

新竹市第三十九屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：生活與應用科學科(二)環保與民生

組 別：國中組

作品名稱：「塗」發奇想，「石」現奇蹟

—回收電池石墨材製成石墨烯散熱、降溫環保塗料之研究

關鍵詞：石墨烯、降溫率、塗料

編號：

摘要

本研究利用廢乾電池中石墨棒製成石墨烯，探討其降溫及隔熱因素，最後成功應用於散熱降溫環保塗料。研究發現:①電化學剝離法製成石墨烯純度高、粒徑小、金屬光澤亮膜適合用於散熱降溫塗料②石墨烯降溫幅度、降溫速率高於氧化石墨烯及其他介質③散熱降溫效應:單層厚度>兩層厚度、大面積>小面積③石墨烯阻熱係數(R)大，隔熱效果佳。④低濃度(1:30 或 3.2%)、薄層塗佈即可達到良好降溫效果④模擬屋實驗發現自製石墨烯塗料，比市售隔熱塗料效果佳，可增加 15.94~19.21%降溫率，並可有效用於不銹鋼建材，矽酸鈣板建材。展望未來: 廣泛應用於汽車塗料、鐵皮屋屋頂及大樓外牆，將減少冷氣使用，解決用電危機、讓台灣躋身節能減碳之國。

(一)研究動機

動機一: 氣溫飆升，造成熱傷害⇒新聞說入夏以來受到太平洋高壓影響，全台持續晴朗炎熱的天氣，台灣各地氣溫屢創新高，台北市午後竟測得攝氏 39.7 度的最高氣溫，更創下台北站創站以來的最高氣溫紀錄。氣象局發布高溫資訊，提醒民眾注意熱傷害。國健署指更出，今年 5、6 月因熱傷害暈厥送急診人數達 949 人次，創下 10 年來次高紀錄。

動機二: 氣溫飆升，造成缺電危機⇒隨著氣溫飆升，用電需求也持續激增，台電今天的尖峰用電量突破歷史新高，備轉容量率由 3.11% 下修為 2.07%，已達「限電警戒」紅燈的標準，全台陷入缺電停電危機。此外，大潭藻礁天然氣發電三接事件，更凸顯台灣電力不足，如何有效節電是目前重要課題之一。

動機三: 廢電池，造成廢棄物汙染⇒電視新聞報導每年廢乾電池及廢理電池回收率僅達 36.9%，仍有高達 5,669 公噸的廢乾電池未妥善處理，造成嚴重的廢棄物汙染。

如何一次解決?

因此，我們整合了這些疑問和概念，希望能透過這項研究找出利用回收廢乾電池及鋰電池的石墨材，製成石墨烯降溫材料，並添加於塗料，變成隔熱環保塗料。試想如果全部的汽車塗料、鐵皮屋屋頂及大樓外牆全部塗上石墨烯降溫隔熱塗料，將大幅降低車內、屋內溫度，減少冷氣使用，解決用電危機、間接降低火力發電的碳排放、亦解決電池廢棄物汙染問題，畢其功於一役，啟不妙哉!

(二)研究與教材相關性

1.本研究結合自然與生活科技(一)南一版:

