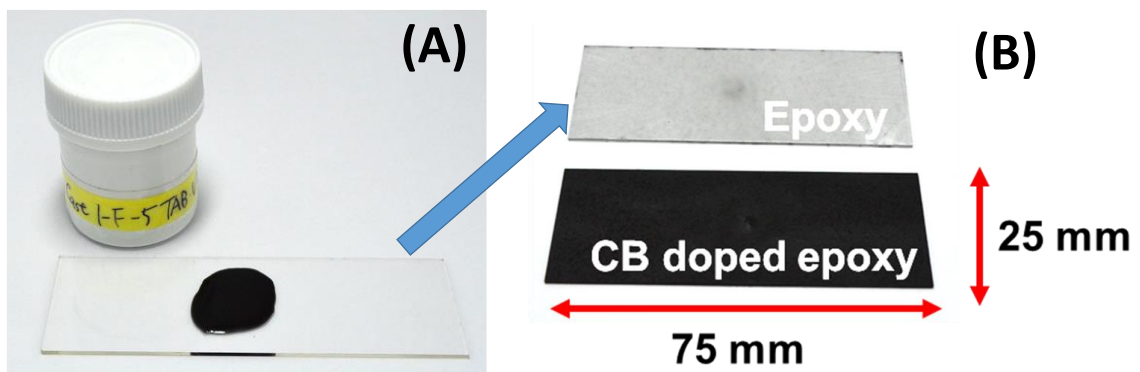


圖 3-2 (A) 旋塗之前的商用遮光環氧樹脂的照片。(B) 在玻璃基板上旋塗後的商用環氧樹脂(上)和摻雜碳黑的環氧樹脂(下)的照片。

### 3.2.4 材料之電性晶片製作

將混合好後之遮光材料，塗於電路板上指叉狀電極區域，並透過電錶與訊號輸出區連接，即可量測到電阻、電容、電感等物理量。電路板示意圖如圖 3-3 所示，長度、寬度以及厚度分別為 3.0 cm、1.0 cm 以及 0.8 mm。透過光學顯微鏡量測出指叉狀電極的線寬約為 25  $\mu\text{m}$ ，電極間距約為 75  $\mu\text{m}$ 。

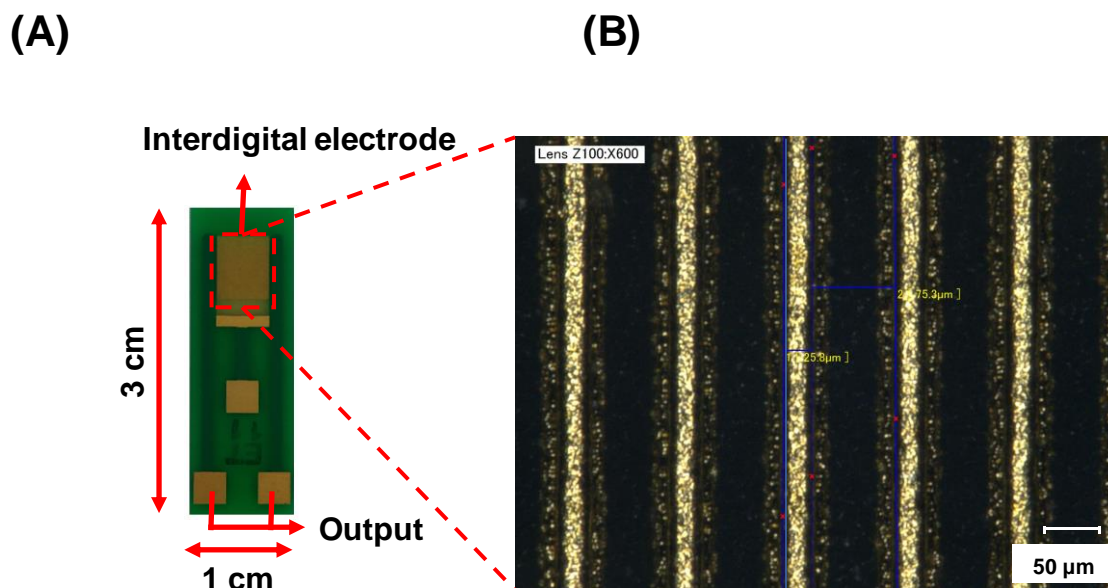


圖 3-3 具有指叉狀電極之電路板示意圖。圖(A)為電路板之示意圖，依電極區域分為指叉狀電極區以及輸出訊號區。圖(B)為透過光學顯微鏡放大指叉狀電極區，並量測指叉狀電極的間距以及線寬的結果圖。

## 3.3 遮光材料之光學測量系統

### 3.3.1 UV-Vis 光學量測架構

雖然可以透過肉眼直接觀察到顏色的深淺，但是肉眼觀察的方式難以針對分析物進行定量的分析，為了對分析物進行精準的定量，透過了圖 3-4 的架構，測出不同波長入射光的強度以及透射光的強度，其中將吸光度定義為兩者的比值取對數後的值，光穿透度為兩者的比值。計算公式如公式(3.1)所表示，其中 Abs 為吸光度，T 為光穿透度， $I_0$  為入射光強度，I 為透射光強度。

$$\text{Abs} = -\log_{10} \frac{I}{I_0} = -\log_{10} T \dots \dots \dots (3.1)$$

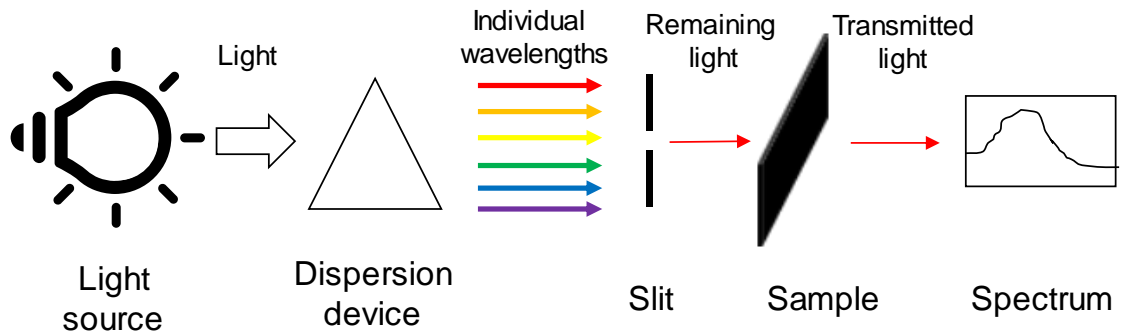


圖 3-4 UV-Vis 分光光度法量測架構圖。利用濾光鏡調整色調後，再透過狹縫變成單一特定波長，之後入射樣本後透過偵測器轉換為訊號，比較特定波長入射光的強度以及透射光的強度，即可繪製成吸收光譜。

本研究為了分析遮光材料之光學特性，使用了 UV-Vis 光學量測系統，該系統可以用來快速比較調配好之遮光材料的遮光性能光學量測系統如下圖 3-5 所示，光譜儀(HR4000, Ocean Optics, USA)所接收之訊號，會由鹵素光源(DT-mini-2, Ocean Optics, USA)進行發射，之間會經過兩個集束器(74-UV, Ocean Optics, USA)、兩條光纖(P50-1-UV-VIS, Ocean Optics, USA)之間再透過一個固定器進行連接，固化在玻璃上之樣本放置於固定器上，因此鹵素光源發出的光就會經過樣本，透射出的光會被光譜儀接收，光譜儀接收到之訊號會透過 OceanView 軟體進行資料的計算。

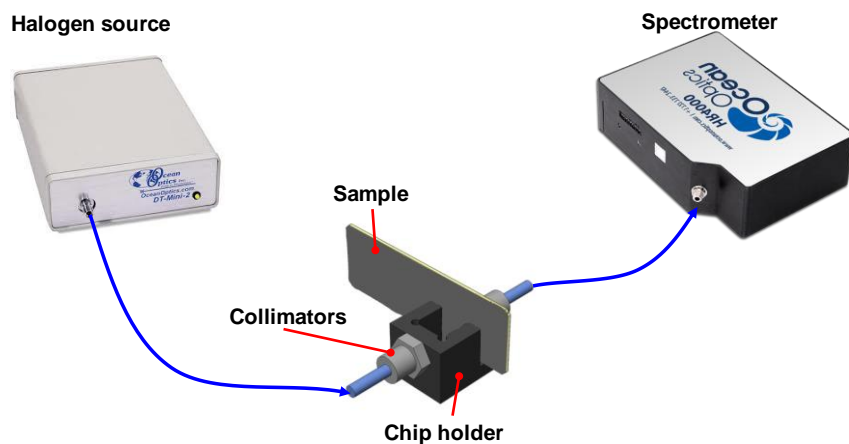


圖 3-5 本研究所採用的 UV-Vis 光學量測架構。其中包含儀器的連接方式以及樣本的固定方式。

### 3.3.2 自行架設之光學量測架構

對於本研究所開發之遮光材料，因為 UV-Vis 光學量測系統的光源微弱，在 UV-Vis 光學量測系統下很容易就能量測到遮光率小於 99%，因此本研究架設一個比 UV-Vis 光學量測系統更嚴格的方法去量測，並且分析材料遮光效能。強光光學量測系統如下圖 3-6 所示，圖(A)為透過一個紅光雷射作為發射光源，因雷射發散度極小、所以雷射的亮度很高。圖(B)為透過一個高瓦數之鹵素燈泡(MR16 12 V 35 W, Philips, Holland)作為發射光源，兩者最後皆由一台光功率計(PM100D, Thorlabs, USA)之光學感測元件接收光源並透過螢幕顯示所接收到的光強度，其光學感測元件之光圈直徑為 1 cm 比起 UV-Vis 光學量測系統之光源直徑 1 mm，可以偵測的面積比 UV-Vis 光學量測系統大了 100 倍，最後將固化在玻璃上之遮光材料貼於光功率計上之光學感測元件，即可得到經過遮光材料所剩下的光，並透過公式(3.1)即可將量測到的功率值轉換成光吸收度或者是光穿透率。

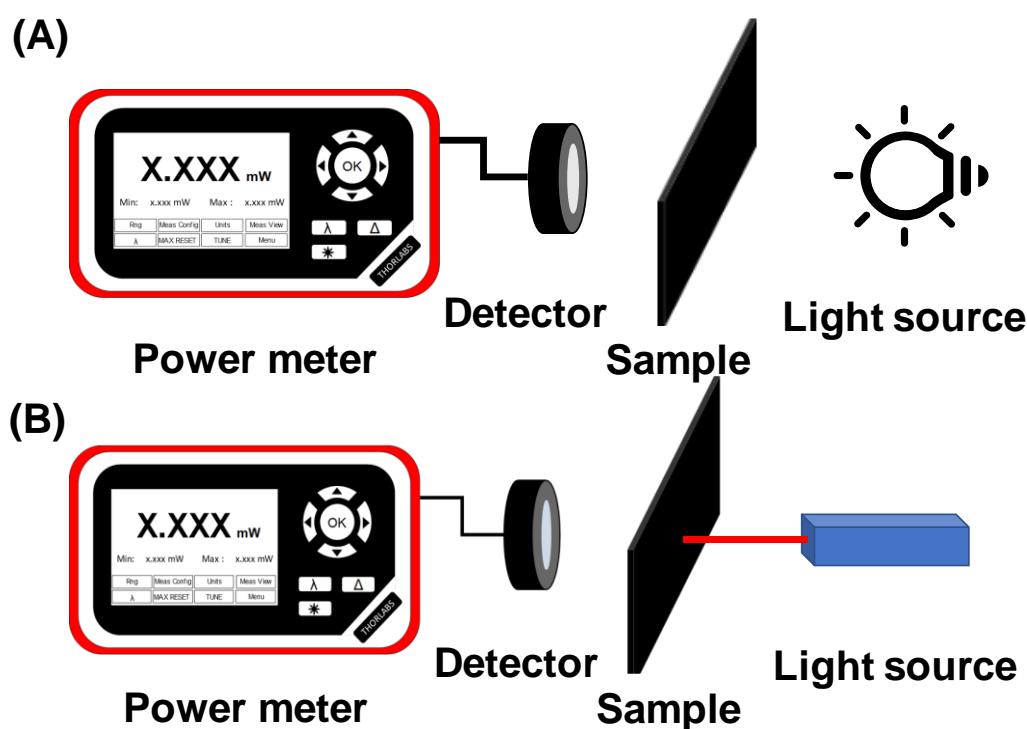


圖 3-6 本研究所採用的強光光學量測架構。其中利用了(A)高亮度的雷射光源與(B)大功率之鹵素燈以及可量測特定波長之光功率計。



### 3.4 遮光材料之電性測量系統

#### 3.4.1 指叉電極量測架構

本研究為了量測遮光材料之電性，將混合好之遮光材料塗於電路版上之指叉狀電極區域。電性量測系統如下圖 3-7 所示，透過三用電表以及 LCR 攜帶式電錶 (Keysight-U1733C, Keysight, USA) 連接塗有遮光材料的感測晶片的導線，接著量測直流以及交流訊號下(1 kHz)之材料電阻值。

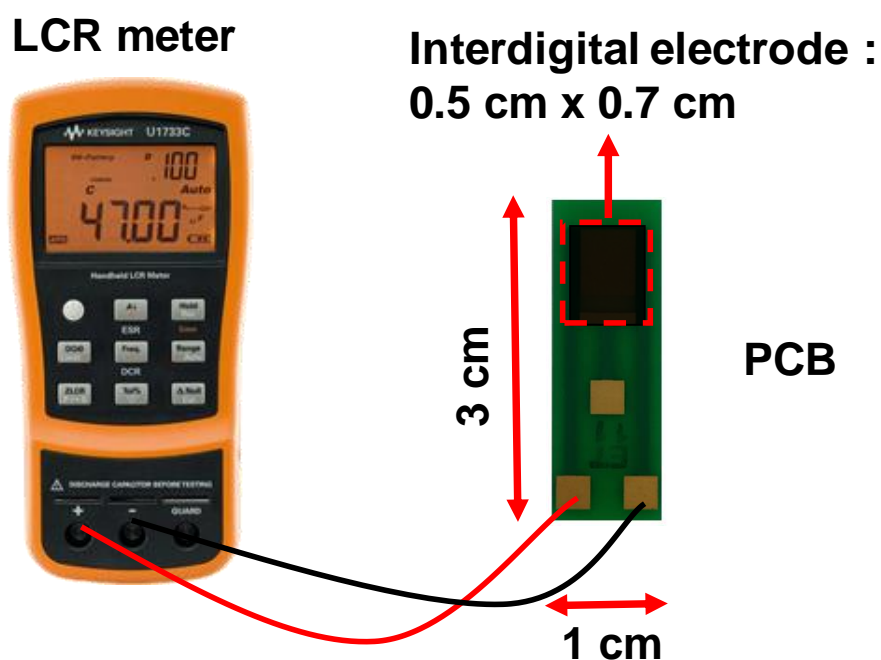


圖 3-7 本研究所採用的量測遮光材料電阻值之示意圖。

#### 3.4.2 四點探針量測架構

透過三用電錶的兩點探針即可簡單量測到材料的電阻，但是材料的電性檢測卻難以用三用電錶量測，因為兩點探針對於電流的提供以及電壓的測量都是使用同樣的兩根探針。因此本研究透過了四點探針，其中兩根探針提供電流，另外兩根探針進行電壓量測。透過四根探針接觸薄膜表面，並施加電流以及量測電壓，即可透過公式(3.2)得知薄膜電阻率。

$$R = \rho \frac{L}{A} = \rho \frac{L}{wt} = R_s \frac{L}{W} \dots \dots \dots (3.2)$$