科學方法:(1)觀察(2)提出問題 (3)參考文獻(4)提出假說 (5)實踐設計 (6)分析結果 (7)結論。

2. 自然與生活科技(三) 康軒版 第三章 物質分離 第五章熱量與比熱。

3. 自然與生活科技(四) 康軒版 第一章 化學反應種類 第五章 有機化合物、分子親和力。

4. 自然與生活科技(六) 康軒版 第一章 電池、電解。

壹、 研究目的

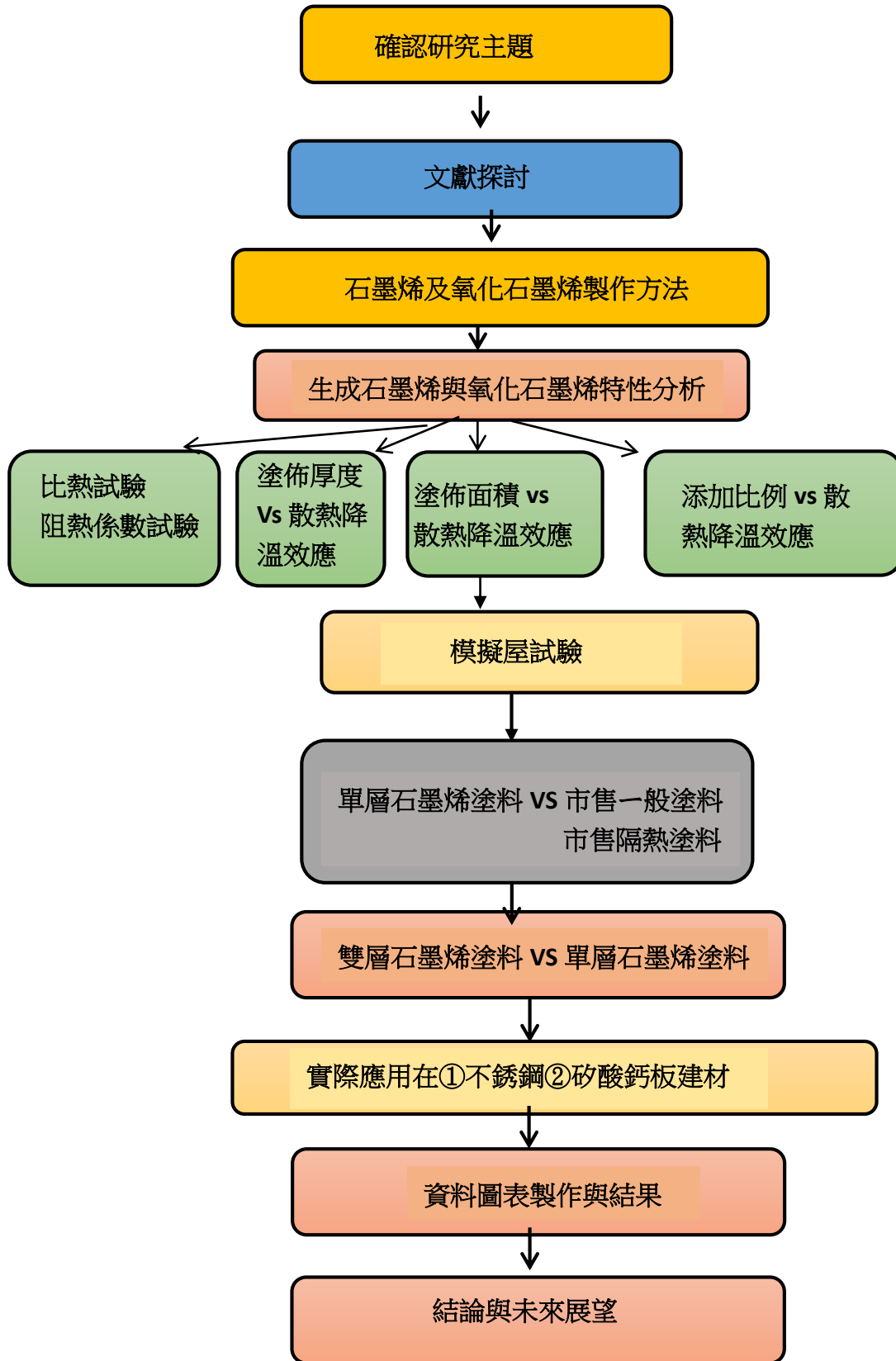
●目的:

- 一、探討兩種製作方法生成石墨烯及氧化石墨烯特性
- 二、石墨烯及氧化石墨烯的比熱試驗
- 三、探討石墨烯及氧化石墨烯散熱降溫效應
- 四、探討介質塗佈厚度增厚對散熱降溫效應
- 五、探討面積大小對散熱降溫效應影響
- 六、探討阻熱係數(R)實驗
- 七、探討不同添加比例石墨烯隔熱塗料與一般塗料降溫效能比較
- 八、實際應用模擬屋實驗—①探討自製單層石墨烯塗料與市售隔熱塗料降溫效果比較
- 九、實際應用模擬屋實驗—②探討自製雙層石墨烯塗料降溫效應
- 十、實際應用模擬屋實驗—③探討自製石墨烯雙層塗料在不同建材降溫效應