R 為電阻值

$\rho$  為電阻率

A 為截面面積，截面面積為寬度 W 和厚度 t 之乘積

L 為長度

$R_s$  為片電阻值

為了了解遮光材料之片電阻，片電阻量測系統如下圖 3-8 所示，透過四點探針量測系統量測塗在玻璃基板上之遮光材料的片電阻值，其探針頭由四根探針組成，且四根探針之間的距離相等。當探針接觸在導電薄膜材料上面時，就能藉由電錶顯示出材料的片電阻值。以及透過輸入薄膜的厚度、面積大小以及厚度大小，即可量測出材料之電阻值、片電阻率、體電阻率、電導率之大小。而片電阻的量測在薄膜以及半導體產業上，為常見的方法，只要固定厚度，就能經片電阻值判斷不同摻雜條件對晶片的影響。而本研究中，透過片電阻值的量測，可以得知碳黑摻雜的量對於材料所造成的影響。

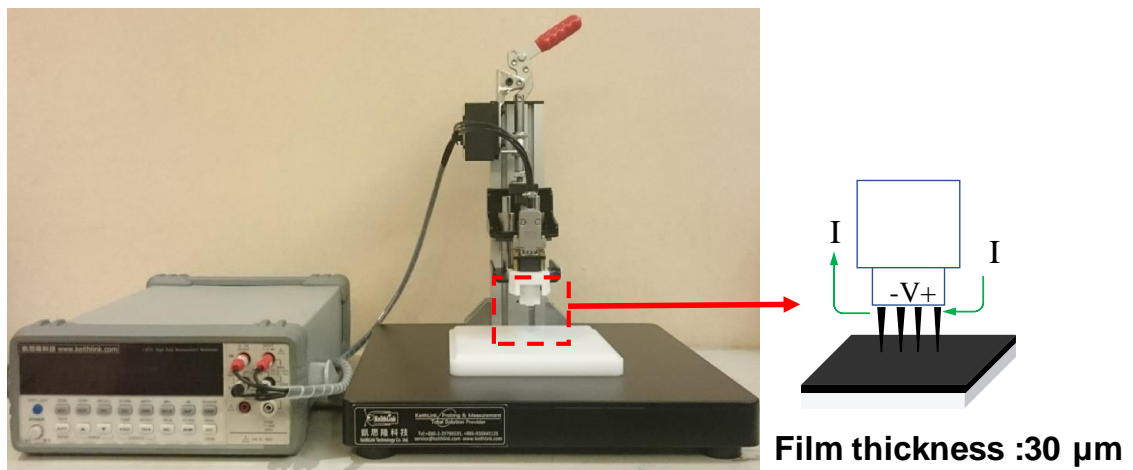


圖 3-8 本研究所採用的量測遮光材料片電阻值之示意圖。

### 3.4.3 介電常數量測架構

本研究為了量測遮光材料之介電係數，將混合好之遮光材料製作成厚度為 500  $\mu\text{m}$  與面積為  $1\text{ cm}^2$  大小之試片，並且將樣本表面磨平，在樣本雙面塗滿導電銀膠，在塗導電銀膠的過程中須注意不能使兩面的導電銀膠接觸到，並在兩面接上銅線，導電銀膠固化後即可進行量測。將樣品固定好在氮氣循環機載台上，將載台上的訊號端點與銅線連接，並透過使用 LCR 攜帶式電錶(Agilent E4980A Precision LCR Meter, Agilent Technologies Inc, USA)，其頻率範圍從 20 Hz 到 2 MHz，與電腦控制軟體進行，並透過平行版電容原理來量測介電常數，以下列式子表示：

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r A / d \dots\dots\dots(3.3)$$

C 為電容大小

$\epsilon_0$  為真空中的介電常數，其值為  $8.854 \times 10^{-12}$  F/m，

$\epsilon_r$  為樣品的介電常數

A 為平行板面積

d 為兩電極板間的距離

### 3.5 實驗材料

本研究主要所使用的材料分為兩種類。一種為膠材的部分，膠材所使用的為環氧樹脂系列，分別是單劑型的環氧樹脂與雙劑型的環氧樹脂；另一種為添加進去膠材的奈米材料，分別是粒徑大小為 26 nm 碳黑與粒徑大小為 40 nm 的碳黑。本研究所使用之碳黑也與平常用於印表機所使用之碳粉進行比較，如圖 3-9 所示，圖(A)為放大倍率為 60000 倍之碳黑顆粒，其粒徑大小約為 26 nm 左右、圖(B)為放大倍率為 60000 倍之碳黑顆粒，其粒徑大小約為 40 nm 左右、(C)放大倍率為 1000 倍之碳球，其粒徑大小約為 10  $\mu\text{m}$  左右。圖(D)為放大倍率為 1000 倍之碳球，其粒徑大小約為 3  $\mu\text{m}$  左右，可以看出碳黑顆粒與一般碳顆粒差了 75~250 倍的大小。

表 3-1 本研究所使用之膠材。

產品名稱	產品型號	黏度(cP)	固化條件	公司
環氧AB膠	471-5LLHV (UL)	25000 ~ 30000	80°C for 2 hrs	JASDI CHEMICAL CO., LTD.
單液環氧膠	EI-Cast 1-F-5 TAB V0	100,000	125°C for 1 hr	JASDI CHEMICAL CO., LTD.

表 3-2 本研究所使用之奈米碳黑。

產品名稱	產品型號	粒徑(nm)	吸油量 (ml/100g)	公司
26 nm 碳黑	G34-KE-7805	26	138	HOMYTECH CO., LTD.
40 nm 碳黑	NCB-030	40	300	Golden Innovation Business CO., LTD.

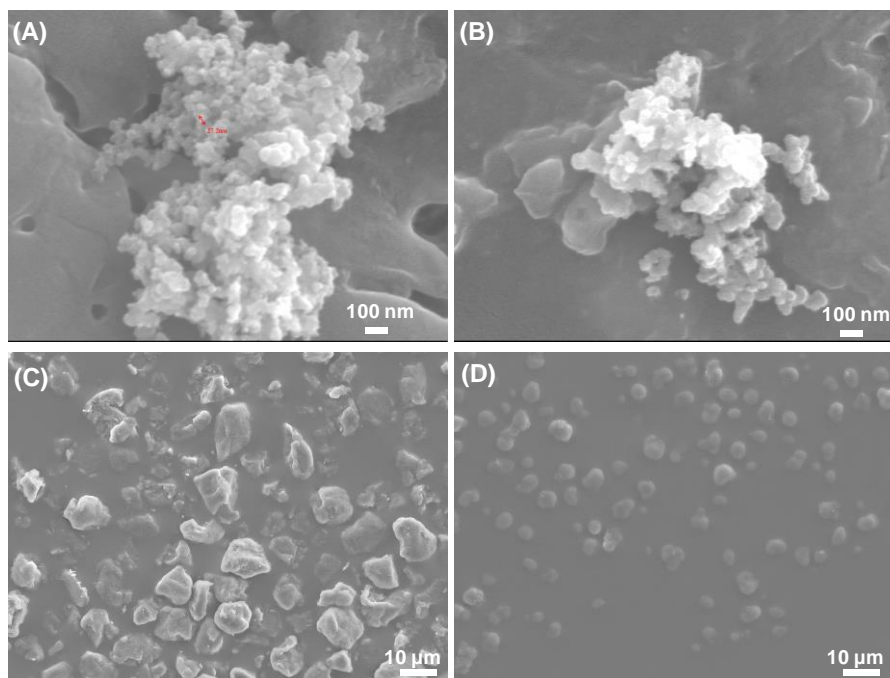


圖 3-9 碳顆粒之 SEM 影像圖。(A)粒徑大小約為 26 nm 的碳黑顆粒、(B)粒徑大小約為 40 nm 的碳黑顆粒、(C)粒徑大小約為 10 $\mu$ m 之碳球、(D)粒徑大小約為 3  $\mu$ m 之碳球。

## 第四章 實驗結果與討論

### 4.1 材料特性分析

本研究研究碳黑的分散性以及碳黑跟環氧樹脂間的混合性，並透過傅立葉轉換紅外光譜 (Fourier-transform Infrared Spectroscopy, FTIR) 分析材料的官能基，以及量測材料的吸收係數。

#### 4.1.1 碳黑的分散結果

本研究為了將碳黑分散於溶液中，透過沉降實驗針對碳黑在不同溶液中的分散效能進行分析，如圖 4-1 所示，在這 10 種溶液中加入 0.05 g 的碳黑後，再透過超音波振洗 10 分鐘將碳黑分散於溶液中，之後透過攝影機進行縮時攝影紀錄 72 小時來比較碳黑在不同溶液中的分散性。圖(A)為一開始透過超音波振洗 10 分鐘後將碳黑分散於溶液中的時間，圖(B)為經過 1 分鐘後，可以看到溶液為甲苯時，沉澱的速度是最快速的，碳黑已經沉澱了超過一半，而乙醇加入十二烷基硫酸鈉 (Sodium Dodecyl Sulfate, SDS) 以及乙醇加入山梨糖醇單油酸酯(Span-80)這兩種溶液從最頂端可以看出，裡面的碳黑也開始沉澱。其中仔細觀察的話，可以看到甲醇溶液的顏色漸漸變淡，表示裡面的碳黑也有沉澱的現象，但是還是有顆粒比較小的懸浮在溶液中，所以呈現灰色。圖(C)為經過 10 分鐘後，甲苯裡面的碳黑只剩一些顆粒漂浮在溶液中，而乙醇加入十二烷基硫酸鈉的碳黑已經沉澱至一半，乙醇加入山梨糖醇單油酸酯的碳黑大部分都沉澱。圖(D)為經過 1 小時後，乙醇加入十二烷基硫酸鈉的碳黑快沉澱完畢，而可以看到甲醇溶液還是有顆粒比較小的懸浮在溶液中，所以還是呈現灰色。圖(E)為經過 24 小時後，甲苯、乙醇加入十二烷基硫酸鈉、乙醇加入山梨糖醇單油酸酯這三種溶液裡面的碳黑已經完全沉澱，甲醇溶液呈現出的顏色又變淡了一些。圖(F)為經過 72 小時後，可以看到原本顏色漸漸變淡的甲醇溶液裡面的碳黑已經完全沉澱，所以溶液的顏色變回了透明的。所以從結果顯示出碳黑因為本身帶有極性官能基(羥基、羧基)在碳黑表面，因此可

以在極性溶液中保持良好的分散性，而在非極性溶液，碳黑容易團聚在一起最終沉澱在試管底部。而在可以經過 72 小時仍然具有良好的分散性，也足以用在攪拌製成當中。

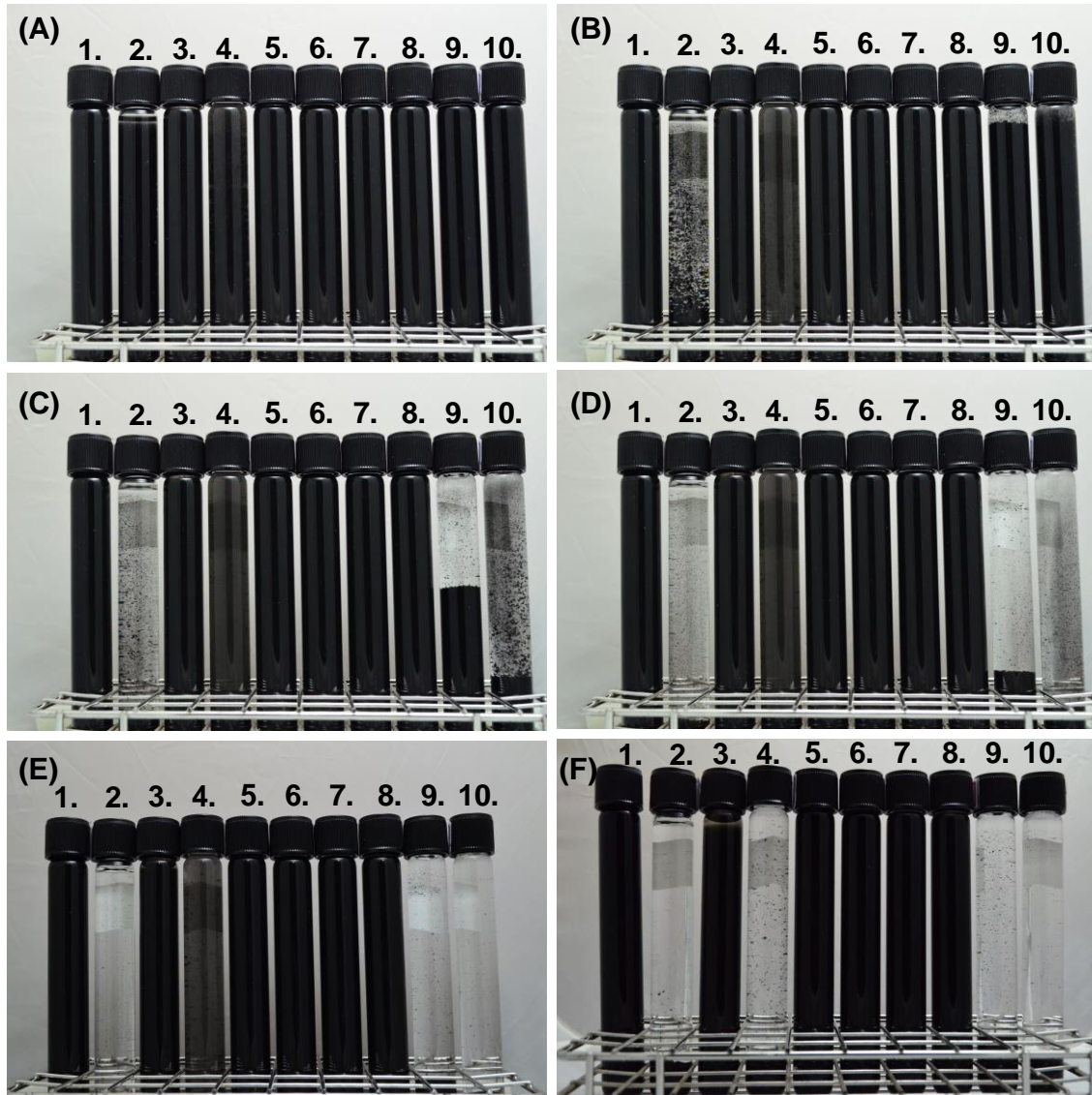


圖 4-1 添加 0.05 g 碳黑在 10 種不同溶液中，分別為 1. 16 ml 水、2. 16 ml 甲苯、3. 1 ml 甲醇加 15 ml 水、4. 16 ml 甲醇、5. 16 ml 乙醇、6. 16 ml 異丙醇、7. 16 ml 丙酮、8. 0.05 g 十二烷基硫酸鈉加入 16 ml 水中、9. 0.05 g 十二烷基硫酸鈉加入 16 ml 乙醇中以及 10. 山梨糖醇單油酸酯加入 16 ml 乙醇中的分散結果，以及經過時間為(A)碳黑剛分散完畢、(B) 1 分鐘、(C)10 分鐘、(D) 1 小時、(E) 24 小時、(F) 72 小時之後的結果。