●特色:

- 1.環保性:電池石墨材回收再利用製成石墨烯塗料，具有環保再利用特性。
- 2.創新性:①模擬屋實驗測試石墨烯塗料單層、雙層實際阻熱降溫效果。
②模擬屋實驗測試石墨烯塗料在不同建材實際阻熱降溫效果。
- 4.實用性:① 實際有效散熱降溫，能達到降低冷氣使用。
②將大幅降低車內、屋內溫度，減少冷氣使用，解決用電危機、間接降低火力，節能減碳。
③可應用多種材料。

●研究流程架構圖



叁、文獻探討

一、石墨烯基本資料

1.發展史	2004 年科學家海姆及諾沃肖洛夫在碳上面分離出了石墨烯(graphene)是屬於碳的另外一種形態，是一種最新研發的材料。
2.構造	石墨烯（Graphene）是一種由碳原子六角型蜂巢晶格組成的平面薄膜，只有一個碳原子厚度的二維平面性材料。每個碳原子與相鄰的三個碳原子形成鍵結，以此延伸成蜂窩狀的二維結構。
3.命名	石墨烯的命名來自英文的 graphite（石墨）+ -ene（烯類結尾）。
4.應用	石墨烯電晶體、透明導電電極、導熱材料、電池、海水淡化薄膜

二、石墨烯及氧化石墨烯製作方法

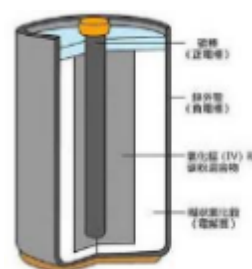
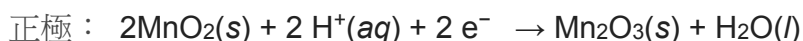
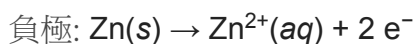
石墨烯及氧化石墨烯它是如何製作呢?我們閱讀相關報告整理出下表(傅 2013，梁 2014，周 2019)。

製作方法	產物	研發者	過程	方法簡介
化學氧化法	石墨烯	漢馬	石墨⇨ 氧化石墨烯⇨ 石墨烯	③以 10%鹽酸清洗，最後硼氫化鈉、聯胺還原成石墨烯。
	氧化石墨烯			① 將石墨粉 1g 加入 50mL 飽和濃硝酸氧化並以 0°C 恆溫水浴反應 40 分鐘，改以 35°C 恆溫水浴反應 40 分鐘。 ② 第二階段再分別以氧化劑硝酸鈉 1 g、過錳酸鉀 3.5g 將石墨粉進行高溫 95°C 氧化恆溫水浴反應 40 分鐘，形成氧化石墨烯。
電化學剝離法 (電解法)	石墨烯	王國秀	石墨⇨ 石墨烯⇨ 氧化石墨烯	① 石墨棒電解，陽極剝落，形成石墨烯碎片於電解液中，過濾以離心純化，得到石墨烯。
	氧化石墨烯			② 以重量比 1:1:2:之比例，將 1g 石墨烯粉與 1g 硫酸及 1g 次氯酸鈉混合，加水至 100mL，加熱 40 度，1 攪拌 1hr。 ③ 蒸餾水沖洗 10 次、60°C 的烘箱中烘乾。

三、乾電池的構造及反應式

(1)構造

(2) 反應式:



四、隔熱原理

隔熱就是阻隔熱的移動傳遞，熱量的移動方式可分為傳導、對流、輻射三種方式，而物體的熱量流動狀態可分為一、熱傳導，二、熱傳遞、三、熱傳透等三種狀態。

熱傳導為固體內部之熱流動狀態。熱傳遞為固體與流體間之傳熱狀態，即由傳導、對流、輻射三者所組成之傳熱現象。

- (1) 熱傳導的能量傳遞可見於固體，由高溫往低溫流動。較大的熱傳導係數值代表有較好的熱傳導性能，熱傳導係數值較小則為較好的阻熱體。
- (2) 熱輻射不需憑藉介質，而能直接傳播熱能，是物質因原子或分子內的電子能階改變，所放射出來的能量。能量是以電磁波（或光子）形式傳送。太陽所發出的熱，經過太空傳遞到地球，就是熱輻射的最明顯例子。
- (3) 利用空氣的對流作用，使冷空氣下降，熱空氣向上。