在了解到不同溶液當作碳黑之分散劑的結果後，本研究挑選了異丙醇當作分散溶液來使用，異丙醇比起乙醇、丙酮具有比較高的沸點，但仍然具有揮發性。而挑選異丙醇當作碳黑之分散劑，不只能夠有效分散碳黑，還能夠降低攪拌製程中環氧樹脂的黏度，使整個攪拌製程更加容易操作，且在攪拌的當中，異丙醇所具有的揮發性，會造成異丙醇慢慢的揮發，因此不會對原本的材料造成不良的影響。而圖 4-2 為將碳黑與環氧樹脂混合完畢後，透過控制旋轉塗佈轉速在 3000 rpm 下旋塗 30 s，並分別塗佈在長為 75 mm 寬為 25 mm 的玻璃基板上的結果。圖(A)為沒有添加分散溶液，直接將碳黑與環氧樹脂進行攪拌 2 小時。結果顯示出，碳黑並沒有被完整的分散開來，從照片上可以觀察到還具有凝聚在一塊的大顆粒在表面上。圖(B)為添加異丙醇當作分散溶液分散完後再一起進行攪拌 2 小時的結果。結果顯示出，添加異丙醇當作分散溶液後，碳黑被完整的分散開來，從照片上無法觀察到凝聚在一塊的大顆粒在表面上的情形。

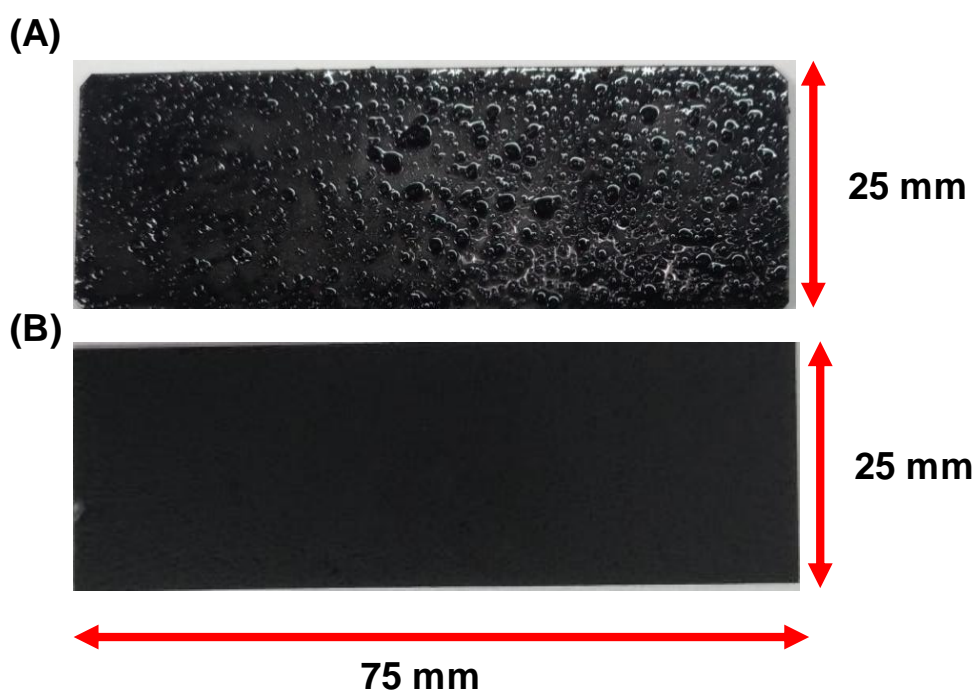


圖 4-2 將碳黑與環氧樹脂混合完畢後，透過旋塗在玻璃基板的影像圖。(A)為未添加分散劑直接進行混合，(B)為添加異丙醇當作分散溶液。

在知道碳黑分散結果後，也去比較了未加溶劑的碳黑跟環氧樹脂與加了溶劑後的碳黑跟環氧樹脂攪拌 2 個小時後固化的結果，將固化後的樣本進行包埋，並將表面磨平後進行電子顯微鏡的拍攝，如圖 4-3 所示，未添加溶劑中的碳黑顆粒無法良好的分散開，還可以看見具有較大的顆粒存在，而添加異丙醇為溶劑的碳黑跟環氧樹脂固化後。碳黑顆粒有較好的分散效果。

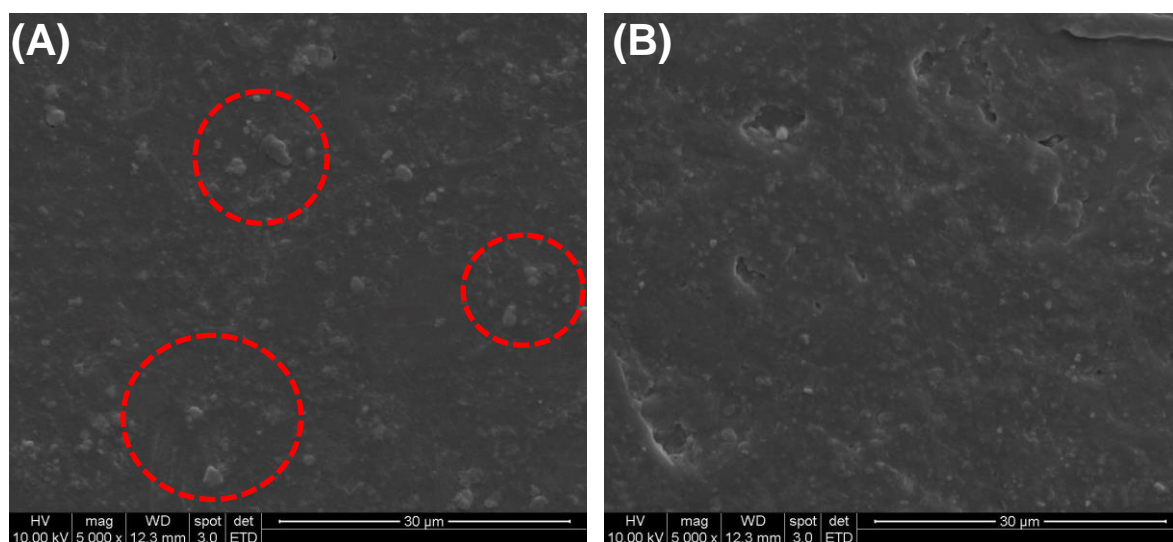


圖 4-3 碳黑跟環氧樹脂混合並固化後的 SEM 影像圖。(A)未添加溶劑。(B)添加異丙醇作為溶劑。

#### 4.1.2 碳黑與環氧樹脂的 FTIR 圖

為了確定碳黑以及環氧樹脂的基本組成，如化學鍵結以及官能基的種類。透過傅立葉轉換紅外光譜，透過傅立葉轉換的方式，將數據轉換成實際的光譜，得到強度對頻率的關係圖。本研究利用傅立葉轉換紅外光譜對碳黑以及環氧樹脂進行比較，樣本製備為將碳黑粉末與溴化鉀(KBr)粉末以重量百分比 1:50 之比例混和，並透過壓片器將樣本壓成直徑為 13 mm、厚度為 2 mm 的錠劑，以及將環氧樹脂與混合好之遮光材料塗於矽基板上進行拍攝。實驗結果如圖 4-4 所示。圖 4-4(A)顯示兩種不同粒徑的碳黑，具有相同的官能基，分別是在  $600\text{ cm}^{-1}$  吸收表示含有  $\text{sp}^2$  的 C-H 鍵，在  $1100\text{ cm}^{-1}$  有烷基與氧原子的 C-O 鍵，在  $1220\text{ cm}^{-1}$  含有羧酸上的 C-O



鍵，在  $1578\text{ cm}^{-1}$  表示有 C=C 鍵，在  $2917\text{ cm}^{-1}$  表示有  $\text{sp}^3\text{CH}_2$  的吸收光譜，在  $3500\text{ cm}^{-1}$  左右也具有 O-H 的吸收光譜，證明了碳黑表面具有極性的官能基。圖 4-4(B) 顯示在環氧樹脂中比碳黑多了在  $826\text{ cm}^{-1}$  的 C-H 鍵、在  $2864\text{ cm}^{-1}$  以及  $2962\text{ cm}^{-1}$  的 C-H 與 C-H<sub>3</sub> 鍵、在  $3433\text{ cm}^{-1}$  的 N-H<sub>2</sub> 鍵，其中單劑型的環氧樹脂比起雙劑型的環氧樹脂在  $1730\text{ cm}^{-1}$  多了 C=O 鍵。而混合後的吸收光譜顯示由於環氧樹脂佔了一大部分的，所顯示的吸收光譜由環氧樹脂所主導。透過紅外線吸收光譜可以得知本研究所使用的碳黑以及環氧樹脂皆具有極性的官能基，而極性分子間容易混在一起，因此本研究得以用碳黑對環氧樹脂進行摻雜。

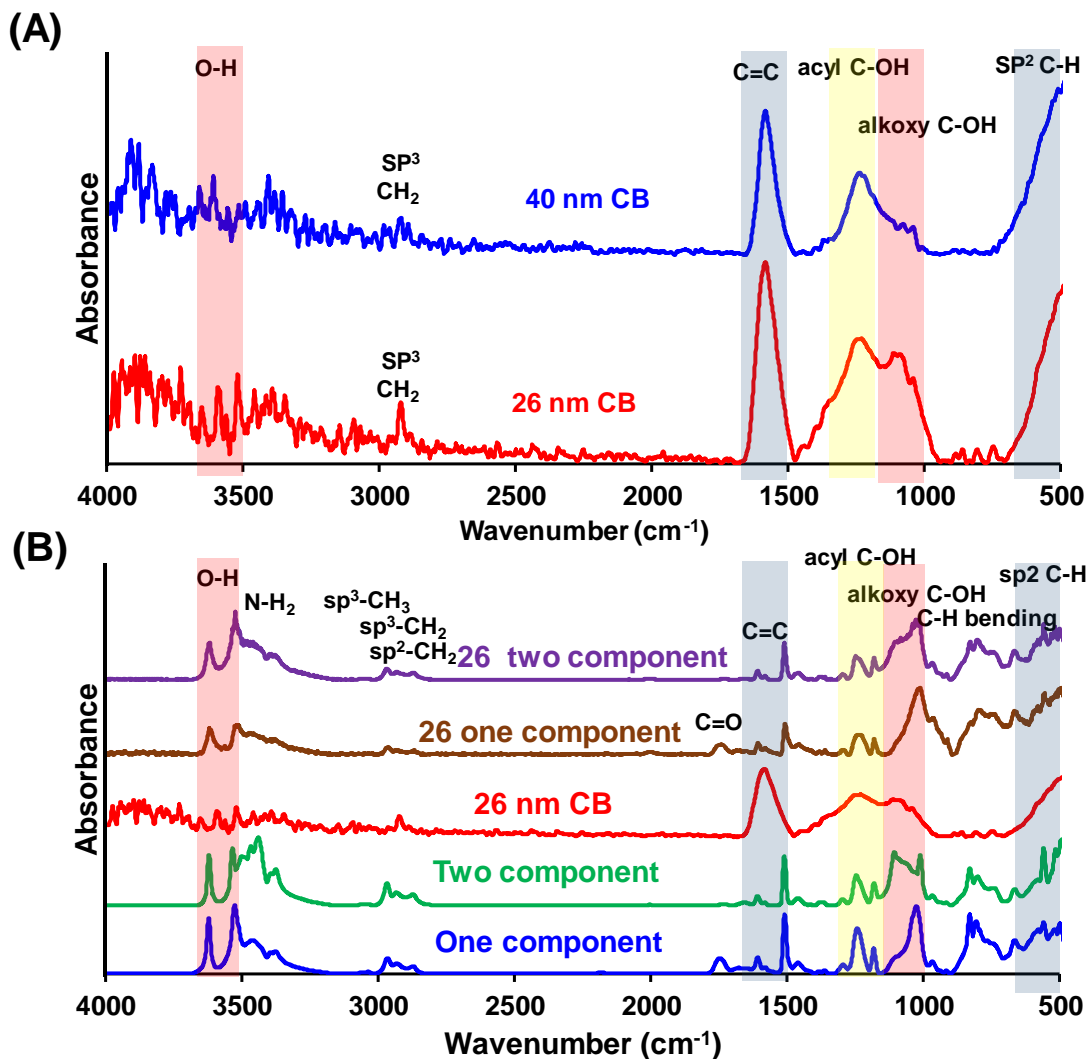


圖 4-4 FTIR 光譜圖。圖(A)為 26 nm 與 40 nm 壓錠後之紅外線吸收光譜。圖(B)為單劑型、雙劑型環氧樹脂以及分別添加碳黑後之紅外線吸收光譜。

### 4.1.3 碳黑與環氧樹脂之吸收係數

為了了解碳黑的吸收係數，透過將不同濃度的 26 nm 以及 40 nm 的碳黑分散在乙醇中，並裝入厚度為 1 公分的比色管中，最後透過 UV-Vis 的量測，測量出不同濃度與吸光度的關係。利用粒徑大小為 26 nm 以及 40 nm 的碳黑分別調配出 30 ppm、40 ppm、50 ppm 三種不同濃度，如圖 4-5 所示，橫坐標為波長，縱座標為量測到之吸光度，結果顯示出同樣濃度時粒徑大小為 26 nm 的碳黑比 40 nm 的碳黑具有比較高的吸光度。當同樣粒徑大小的碳黑但是濃度不同時，結果顯示出不管是 26 nm 的碳黑還是 40 nm 的碳黑濃度越高吸光度越大。且在本實驗當中為了減少溶液對光的吸收造成的影響，選擇了乙醇當作溶液，首先也對乙醇進行量測後，乙醇在波長為 400~800 nm 的吸收皆為 0，顯示出乙醇不會對波長在 400-800 nm 的光進行吸收，不會對實驗造成測量誤差。

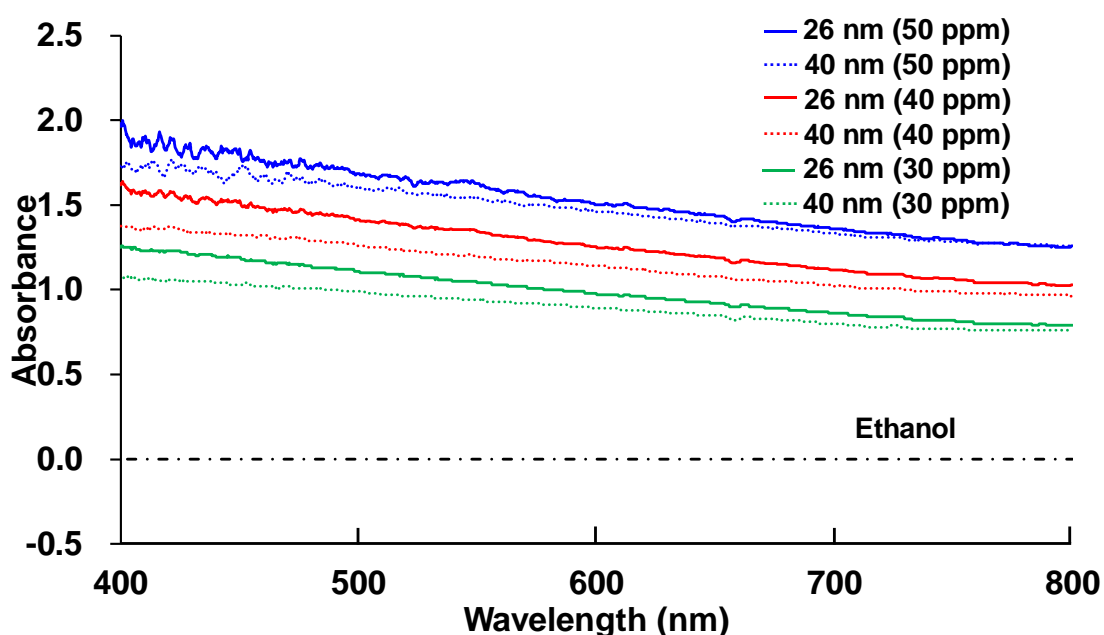


圖 4-5 不同粒徑大小與濃度的碳黑之吸光度與波長的關係圖。

在有了吸收度、濃度、厚度之後，就能透過公式(2.4)找出吸收係數與波長之間的關係。如圖 4-6 所示，橫坐標為波長，縱座標為吸收係數。結果顯示出 26 nm 的

碳黑比 40 nm 的碳黑具有比較高的吸收係數。而吸收係數也呈現出不管是 26 nm 的碳黑還是 40 nm 的碳黑，在短波長時，具有比較高的吸收係數。而在長波長時，具有比較低的吸收係數。

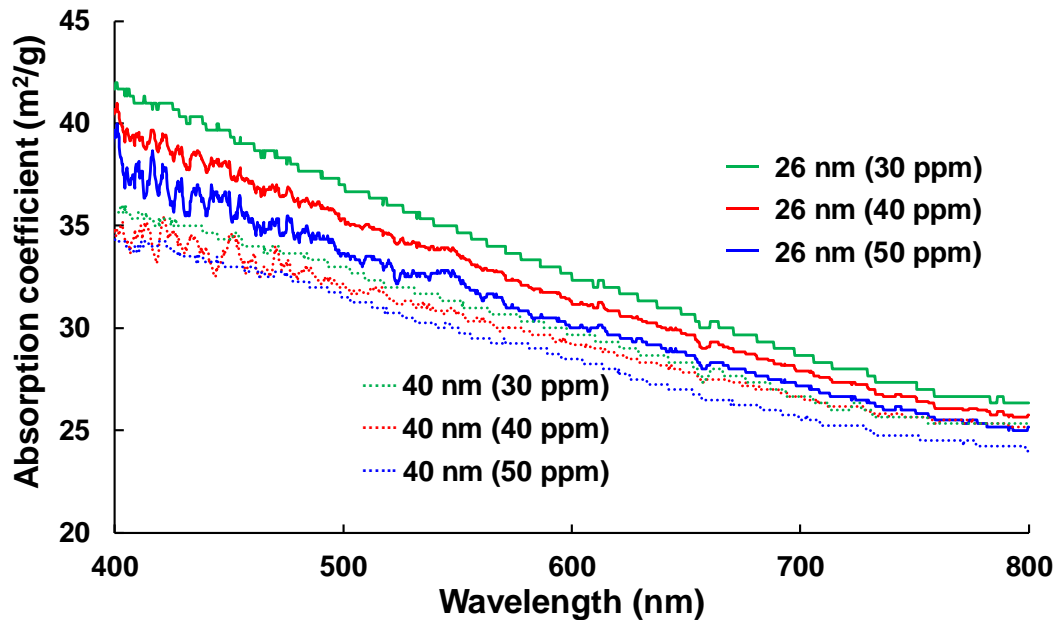


圖 4-6 不同粒徑大小與濃度的碳黑之吸收係數與波長的關係圖。

在製作不同厚度的單劑型環氧樹脂與雙劑型環氧樹脂，因為是均質材料所以其濃度會保持不變，而在進一步得知吸收度與厚度之後，一樣能透過 Beer's Law 公式(2.4)找出單劑型環氧樹脂與雙劑型環氧樹脂的吸收係數。如圖 4-7 所示，橫坐標為厚度，材料厚度從 30  $\mu\text{m}$  到 300  $\mu\text{m}$ ，縱座標為吸收係數。結果顯示出雙劑型環氧樹脂比起單劑型環氧樹脂具有比較高的吸收係數，單劑型環氧樹脂的吸收係數為 0.633 m<sup>2</sup>/g 以及雙劑型環氧樹脂的吸收係數為 1.239 m<sup>2</sup>/g。而其中不管是單劑型環氧樹脂還是雙劑型環氧樹脂在厚度逐漸變厚的情況下，吸收係數也不會跟著隨之變大或變小，因吸收係數為材料本身的特性，並不會被厚度影響。

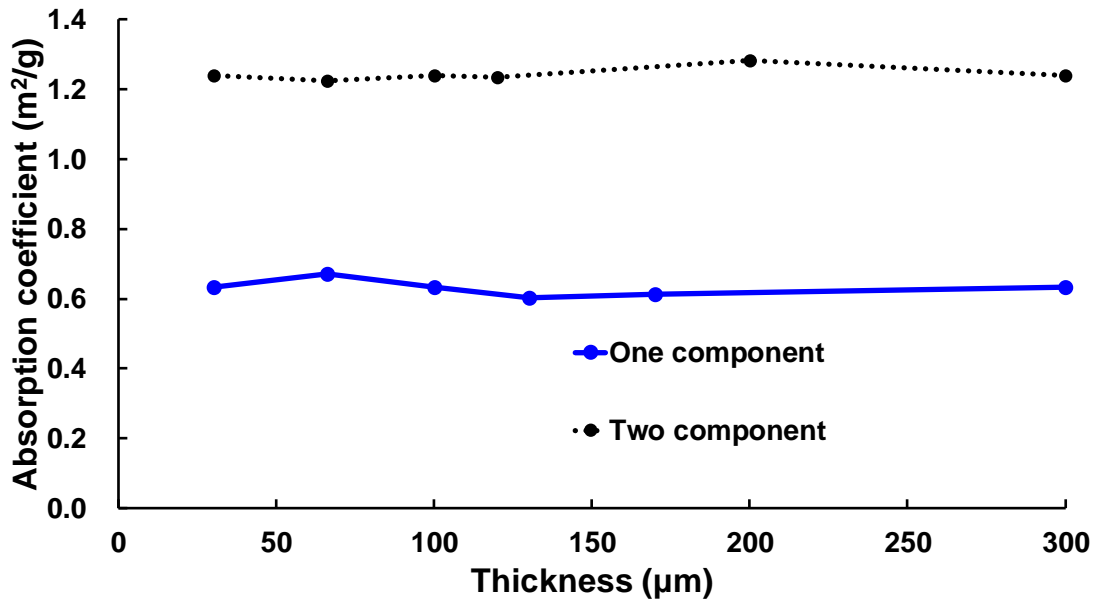


圖 4-7 單劑型與雙劑型兩種環氧樹脂之吸收係數與厚度關係圖。

#### 4.1.4 等效光路徑長度

透過公式(2.16)的吸光模組，可以知道碳黑在環氧樹脂中，不只扮演吸收的角色，還因為其具有很大的表面積，當光線在材料之中行進時，碰撞到碳黑粒子的機率會非常高，當碰撞到碳黑粒子後又會產生部分吸收與部分反射，當在固定厚度材料裡面反射次數越多，在材料裡面行走的路徑也就越長，雖然材料都是固定厚度大小，但是添加碳黑量的多寡就會影響到碰撞到的機率。當添加越多碳黑時，等效光路徑長度就會越長。所以透過吸光模組，可以知道當添加不同體積的碳黑之後會產生多少的等效光路徑長度。圖 4-8 顯示了在 30 µm 的厚度下，分別添加體積百分比 1~7% 的 26 nm 的碳黑與體積百分比 1~7% 的 40 nm 的碳黑的等效光路徑長度關係圖。橫坐標為添加碳黑的體積百分比濃度，縱座標為等效光路徑長度。結果顯示出每加入體積比 1% 的 26 nm 的碳黑，等效的光路徑長度會增加約 90 µm 的長度。在加入體積比 1% 的 26 nm 的碳黑其等效的光路徑長度為 120 µm，而原本厚度只有 30 µm，相當於增加為 4 倍的厚度；而每加入體積比 1% 的 40 nm 的碳黑，等效的光路徑長度會增加約 70 µm 的長度。在加入體積比 1% 的 40 nm 的碳黑其等

效的光路徑長度為 100  $\mu\text{m}$ ，而原本厚度只有 30  $\mu\text{m}$ ，相當於增加為 3.3 倍的厚度。因此，透過添加碳黑能夠大大地減低厚度，並且同時保有一樣的效能。然而，26 nm 的碳黑與 40 nm 的碳黑的等效的光路徑長度差異在於，在同樣的體積百分比下，粒徑為 26 nm 的碳黑比起 40 nm 的碳黑還存在比較多的粒子，而在當光行走在同樣的空間下，因為粒子比較多的一方造成光碰撞到的機率也變大了，在光碰撞到粒子後容易造成反射，且反射後也有機會繼續碰撞到下一顆粒子。因此，粒徑越小的顆粒其造成的等效的光路徑長會越長。而在圖中碳黑體積比在大於 4% 時，實驗值與預測值的之間的差異為量測儀器的誤差。因為在添加 2% 至 3% 的碳黑時，光的強度已經剩不到 1%。而當繼續添加碳黑時，光的強度可能會剩不到 0.1% 甚至 0.01%，而儀器所具有的偵測極限，使儀器無法偵測到如此低亮度的光源。因此，在添加碳黑的體積百分比濃度在大於 4% 時等效的光路徑長度的實驗值，才會趨於平緩。而在碳黑添加量為 0% 時，等效光路徑長度會等於環氧樹脂本身的厚度。

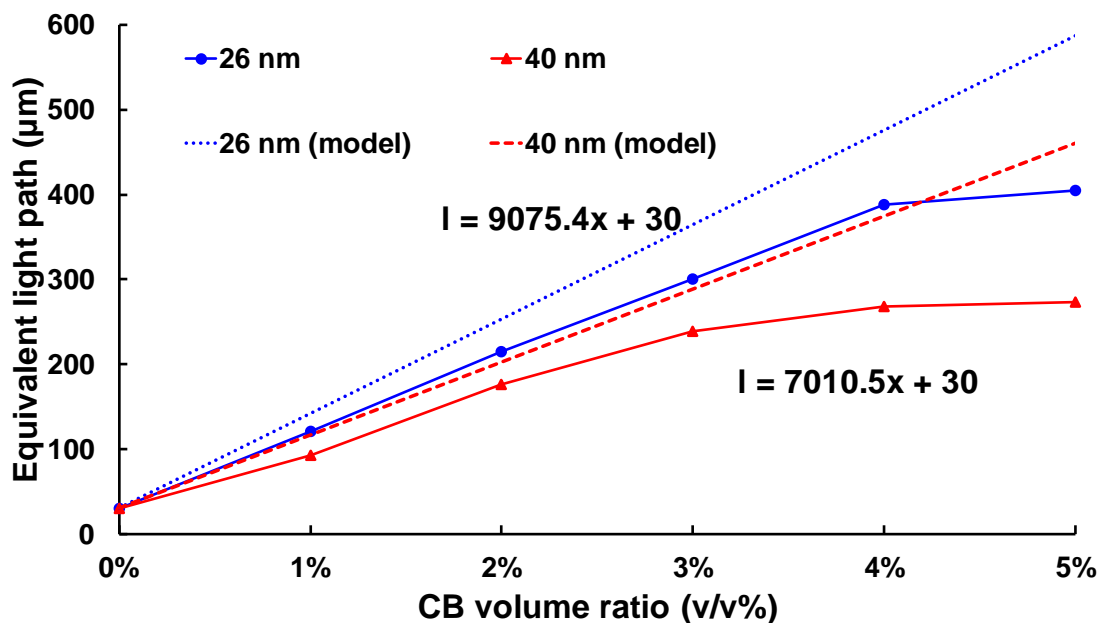


圖 4-8 在 30  $\mu\text{m}$  的厚度下，分別添加體積百分比 1~7% 的 26 nm 的碳黑與 40 nm 的碳黑的等效光路徑長度。

### 4.1.5 光吸收模組

從公式(2.16)得知，只要有粒子的吸收係數、膠材的吸收係數、整體的厚度以及上一節所得出之等效光路徑長度，就能夠得知吸光度與添加碳黑後的關係。透過以知的碳黑吸收係數，其中 26 nm 的碳黑為  $35.08 \text{ m}^2/\text{g}$ 、40 nm 的碳黑為  $32.17 \text{ m}^2/\text{g}$  以及單劑型與雙劑型的環氧樹脂的吸收係數分別為  $0.633 \text{ m}^2/\text{g}$  以及  $1.239 \text{ m}^2/\text{g}$ ，而從上一節得知碳黑體積百分比與光的等效路徑長的關係，以及將整體材料厚度訂為  $30 \mu\text{m}$  的厚度下，可以得知吸光度與添加碳黑比例後的關係。如圖 4-9 所示，26 nm 的碳黑具有比較高的吸收係數。因此，不管是單劑型還是雙劑型的環氧樹脂添加 26 nm 的碳黑比添加 40 nm 的碳黑都具有比較好的遮光性能。其中從模型可以預測出，其中添加體積為 2.4% 的 26 nm 的碳黑在單劑型中，就能從原本 64% 的透光率降低至 1%；而添加體積為 3.1% 的 40 nm 的碳黑在單劑型中，就能從原本 64% 的透光率降低至 1%。另外添加體積為 1.2% 的 26 nm 的碳黑在雙劑型中，就能從原本 42% 的透光率降低至 1%；而添加體積為 2.4% 的 40 nm 的碳黑在雙劑型中，就能從原本 42% 的透光率降低至 1%。而雙劑型的遮光效能比單劑型的遮光效能好，則為本身基礎材料特性的差異。

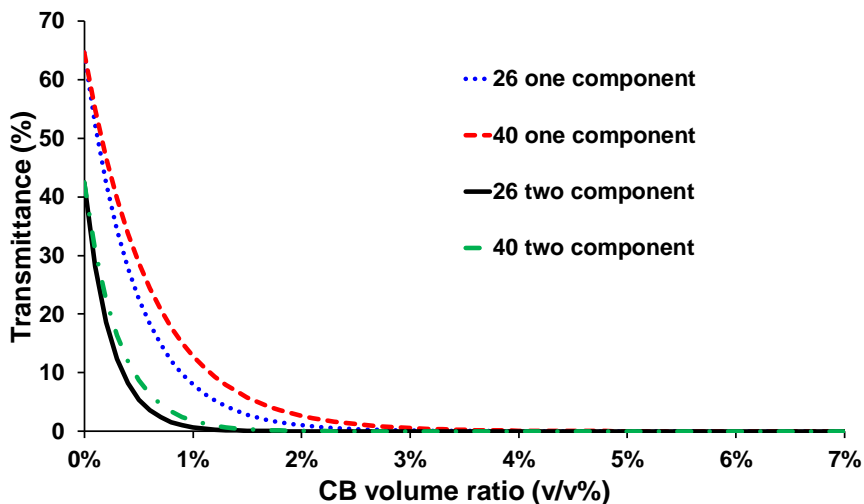


圖 4-9 在光吸收模組下，在單劑型與雙劑型環氧樹脂分別添加體積百分比 1~7% 的 26 nm 的碳黑與 40 nm 的碳黑的吸光度。

## 4.2 材料的遮光性能分析

要作為一個良好的遮光材料，需要具有相當低的透光率(需小於 1%)。因此本研究不只透過常見的 UV-Vis 光學量測系統，也自行架設一套更嚴格的測試方法，利用了高能量的紅光雷射與高功率的鹵素杯燈作為光源使用，並針對材料光學特性進行深入的研究分析。