五、傳熱係數及阻熱係數

傳熱係數 (K) 是指材料傳導熱能的能力。定義為在單位溫差下，單位時間通過單位面積、單位距離的熱量，稱為該物質之傳熱係數，此在熱傳學上非常重要。熱傳導係數愈高，則傳熱速度愈快。

$$K = \frac{W \times D}{A \times \Delta T}$$

其中：W = 熱傳導量 (W)；K = 傳熱係數； ΔT = 溫度差；A = 垂直於傳熱方向之截面積 (m^2)；D: 距離 m。

傳熱係數又分為**水平與垂直傳熱**，①若是指的是**水平傳熱**時表示熱量在表面就被傳遞出去，因此降溫的速度就會很快。②若是**垂直傳熱**表示熱量會被很快傳輸到內層，熱穿透性高，則具有加熱續蓄熱功能，而降溫隔熱效果就差。

阻熱係數(R): 阻熱 (thermal resistance) 是指在有溫度差的情形下，物體抵抗傳熱的能力。熱導率越好的物體，阻熱通常會比較低。一物體的絕對熱阻是指在單位時間內當有單位熱能量通過物體時，物體兩端的溫度差。是傳熱係數的倒數。其中：W = 熱傳導量 (W)；K = 傳熱係數； ΔT = 溫度差；A = 垂直於傳熱方向之截面積 (m^2)；D: 距離 m。

$$R = \frac{A \times \Delta T}{W \times D}$$

阻熱係數(R):是一材料單位面積下的熱阻。若是在隔熱的應用上，會用隔熱 R 值來量測。許多電子元件在工作時都會產生熱量，若溫度過高，元件可能會失效，因此需要加以冷卻，因此需考慮散熱裝置的絕對熱阻，讓元件有適當的散熱，避免溫度過高而失效的情形出現。

六、降溫率及降溫速率

(1)降溫率: 指物質在單位時間內，吸收熱量，傳熱後，在物體表面內側產生比外側低的溫度，其降低溫度的比率，稱為降溫率，一般亦俗稱隔熱率。公式: $dT\% = \left(\frac{T1-T2}{T1}\right) \times 100\%$ 。

(2)降溫速率: 指物質在 t 單位時間內，在物體室內/車內空間所產生的溫度下降的比率，稱為降溫速率。公式: $dv = \left(\frac{T1-T2}{t}\right)$ 。

七、比熱

比熱，表示物體吸熱或散熱能力，比熱容越大，物體的吸熱或散熱能力越強。它指單位質量的某種物質升高或下降單位溫度所吸收或放出的熱量。其中 Q 是能量，單位是焦耳 (J)。M 是質量，單位是千克 (kg)。ΔT 是溫度變化，當比熱越大，該物質升溫至相同溫度便需要更多熱能來加熱，反之降溫時可以帶走更多熱量。公式: $S = \frac{Q}{M \times \Delta T}$

八、科展降溫隔熱相關文獻整理

篇名	目的	結果	科展評審評論
玻光粼璃 (華 2018)第 59 屆科展	製作隔熱玻璃	充填太白粉膠體兩層玻璃隔熱效果較佳。	把透光率與降溫率混淆。
溫度旅程(楊 2016) 第 57 屆科展	不同型室窗戶室內降溫	全鏤空窗戶室內降溫效果最佳。	缺乏背景知識、與熱傳播方式探討。