### 4.2.1 遮光材料的 UV-Vis 光學量測

本小節為了解市面上之遮光材料與本研究之複合材料的遮光性能，首先透過 UV-Vis 量測系統量測了不同厚度的市面上之遮光材料與本研究之複合材料。圖 4-10 顯示了雙劑型的環氧樹脂，在不同厚度下的光穿透率。結果顯示，在 30  $\mu\text{m}$  厚度的環氧樹脂光穿透率在 3~4%，在 45  $\mu\text{m}$  厚度的環氧樹脂光穿透率大約在 1.5~4%，而當環氧樹脂的厚度要大於 80  $\mu\text{m}$  才能達到穿透率小於 1% 以下，可以發現隨著厚度變薄，光穿透率也隨之上升。

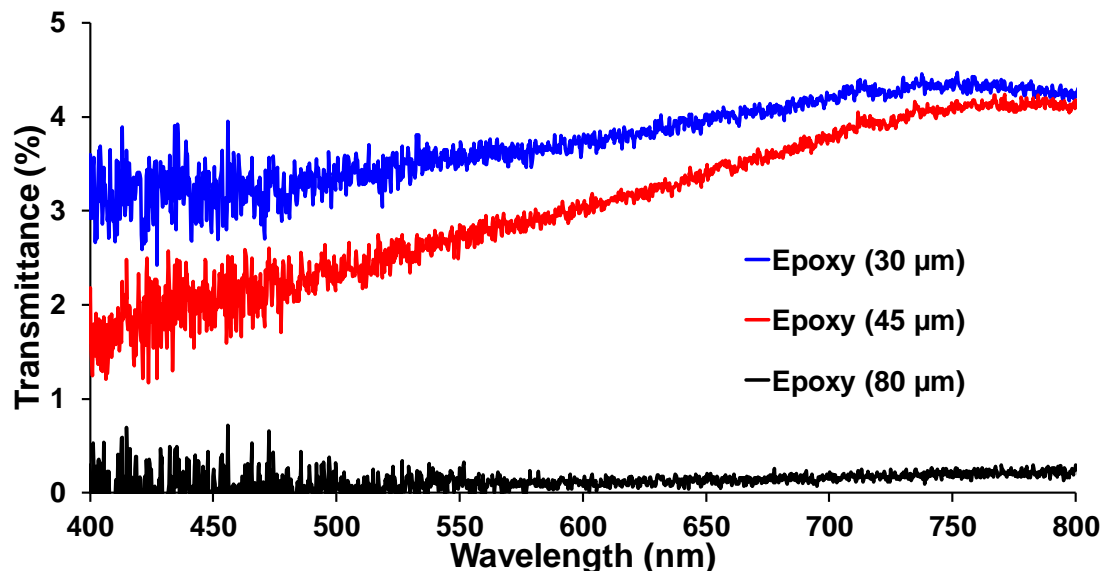


圖 4-10 雙劑型的環氧樹脂，在不同厚度下的光穿透率。

然而在只有環氧樹脂時，在厚度變很薄時，光穿透率就上升的問題，然而為了改善光穿透率的問題，透過添加粒徑為 40 nm 的碳黑進入環氧樹脂當中，並透



過 UV-Vis 量測系統量測光穿透率。圖 4-11 顯示了添加粒徑為 40 nm 的碳黑後，並透過旋塗做出三種不同的厚度。分別為 35  $\mu\text{m}$ 、25  $\mu\text{m}$ 、21  $\mu\text{m}$  厚的複合材料。其中橫坐標為波長，縱座標為光穿透率。結果顯示，不管是厚度為 35  $\mu\text{m}$ 、25  $\mu\text{m}$  還是 21  $\mu\text{m}$  的遮光材料，皆具有很低的光穿透率，其光穿透率皆小於 1%。甚至在厚度非常薄的情況下，只有 21  $\mu\text{m}$  厚的遮光材料就足以將光穿透度降低至 1% 以下，比起單純只有環氧樹脂時需要將厚度保持在 80  $\mu\text{m}$  以上才能達到光穿透率小於 1% 以下。因此透過 UV-Vis 量測系統的量測，可以初步證明添加碳黑進入環氧樹脂的方法是有效的，將原本在 30  $\mu\text{m}$  厚度的環氧樹脂之光穿透率，透過添加碳黑進入環氧樹脂的方法，將光穿透率從 3~4% 降至 1% 以下。

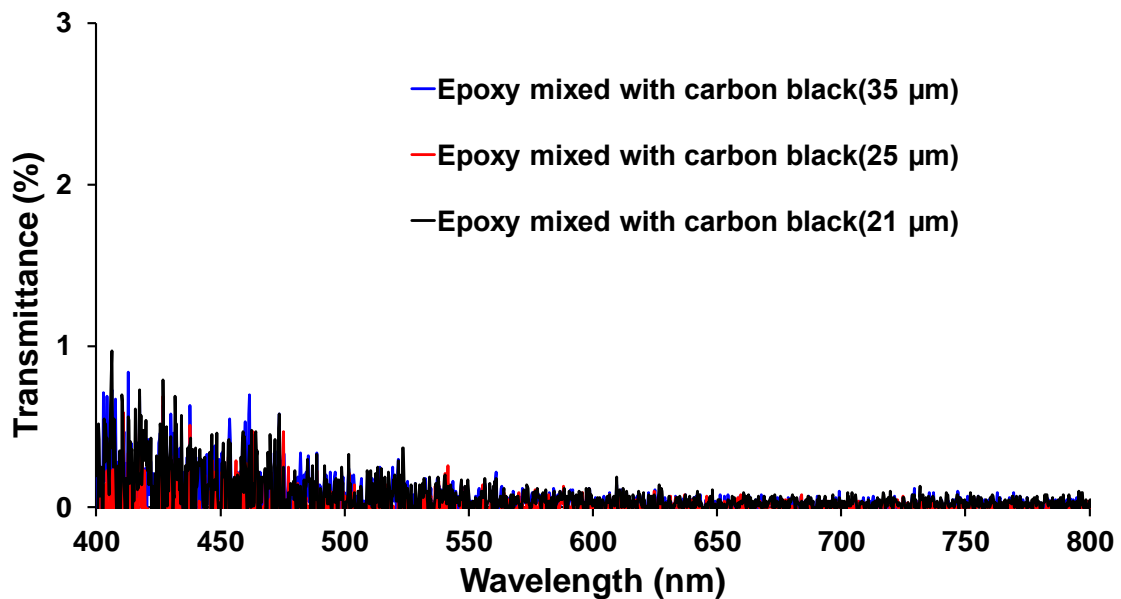


圖 4-11 在雙劑型環氧樹脂中添加 3% 的 40 nm 的碳黑後的複合材料，在不同厚度下的光穿透率。

#### 4.2.2 遮光材料的雷射光光學量測

在前一節發現到，對於本研究所開發之遮光材料，因為在 UV-Vis 光學量測系



統量測時，其量測系統所使用的光源微弱。因此，在 UV-Vis 光學量測系統下很容易就能量測到遮光率小於 99%，所以 UV-Vis 光學量測系統在本研究當作一個初步的評估系統，然而也證實了添加碳黑進入環氧樹脂的方法是有效的。因此，本實驗採用了一個比較嚴格的方法來檢驗材料的遮光性能，透過波長為 635 nm 的紅雷射，而直接照射到光偵測器的讀數為 51 mW，在中間加入 30  $\mu\text{m}$  厚的遮光材料後所偵測到的讀數，再轉換至光穿透度。如圖 4-12 所示，橫坐標為添加碳黑的體積百分比濃度，縱座標為光穿透度。因為雷射光具有比較強的能量造成光穿透度的上升，在添加 1% 的 26 nm 以及 40 nm 的碳黑在單劑型中，就能從原本 64% 的透光率降低至 15.7% 以及 27.2% 的透光率，而添加 3% 的 26 nm 的碳黑就能達到穿透率小於 1% 以下，添加 5% 的 40 nm 的碳黑就能達到穿透率小於 1% 以下。在雙劑型中添加 1% 的 26 nm 以及 40 nm 的碳黑，能夠將原本 42% 的透光率降低至透光率 3.3% 以及 9.5%，而添加 2% 的 26 nm 的碳黑就能達到穿透率小於 1% 以下，添加 3% 的 40 nm 的碳黑就能達到穿透率小於 1% 以下。

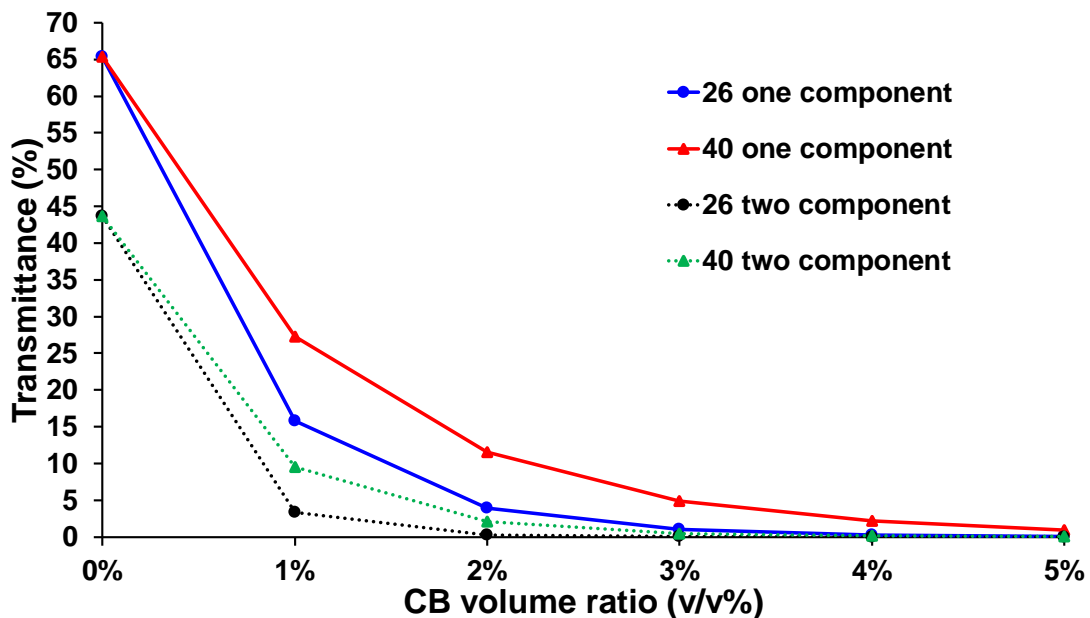


圖 4-12 在 30  $\mu\text{m}$  厚度下，透過雷射光光學量測系統量測摻雜了不同體積比的 26 nm 和 40 nm 碳黑於單劑型和雙劑型的環氧樹脂之透光率。

### 4.2.3 遮光材料的強光光學量測

在發現到，對於本研究所開發之遮光材料，因為在 UV-Vis 光學量測系統量測時，其量測系統所使用的光源微弱。一般 UV-Vis 的測量方式所使用為 1~3 W 的光源，但是一般 UV-Vis 的測量方式比較適合測量材料的特性，因此本研究所架設之測量方法為透過測量面積比較大，並且更為嚴格的檢測方法將光源的功率從 2 W 開始慢慢提升至 12 W，以分析材料的遮光效能。本節為透過使用大功率的鹵素杯燈當作光源。首先量測了市面上的遮光材料，分別單劑型環氧樹脂。如圖 4-13 所示，為單劑型環氧樹脂在不同厚度下，所量測到的光強度值。橫坐標為鹵素杯燈所施加的功率，縱座標為光功率所接收到之光強度值。其中先測量一片空白玻璃的玻璃基板當作基準值(Dummy)，之後在開始量測不同厚度下的單劑型環氧樹脂的光強度值。結果顯示出，當材料越厚時，能夠遮擋比較多的光，所以量到的光強度就越小。反之，材料越薄時，透射過去的光會比較多，所以量到的光強度值就越大。

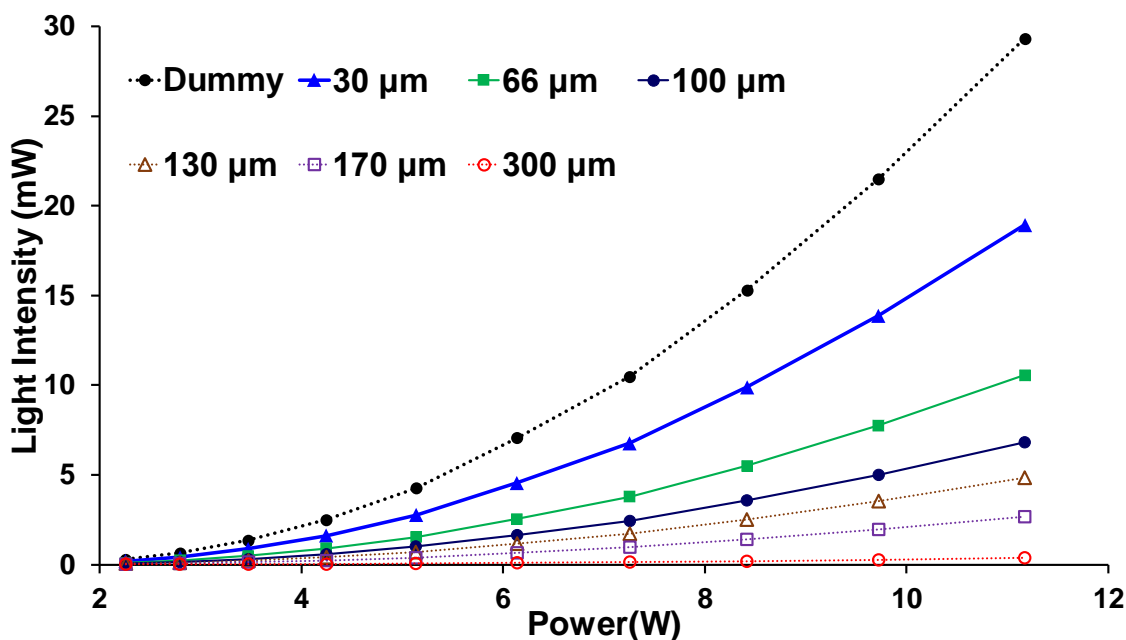


圖 4-13 強光光學量測系統量測不同厚度下單劑型環氧樹脂的光強度。

接下來量測了市面上的遮光材料，為雙劑型環氧樹脂。如圖 4-14 所示，為雙劑型環氧樹脂在不同厚度下，所量測到的光強度值。橫坐標為鹵素杯燈所施加的功率，縱座標為光強度值。其中先測量一片空白玻璃的玻璃基板當作基準值，之後在開始量測不同厚度下的雙劑型環氧樹脂的光強度值。結果顯示出，當材料越厚時，能夠遮擋比較多的光，所以量到的光強度就越小。反之，材料越薄時，透射過去的光會比較多，所以量到的光強度值就越大。

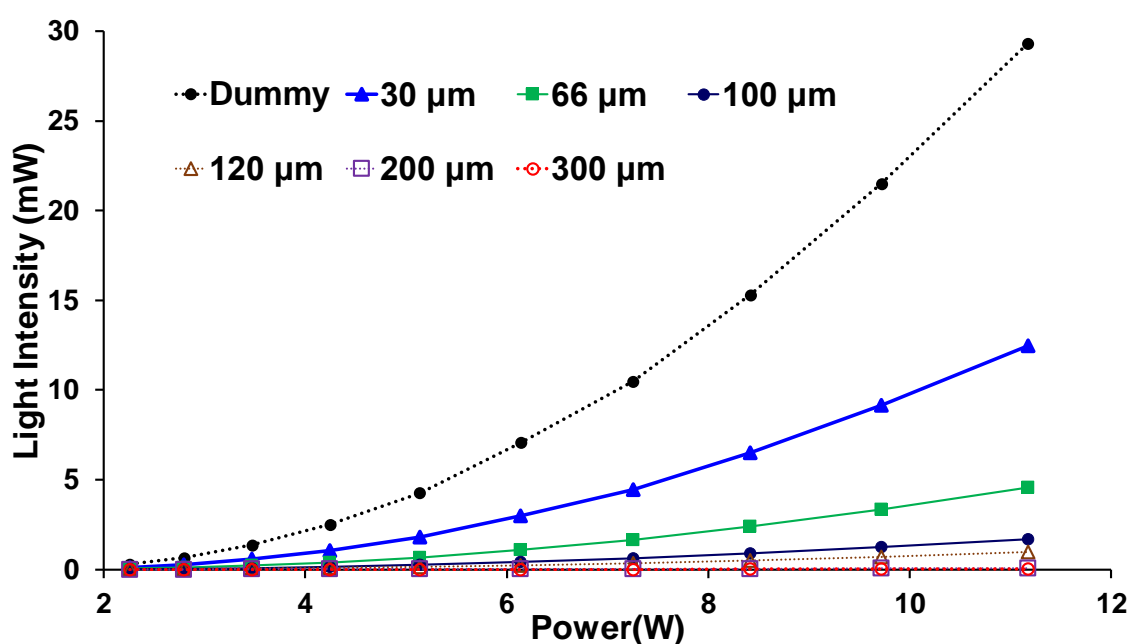


圖 4-14 強光光學量測系統量測不同厚度下雙劑型環氧樹脂的光強度。

當量測到單劑型與雙劑型的光強度值之後，再透過轉換之後，極能得到光穿透率如圖 4-15 所示，橫坐標為單劑型以及雙劑型的環氧樹脂的厚度，縱座標為光穿透度。在厚度比較薄的時候(30 μm)，單劑型的環氧樹脂光穿透度高達 64%；雙劑型的環氧樹脂光穿透度高達 42%，而在厚度逐漸提升時，光穿透度才逐漸下降，最後單劑型的環氧樹脂必須要 300 μm 後才能達到穿透率小於 1% 以下，而雙劑型的環氧樹脂必須要 200 μm 後才能達到穿透率小於 1% 以下。因此可以證明本研究所架設的光學量測系統比起 UV-Vis 光學量測系統可以更加嚴格的去分析材料的遮光效能。

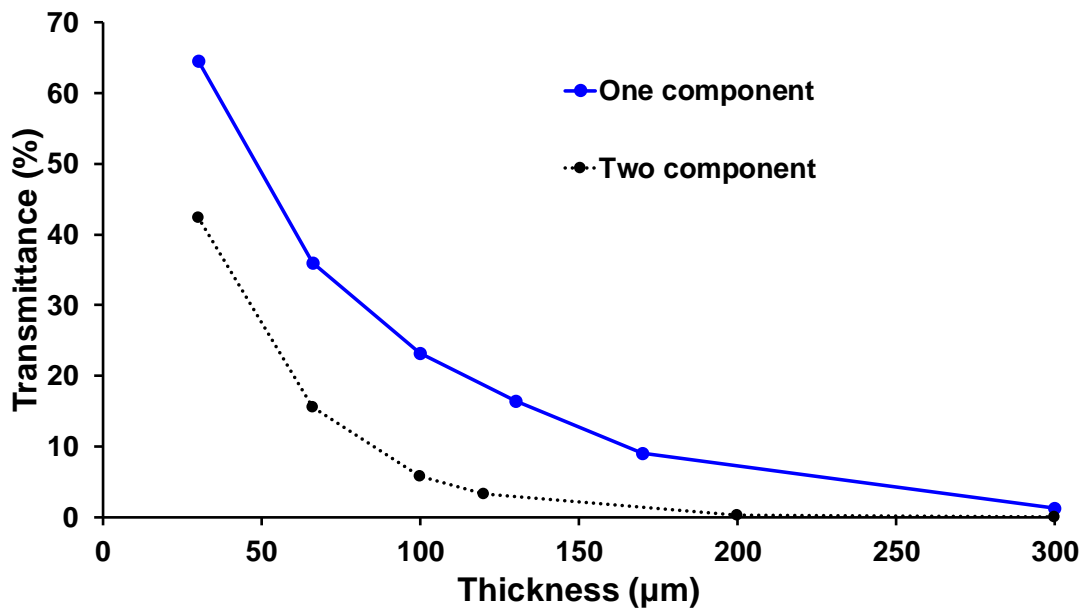


圖 4-15 強光光學量測系統量測量測不同厚度下單劑型與雙劑型的環氧樹脂的光穿透率。

同時也利用了此光學量測系統分析本研究所開發之遮光材料的遮光性能。圖 4-16 顯示了在 30 μm 的厚度下，添加粒徑為 26 nm 以及 40 nm 的碳黑在單劑型與雙劑型的環氧樹脂中，添加量為體積百分比 1~7% 的碳黑。橫坐標為碳黑添加的體積百分比濃度，而縱座標為光穿透度。結果顯示出添加 26 nm 碳黑的遮光效能比添加 40 nm 碳黑的遮光效能好，雙劑型的遮光效能比單劑型的遮光效能好。其中添加 1% 的 26 nm 以及 40 nm 的碳黑在單劑型中，就能從原本 64% 的透光率降低至 7.8% 以及 13.9% 的透光率，而 26 nm 的碳黑添加至 3% 就能達到穿透率小於 1% 以下，40 nm 的碳黑添加至 4% 就能達到穿透率小於 1% 以下。在雙劑型中添加 1% 的 26 nm 以及 40 nm 的碳黑，能夠將原本 42% 的透光率降低至 8% 以及 14% 的透光率 1.3% 以及 4.2%，而 26 nm 的碳黑添加至 2% 就能達到穿透率小於 1% 以下，40 nm 的碳黑添加至 3% 就能達到穿透率小於 1% 以下。證明了本研究所開發之遮光材料能夠在厚度較薄時(30 μm)也能夠有效遮擋光。

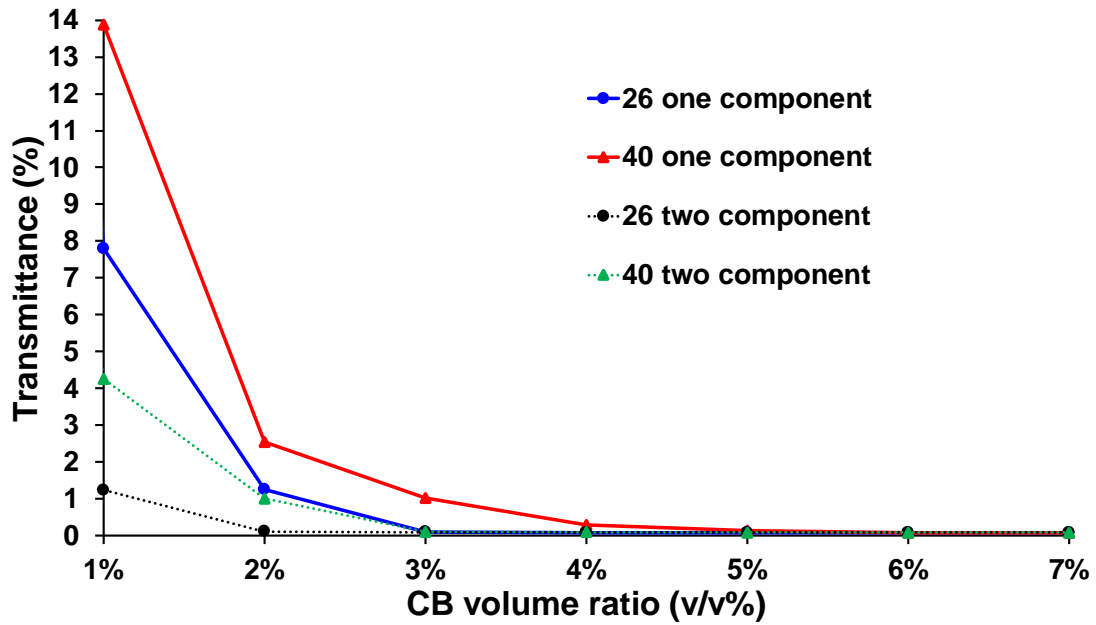


圖 4-16 強光光學量測系統量測摻雜了不同體積比的 26 nm 和 40 nm 碳黑於單劑型和雙劑型的環氧樹脂之透光率。

有了實驗值後可以對光吸收模組進行驗證，如圖 4-17 顯示，實驗後所量測的值與光吸收模組的值的趨勢吻合，可以證明本研究所提出之光吸收模組，在還沒實際操作時，就能預先知道在添加碳黑時，需要多少的量才能將光穿透率降至 1% 以下。以及可以知道當需要配出不同的遮光率時，需要添加碳黑的量。

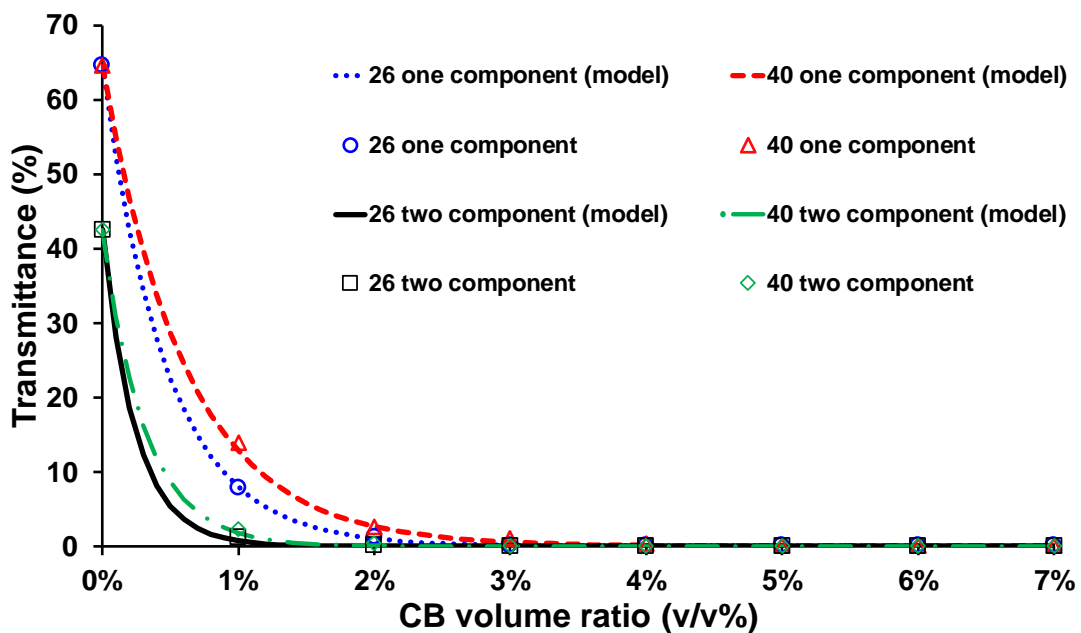


圖 4-17 吸光度與添加碳黑的關係之實驗值與模組預測值。

### 4.3 遮光材料之電性分析

本章節將說明複合材料中，添加進去的物質對原本材料產生的電性影響。因為要應用於電子產品的元件上需要考量到漏電的問題。因此本研究透過了指叉狀電極的量測與在半導體上常用的四點探針量測以及透過介電係數的量測，針對材料電學特性進行深入的研究分析。

#### 4.3.1 遮光材料的指叉狀電極量測

為了確認添加碳黑之後對原本材料的電阻值產生的變化，透過電錶連接塗有遮光材料的感測晶片的導線，接著量測直流(DC)以及交流訊號下(AC 1 kHz)之材料電阻值。圖 4-18，橫坐標為碳黑添加的體積百分比濃度，而縱座標為量測到之電阻值。顯示出添加 26 nm 碳黑的電阻值比添加 40 nm 碳黑的電阻值較高，因為當碳黑顆粒越大時，碳黑粒子與粒子之間的相互碰觸機率就會變大，因此，碳黑粒子或碳黑粒子因接觸在一起而形成的導電通路也越多，導電通路越多造成電阻值的下降。因此，26 nm 的碳黑具有比較高的電阻值。其中在直流下的電阻量測，效果最好的為添加 3% 的 26 nm 碳黑於雙劑型環氧樹脂中，還是呈現不導電的狀態。而添加 2% 的 40 nm 碳黑於雙劑型環氧樹脂中，呈現不導電的狀態。然而在單劑型環氧樹脂中，不管添加 26 nm 碳黑還是 40 nm 碳黑，從添加量為 1% 開始，電阻值就開始逐漸下降，不過在 1% 時還具有  $10^6 \Omega$  的電阻大小。在交流下的電阻量測，圖 4-19，橫坐標為碳黑添加的體積百分比濃度，而縱座標為量測到之電阻值。結果顯示出，在添加不管是 26 nm 碳黑還是 40 nm 碳黑的量越來越多時，電阻值越來越小的趨勢。而在交流訊號下所量到的電阻值會比在直流訊號下所量到的電阻值還要小，從尚未添加碳黑所量測到之電阻值，比直流訊號下所量到的電阻值大約少了 100 倍的電阻值。