九、塗料









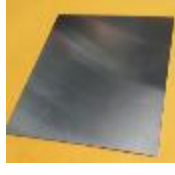



塗料主要由四部分組成：成膜物質、顏料、溶劑、助劑。

- (1)成膜物質:是塗料的基礎，它對塗料和塗膜的性能起決定性的作用，它具有粘結塗料中其它組分形成塗膜的功能。，例如：醇酸樹脂、丙烯酸樹脂、氯化橡膠樹脂、環氧樹脂等。
- (2)顏料:是有顏色的塗料（色素）的一個主要的組分。顏料使塗膜呈現色彩，使塗膜具有遮蓋被塗物體的能力，以發揮其裝飾和保護作用。有些顏料還能提供諸如：提高漆膜機械性能、提高漆膜耐久性、提供防腐蝕、導電、阻燃等性能。
- (3)溶劑:能將塗料中的成膜物質溶解或分散為均勻的液態，以便於施工成膜，當施工後又能從漆膜中揮發至大氣的物質。例如:松香水
- (4)助劑:是對塗料或塗膜的某一特定方面的性能起改進作用。例如：消泡劑、防霉劑等。

肆、研究藥品器材

(1)藥品及材料:活性碳粉(200mesh)、石墨粉(200mesh)、1 至 4 號廢乾電池、廢鋰電池、銅片電極、量筒、燒杯、三腳架、陶瓷纖維網、酒精燈、滴定管架。

(2)主要器材與儀器:

					
顯微鏡	加熱攪拌器	粒徑分析篩	電子磅秤	高溫烘箱	電腦顯微鏡
					
紅外線溫度計	探頭電子度計	不銹鋼片	矽酸鈣板	分光光度計	電源供應器

伍、研究過程

一、蒐集資料：

- (1) 用電腦網路收集石墨烯及氧化石墨烯特性與製作等相關資料
- (2) 參考相關文獻資料說明

二、石墨烯及氧化石墨烯

使用文獻中的化學氧化法及電化學剝離法兩種方法分別製作石墨烯、氧化石墨烯，並比較兩種方法製作出來石墨烯、氧化石墨烯，其特性差異，並在實驗一加以比較。

(1) 化學氧化法:

- ①將石墨粉 1g 加入 50mL 飽和濃硝酸氧化並以 0°C 恆溫水浴反應 40 分鐘，改以 35°C 恆溫水浴反應 40 分鐘。
- ②第二階段再分別以氧化劑硝酸鈉 1g、過錳酸鉀 3.5g 將石墨粉進行高溫 95°C 氧化恆溫水浴反應 40 分鐘，形成氧化石墨烯。
- ③以 10%鹽酸清洗，最後硼氫化鈉、聯胺還原成石墨烯。

(2)電化學剝離法:

- ①石墨棒 20V 電壓電解，陽極剝落，形成石墨烯碎片於電解液中，過濾以離心純化，得到石墨烯。
- ②以重量比 1:1:2:之比例，將 1g 石墨烯粉與 1g 硫酸及 1g 次氯酸鈉混合，加水至 100mL，加熱 40 度，1 攪拌 1hr。
- ④ 蒸餾水沖洗 10 次、60°C 的烘箱中烘乾。

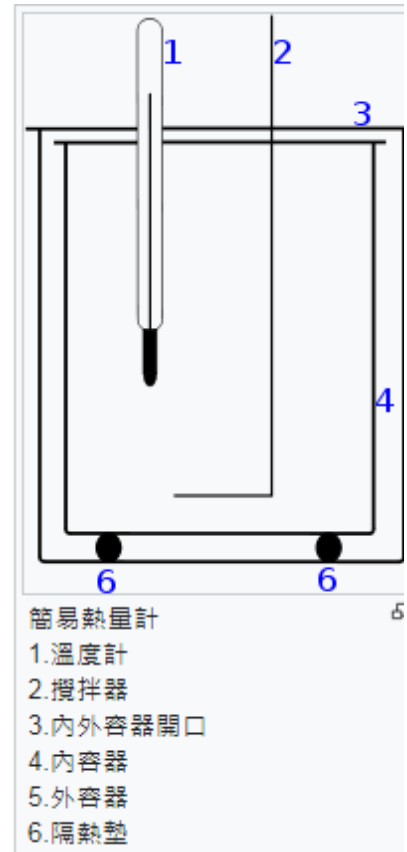
三、石墨烯比熱測量

原理: 利用理化課本所教**熱平衡法**測量石墨烯等比熱。以一已知質量的固體，先在恆溫烘箱中加熱，然後將它放入一含有已知冷水量的杯中測量其溫度，攪拌達平衡後由固體放出的熱量須等於水本身吸收熱量的守恒律，我們可以算出此固體的比熱來。