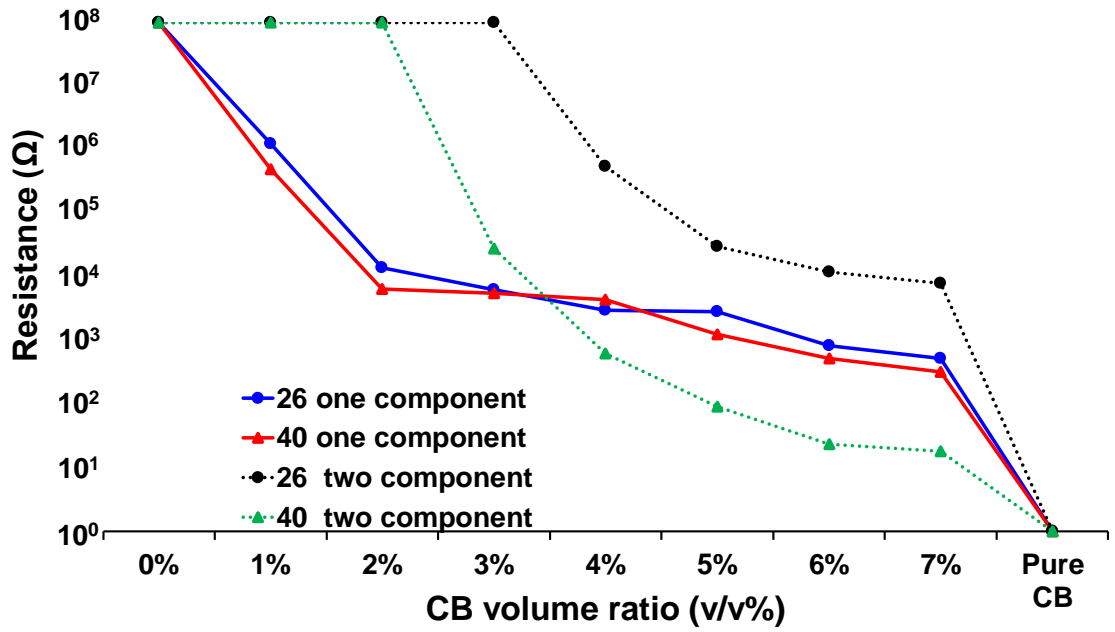


圖 4-18 摻雜了不同體積比的 26 nm 和 40 nm 碳黑於單劑型和雙劑型的環氧樹脂之直流訊號下的電阻測量值。

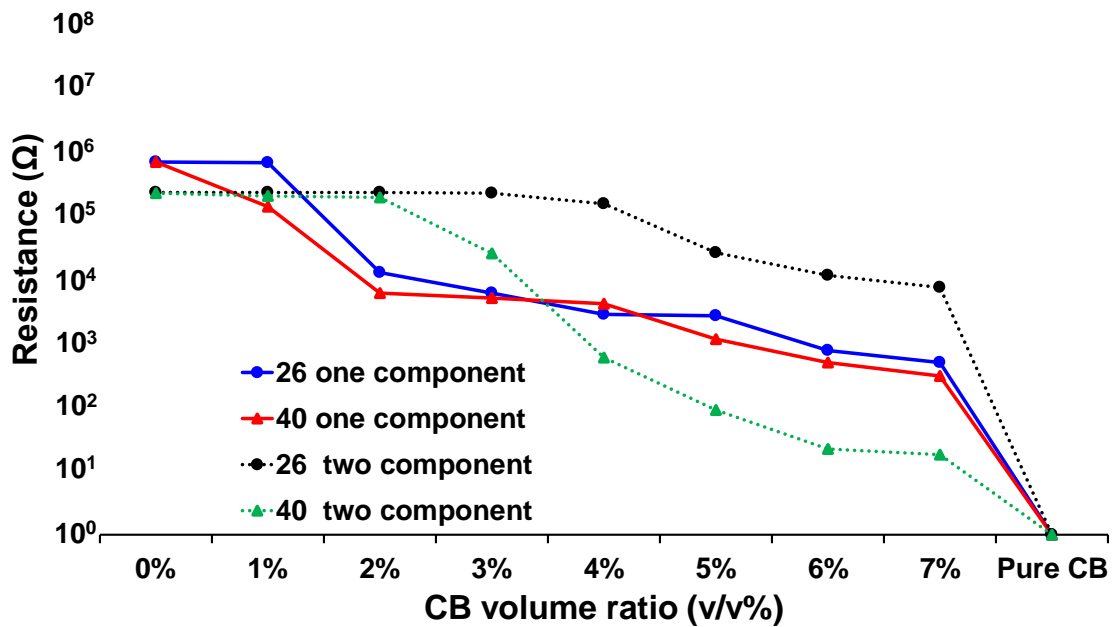


圖 4-19 摻雜了不同體積比的 26 nm 和 40 nm 碳黑於單劑型和雙劑型的環氧樹脂之交流訊號(1 kHz)下的電阻值。

### 4.3.2 遮光材料的片電阻量測

透過四點探針系統量測出材料之片電阻值與電導度，而片電阻為測量具有均勻厚度薄膜的電阻，常應用於半導體中摻雜的量測結果。從圖 4-20 顯示原本的單劑型以及雙劑型環氧樹脂具有很高的片電阻值，在逐漸添加碳黑的過程中，片電阻值開始降低。其中當在雙劑型環氧樹脂加入 26 nm 碳黑的體積為 4% 以下時，呈現不導通的狀態。若是加入 40 nm 的碳黑其體積為 3% 以下時，呈現不導通的狀態。在單劑型環氧樹脂加入 26 nm 碳黑的體積為 2% 以下時，呈現不導通的狀態。若是加入 40 nm 的碳黑其體積為 1% 以下時，呈現不導通的狀態，同時四點探針系統能夠將量測到之電阻值以及代入樣品的面積以及厚度大小，分別為 40 mm×40 mm 以及 30 μm，轉換為電阻率，可以得知不導通的狀態下，電阻率高達  $1.6 \times 10^{33} \Omega \cdot m$ ，而在絕緣材料的定義上面，材料的電阻率必須到達  $10^9 \Omega \cdot m$  以上，因此在添加碳黑一定濃度下，依然能夠保持材料的絕緣性。但是可以看出就算是加入到體積為 7% 的碳黑時，除了 40 nm 的碳黑混單劑型環氧樹脂外，另外 3 個組合還是具有 20000~30000  $\Omega/sq$  的片電阻大小。在電導度的部分，如圖 4-21 所示，當在雙劑型環氧樹脂加入 26 nm 碳黑的體積為 4% 以下時，電導度為  $10^{-36} S/cm$ ；若是加入 40 nm 的碳黑其體積為 3% 以下時，電導度為  $10^{-36} S/cm$ ；在單劑型環氧樹脂加入 26 nm 碳黑的體積為 2% 以下時，電導度為  $10^{-36} S/cm$ ；若是加入 40 nm 的碳黑其體積為 1% 以下時，電導度為  $10^{-36} S/cm$ 。呈現出在添加碳黑量越來越多時，電導度越來越大的趨勢。



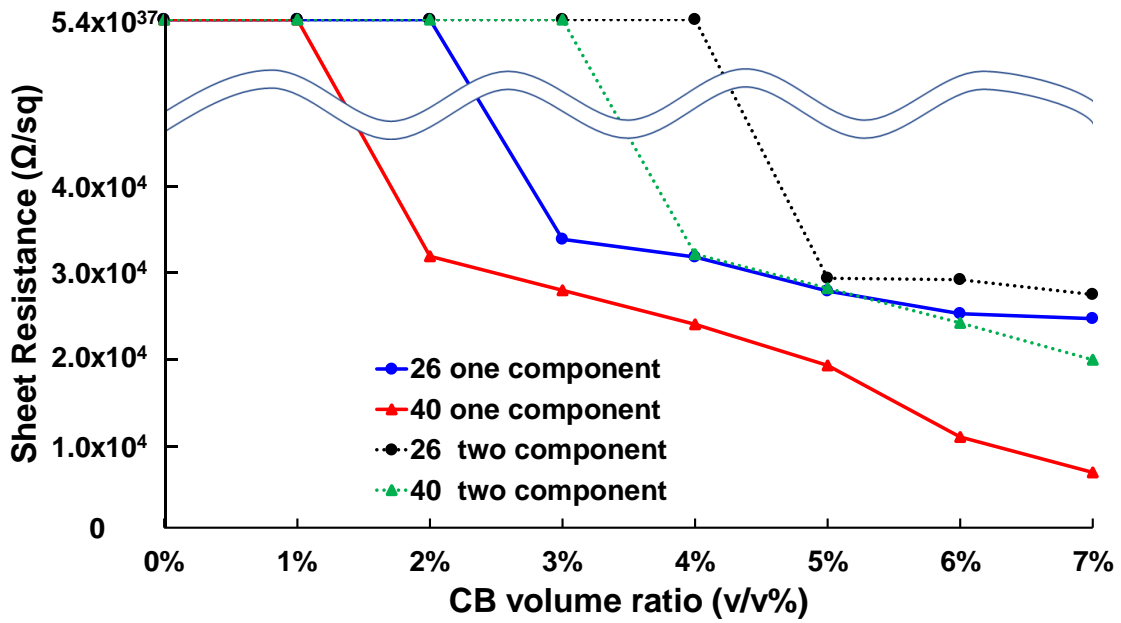


圖 4-20 量測摻雜了不同體積比的 26 nm 和 40 nm 碳黑於環氧樹脂之片電阻值。

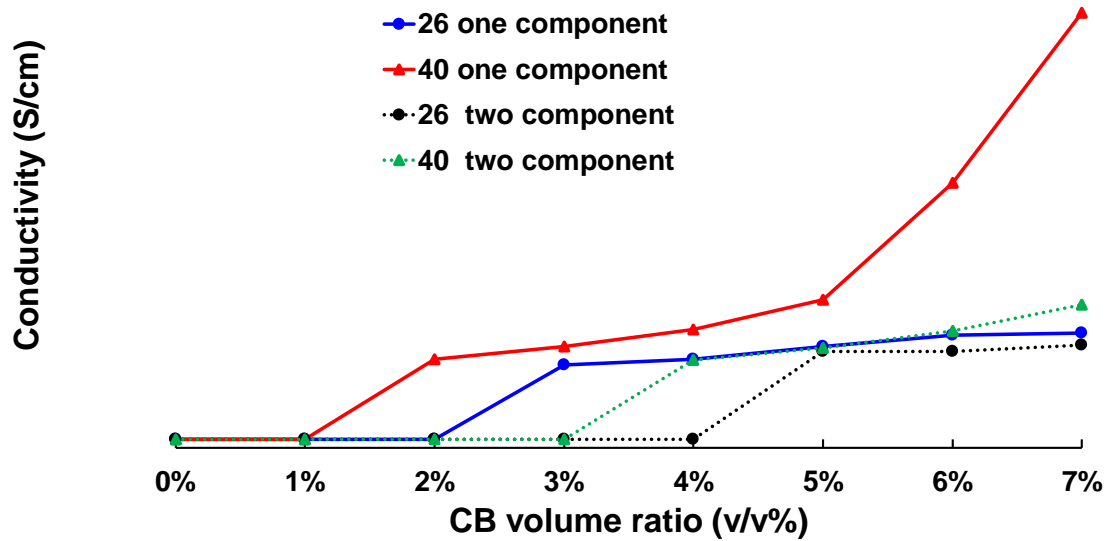


圖 4-21 四點探針量測摻雜了不同體積比的 26 nm 和 40 nm 碳黑於單劑型和雙劑型的環氧樹脂之電導度。

### 4.3.3 遮光材料的介電係數量測

透過介電係數量測系統量測出材料之電容值，而透過每片試片厚度為 500 μm

與面積大小為  $1 \text{ cm}^2$ ，並透過公式(1.1)與公式(1.3)，計算出材料的介電常數(1 MHz)。從圖 4-22 顯示原本的單劑型以及雙劑型環氧樹脂的介電常數分別為 4.61 以及 3.65，在逐漸添加碳黑的過程中，介電常數開始逐漸提升。其中當在雙劑型環氧樹脂加入 26 nm 碳黑的體積為 7% 時，介電常數達到 33.1。若是加入 40 nm 的碳黑其體積為 7% 時，介電常數達到 41.5。在單劑型環氧樹脂加入 26 nm 碳黑的體積為 7% 時，介電常數達到 49.3。若是加入 40 nm 的碳黑其體積為 7% 時，介電常數達到 57.7。因此，加入碳黑有助於提升材料的介電係數，應用於高介電係數的材料，即使用在薄型的裝置上也能使漏電流降低。

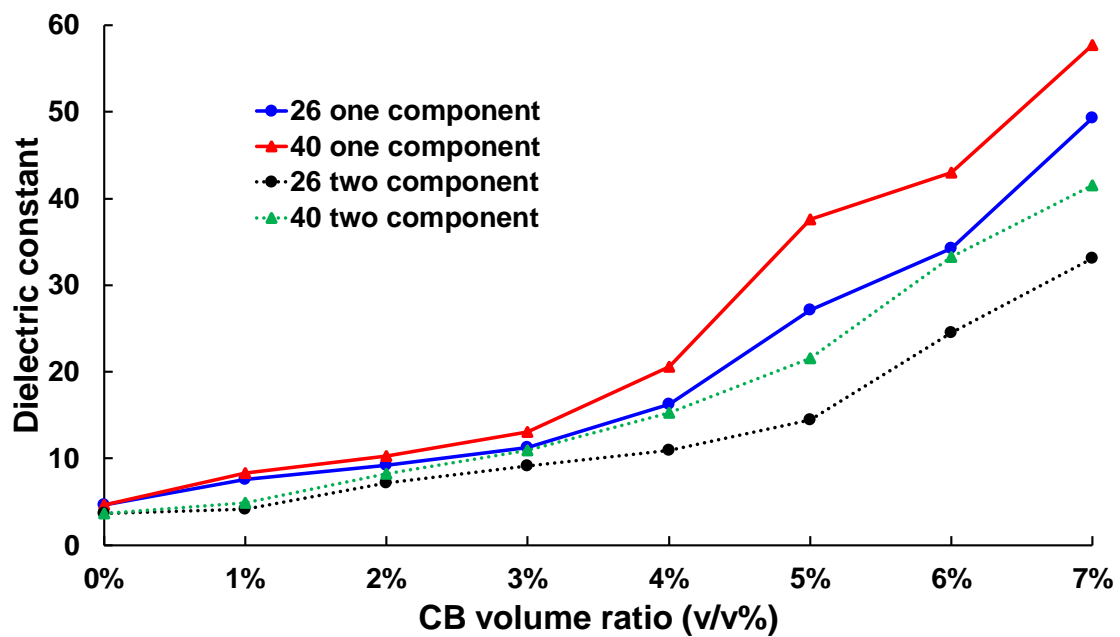


圖 4-22 介電係數量測系統量測摻雜了不同體積比的 26 nm 和 40 nm 碳黑於單劑型和雙劑型的環氧樹脂之介電係數。

## 第五章 結論與未來展望

### 5.1 結論

本研究成功通過使用環氧樹脂摻雜奈米碳黑的方式，發展出一種簡單且能夠方便操作的遮光材料，比起一般透過染料的遮光材料，本研究所開發之遮光材料具有更高的遮光效能。並且本研究發展出光吸收模組用來預測遮光性能與添加物之間的關係。

在本研究中，為了驗證碳黑與環氧樹脂的混合性，透過 FTIR 觀察到兩者皆具有容易接合的極性官能基，且透過添加分散溶劑的方式成功將碳黑分散開。而為了驗證遮光材料的遮光性能，透過常見的 UV-Vis 光學量測系統與兩種本研究自行架設之更為嚴格的光學測量方法，透過高能量的紅光雷射與高功率的鹵素杯燈，來檢測遮光材料的性能。成功將原本需要厚度為 300  $\mu\text{m}$  厚才能遮擋 99% 以上的光，降低至只需要 30  $\mu\text{m}$  厚就能遮擋 99% 以上的光，等於在厚度縮小了 10 分之 1 後，還能保有一樣的遮光效能。也說明了在 30  $\mu\text{m}$  厚度下，光穿透率高達 64% 的單劑型環氧樹脂，通過分別添加體積百分比濃度為 3% 以及 4% 的 26 nm 與 40 nm 的碳黑，成功將光穿透率降低至 1% 以下；而在 30  $\mu\text{m}$  厚度下，光穿透率為 42% 的雙劑型環氧樹脂，通過分別添加體積百分比濃度為 2% 以及 3% 的 26 nm 與 40 nm 的碳黑，成功將光穿透率降低至 1% 以下。而為了驗證遮光材料的電性，透過常見的四點探針量測系統、指叉狀電極之電性測量方法與介電常數測量方法，其中在雙劑型混合 26 nm 碳黑的組合，具有最好的電阻值，在添加了 3% 的碳黑，其電阻值還是高達  $10^8 \Omega$  的大小，即呈現不導電的狀態，能夠成功防止漏電發生。

綜合以上結果，本研究透過使用環氧樹脂混合碳黑的方式具有高效能的遮光率，比起市面上所販售之遮光材料具有更高的遮光效能。開發可作為光學零組件封裝中的高性能遮光材料。

## 5.2 未來展望

本研究已成功開發出具有不導電且具有高遮光性能的薄型遮光材料，且對於此遮光材料之基本光學特性與電學特性經量測過後皆具有良好的性能，且計算出一光吸收模組，透過光吸收模組可以讓使用者針對不同的遮光需求，如需要遮多少%的光後，再計算出碳黑所需添加的體積百分比。而當對材料進行摻雜時，材料的物理、化學特性可能發生變化。因此本研究針對碳黑修飾環氧樹脂之技術，進行了一系列的探討，從材料的主要組成、光學特性、電學特性的變化進行深入的研究。

然而，在未來要能夠應用在光學封裝元件上，為了驗證遮光材料與元件之間具有良好的附著力，且需要經過一定的可靠度測試，如高溫高濕、高溫低溫循環測試等，透過可靠度測試才能證明遮光材料是否適用於光學封裝元件上。或者是尋找其他的奈米粒子做複合材料的開發，透過參雜其他奈米粒子，針對不同的遮光需求，例如，遮蔽紫外光、紅外光等需求，對想要遮蔽的光波長進行選擇性的吸收，開發出不只有能夠對可見光吸收的材料，在其他波長也具有高效能的吸收，以應用在不同的領域上面。

## 參考文獻

- [1] J. Takadoum, "Black coatings: a review" *The European Physical Journal Applied Physics*, vol. 52, pp. 30401, 2010.
- [2] J. T. Guthrie, "Macromolecular dyes" *Encyclopedia of polymer science and engineering*, vol. 5, pp. 277, 1986.
- [3] E. Marechal, "Polymeric dyes — synthesis, properties and uses" *Progress in Organic Coatings*, vol. 10, pp. 251-287, 1982.
- [4] T. Otsu and M. Takayanagi, *Progress in Polymer Science, Japan* vol. 7: Kodansha, 1974.
- [5] Y. Liu, A. Jiang, L. Xiang, J. Gao, and D. Huang, "Nonlinear optical chromophores with good transparency and high thermal stability" *Dyes and Pigments*, vol. 45, pp. 189-193, 2000.
- [6] C. Sakong, Y. D. Kim, J.-H. Choi, C. Yoon, and J. P. Kim, "The synthesis of thermally-stable red dyes for LCD color filters and analysis of their aggregation and spectral properties" *Dyes and Pigments*, vol. 88, pp. 166-173, 2011.
- [7] Y. Tian, J. Xie, C. Wang, Y. Zhao, and F. Haosheng, "Synthesis and investigation of photoinduced anisotropy of a series of liquid crystalline copolymers with azo groups" *Polymer*, vol. 40, pp. 3835-3841, 1999.
- [8] M. M. Demir and G. Wegner, "Challenges in the Preparation of Optical Polymer Composites With Nanosized Pigment Particles: A Review on Recent Efforts" *Macromolecular Materials and Engineering*, vol. 297, pp. 838-863, 2012.
- [9] Z. P. Yang, L. Ci, J. A. Bur, S. Y. Lin, and P. M. Ajayan, "Experimental observation of an extremely dark material made by a low-density nanotube array" *Nano Letter*, vol. 8, pp. 446-451, 2008.
- [10] A. Patil, "VANTABLACK: The World's Darkest Material" *Man-Made Textiles in India*, vol. 43, 2015.
- [11] M. Michael, "On "Aesthetic Publics"" *Science, Technology, & Human Values*, vol. 43, pp. 1098-1121, 2018.
- [12] E. Theocharous, C. J. Chunnillall, R. Mole, D. Gibbs, N. Fox, N. Shang, G. Howlett, B. Jensen, R. Taylor, J. R. Reveles, O. B. Harris, and N. Ahmed, "The partial space qualification of a vertically aligned carbon nanotube coating on aluminium substrates for EO applications" *Optics Express*, vol. 22, pp. 7290-307, 2014.
- [13] J. Hagopian, M. Quijada, J. Tveekrem, R. Shiri, P. Roman, J. Butler, G. Georgiev, J. Livas, C. Hunt, A. Maldonado, S. Talapatra, and X. Zhang, "Multiwalled carbon nanotubes for stray light suppression in space flight instruments" *Proc. of SPIE*, vol. 7761, 2010.

- [14] T. S. Bui, J. Kim, E. Jung, H. S. Le, N. T. Nguyen, and J.-Y. Bae, "High optical density and low dielectric constant black matrix containing graphene oxide and carbon black on color filters" *Displays*, vol. 34, pp. 192-199, 2013.
- [15] C. Peng, G. Zhang, R. Sun, and C. P. Wong, "Investigation of the optical properties of ZnO/epoxy resin nanocomposite: Application in the LED," *2012 13th International Conference on Electronic Packaging Technology & High Density Packaging*, pp. 376-379, 2012.
- [16] <https://www.whatdigitalcamera.com/technical-guides/technology-guides/sensors-explained-11457>.
- [17] G. F. Larson, V. A. Fassel, R. K. Winge, and R. N. Kniseley, "Ultratrace Analyses by Optical Emission Spectroscopy: The Stray Light Problem" *Applied Spectroscopy*, vol. 30, pp. 384-391, 1976.
- [18] Y. Zong, S. W. Brown, B. C. Johnson, K. R. Lykke, and Y. Ohno, "Simple spectral stray light correction method for array spectroradiometers" *Apply Optics*, vol. 45, pp. 1111-9, 2006.
- [19] M. Narkis, A. Ram, and F. Flashner, "Electrical properties of carbon black filled polyethylene" *Polymer Engineering and Science*, vol. 18, pp. 649-653, 1978.
- [20] A. A. Barba, G. Lamberti, M. d'Amore, and D. Acierno, "Carbon black/silicone rubber blends as absorbing materials to reduce Electro Magnetic Interferences (EMI)" *Polymer Bulletin*, vol. 57, pp. 587-593, 2006.
- [21] C. L. Ghai, *A textbook of practical physiology*: JP Medical Ltd, 2012.
- [22] W. D. Callister and D. G. Rethwisch, *Materials science and engineering: an introduction* vol. 7: John wiley & sons New York, 2007.
- [23] Beer, "Determination of the absorption of red light in colored liquids" *Annual Review of Physical Chemistry*, vol. 162, pp. 78-88, 1852.
- [24] E. D. Goldberg, *Black carbon in the environment: properties and distribution*: J. Wiley New York, 1985.
- [25] J.-B. Donnet, *Carbon black: science and technology*: CRC Press, 1993.
- [26] F. A. Heckman, "Microstructure of Carbon Black" *Rubber Chemistry and Technology*, vol. 37, pp. 1245-1298, 1964.
- [27] T. Jawhari, A. Roid, and J. Casado, "Raman spectroscopic characterization of some commercially available carbon black materials" *Carbon*, vol. 33, pp. 1561-1565, 1995.
- [28] N. J. Coville, S. D. Mhlanga, E. N. Nxumalo, and A. Shaikjee, "A review of shaped carbon nanomaterials" *South African Journal of Science*, vol. 107, pp. 01-15, 2011.
- [29] A. A. Deshmukh, S. D. Mhlanga, and N. J. Coville, "Carbon spheres" *Materials Science and Engineering: R: Reports*, vol. 70, pp. 1-28, 2010.
- [30] B. Michel, T. Henning, C. Jäger, and U. Kreibig, "Optical extinction by spherical

- carbonaceous particles" *Carbon*, vol. 37, pp. 391-400, 1999.
- [31] A. I. Medalia, "Electrical Conduction in Carbon Black Composites" *Rubber Chemistry and Technology*, vol. 59, pp. 432-454, 1986.
- [32] J. Accorsi and E. Romero, "Additives: special carbon blacks for plastics" *Plastics Engineering*, vol. 51, pp. 29-32, 1995.
- [33] N. Ando and M. Takeuchi, "Electrical resistivity of the polymer layers with polymer grafted carbon blacks" *Thin Solid Films*, vol. 334, pp. 182-186, 1998.
- [34] P. K. Sengupta and A. R. Pramanik, "Grafting of vinyl polymers onto carbon black using N-bromophthalimide as thermal initiator and characterization of the grafted product" *European Polymer Journal*, vol. 30, pp. 421-425, 1994.
- [35] S. Yoshikawa, S. Machida, and N. Tsubokawa, "Polymer grafting onto carbon black by use of TEMPO-terminated polystyrene with controlled molecular weight" *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*, vol. 36, pp. 3165-3172, 1998.
- [36] N. Tsubokawa, M. Tsuchida, J. Chen, and Y. Nakazawa, "A novel contamination sensor in solution: the response of the electric resistance of a composite based on crystalline polymer-grafted carbon black" *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 79, pp. 92-97, 2001.
- [37] A. Mostafa, A. Abouel-Kasem, M. R. Bayoumi, and M. G. El-Sebaie, "On the influence of CB loading on the creep and relaxation behavior of SBR and NBR rubber vulcanizates" *Materials & Design*, vol. 30, pp. 2721-2725, 2009.
- [38] A. Mostafa, A. Abouel-Kasem, M. R. Bayoumi, and M. G. El-Sebaie, "Effect of carbon black loading on the swelling and compression set behavior of SBR and NBR rubber compounds" *Materials & Design*, vol. 30, pp. 1561-1568, 2009.
- [39] M. Abu-Abdeen and I. Elamer, "Mechanical and swelling properties of thermoplastic elastomer blends" *Materials & Design*, vol. 31, pp. 808-815, 2010.
- [40] A. I. Medalia, "Effective Degree of Immobilization of Rubber Occluded within Carbon Black Aggregates" *Rubber Chemistry and Technology*, vol. 45, pp. 1171-1194, 1972.
- [41] G. Ao, Q. Hu, and M.-S. Kim, "Properties of Activated Carbon Blacks Filled SBR Rubber Composites" *Carbon Letters*, vol. 9, pp. 115-120, 2008.
- [42] M. Rahaman, T. K. Chaki, and D. Khastgir, "Development of high performance EMI shielding material from EVA, NBR, and their blends: effect of carbon black structure" *Journal of Materials Science*, vol. 46, pp. 3989-3999, 2011.
- [43] M. H. Al-Saleh and U. Sundararaj, "Electromagnetic Interference (EMI) Shielding Effectiveness of PP/PS Polymer Blends Containing High Structure Carbon Black" *Macromolecular Materials and Engineering*, vol. 293, pp. 621-630, 2008.
- [44] N. A. Aal, F. El-Tantawy, A. Al-Hajry, and M. Bououdina, "New antistatic charge

- and electromagnetic shielding effectiveness from conductive epoxy resin/plasticized carbon black composites" *Polymer Composites*, vol. 29, pp. 125-132, 2008.
- [45] O. H. Yeoh, "Characterization of Elastic Properties of Carbon-Black-Filled Rubber Vulcanizates" *Rubber Chemistry and Technology*, vol. 63, pp. 792-805, 1990.
- [46] M. B. Roller, "Characterization of the time-temperature-viscosity behavior of curing B-staged epoxy resin" *Polymer Engineering and Science*, vol. 15, pp. 406-414, 1975.
- [47] Y.-L. Liu, G.-H. Hsiue, and Y.-S. Chiu, "Synthesis, characterization, thermal, and flame retardant properties of phosphate-based epoxy resins" *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*, vol. 35, pp. 565-574, 1997.
- [48] B. Michel, T. Henning, C. Jäger, and U. Kreibig, "Optical extinction by spherical carbonaceous particles" *Carbon*, vol. 37, pp. 391-400, 1999.
- [49] A. Allaoui, "Mechanical and electrical properties of a MWNT/epoxy composite" *Composites Science and Technology*, vol. 62, pp. 1993-1998, 2002.
- [50] W. Zhang, R. S. Blackburn, and A. J. S. m. Dehghani-Sanij, "Electrical conductivity of epoxy resin-carbon black-silica nanocomposites: effect of silica concentration and analysis of polymer curing reaction by FTIR" vol. 57, pp. 949-952, 2007.
- [51] A. Y. Xiao, Q. K. Tong, A. C. Savoca, and H. van Oosten, "Conductive ink for through hole application" *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, vol. 24, pp. 445-449, 2001.
- [52] S. K. De and J. R. White, *Short fibre-polymer composites*: Woodhead Publishing, 1996.
- [53] L. Flandin, Y. Bréchet, and J. Y. Cavailié, "Electrically conductive polymer nanocomposites as deformation sensors" *Composites Science and Technology*, vol. 61, pp. 895-901, 2001.
- [54] Y. Wang, X. Wang, T. Li, P. Ma, S. Zhang, M. Du, W. Dong, Y. Xie, and M. Chen, "Effects of Melanin on Optical Behavior of Polymer: From Natural Pigment to Materials Applications" *ACS Appl Mater Interfaces*, vol. 10, pp. 13100-13106, 2018.
- [55] C. F. Bohren and D. R. Huffman, *Absorption and scattering of light by small particles*: John Wiley & Sons, 2008.
- [56] M. Quinten and U. Kreibig, "Absorption and elastic scattering of light by particle aggregates" *Applied Optics*, vol. 32, pp. 6173-82, 1993.
- [57] L. Rayleigh, W. John and B. Strutt, *On the scattering of light by small particles*, Philos. Mag, 1871.
- [58] J. W. Strutt, "XV. On the light from the sky, its polarization and colour" *The*



*London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*,  
vol. 41, pp. 107-120, 2009.

- [59] T. C. Bond and R. W. Bergstrom, "Light Absorption by Carbonaceous Particles: An Investigative Review" *Aerosol Science and Technology*, vol. 40, pp. 27-67, 2006.

# 論文原創性報告

## 高消光係數低導電度之薄型化高遮光材料開發

### 原創性報告

5%

相似度指數

3%

網際網絡來源

1%

出版物

4%

學生文稿

### 主要來源

1

Submitted to National Sun Yat-sen University

學生文稿

1%

2

etd.lib.nsysu.edu.tw

網際網絡來源

<1%

3

Submitted to National Taiwan Normal University

學生文稿

<1%

4

ir.lib.kuas.edu.tw

網際網絡來源

<1%

5

www.researchgate.net

網際網絡來源

<1%

6

Submitted to iGroup

學生文稿

<1%

7

www.ir.nctu.edu.tw

網際網絡來源

<1%

8

Submitted to Chung Yuan Christian University

學生文稿

<1%

9

Submitted to National Kaohsiung University of Applied Science

<1%

## 自述

姓名：許秩華 (Chih-Hua, Hsu)

出生日期：1995/04/19

性別：男

出生地：高雄縣

電子信箱：m063020031@student.nsysu.edu.tw

學歷：

國立中山大學 機械與機電工程研究所 碩士 2017/09~2020/02

國立中山大學 機械與機電工程學系 學士 2013/09~2017/06

國內研討會：

1. **許秩華** 林哲信, “高性能的薄型遮光材料開發和製程” 第17屆精密機械與製造科技研討會(*The 17th Conference on Precision Machinery and Manufacturing Technology –PMMT*), 屏東, 台灣, 五月, 2019
2. **Chih-Hua Hsu**, Che-Hsin Lin, Frank Lin, Julia Fei, “High performance of light-shielding thin material development and process,” *International Conference on Smart Sensors (ICSS 2019)*, Sheraton, Hsinchu, 3-4 June, 2019
3. **許秩華** 林哲信 林岳儒 費筠芷, “薄型且非導電的高性能遮光材料應用於現代光學零組件封裝” 中國機械工程學會第三十六屆全國學術研討會(*China Society of Mechanical Engineering –CSME*), 台北, 台灣, 十二月, 2019