(假設無熱量損失、假設塑膠攪拌棒無吸熱)

- 待測物先在恆溫烘箱加熱至 $t_{物}^{\circ}\text{C}$ ，然後讓它放入一含有已知質量已知溫度 ($t_{水}^{\circ}\text{C}$) 冷水的杯中，測量其平衡後的溫度 ($t_{平}^{\circ}\text{C}$)，由待測物放出的熱量等於水及溫度計所吸收的熱量，我們可以算出待測物的比熱。

2. 公式:
$$C_{物} = \frac{m_{水} \times 1 \times (t_{平} - t_{水})}{m_{物} \times (t_{物} - t_{平})}$$



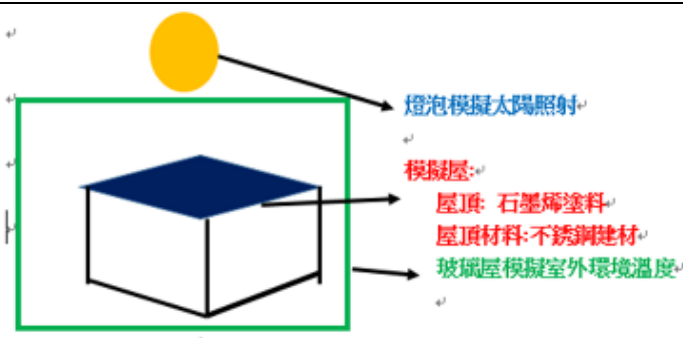
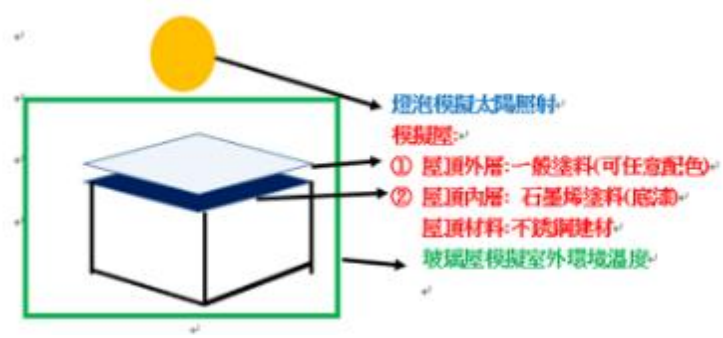
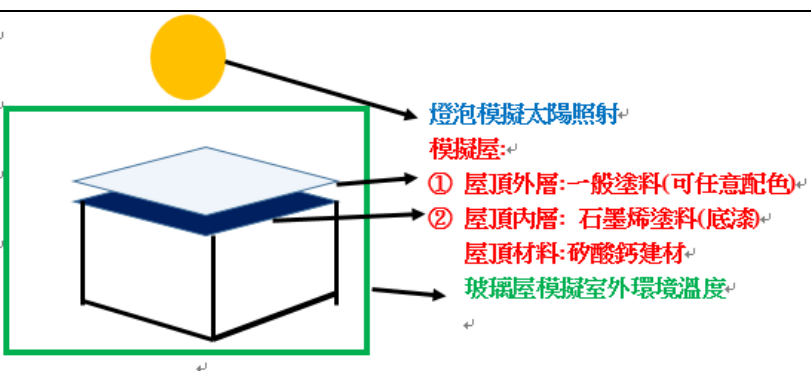
四、阻熱係數 (R) 實驗

阻熱係數(R): 阻熱 (thermal resistance) 是指在有溫度差的情形下，物體抵抗垂直傳熱的能力。垂直熱導率越好的物體，阻熱通常會比較低，熱將穿透物質往內層傳遞。一物體的絕對熱阻是指在單位時間內當有單位熱能量通過物體時，物體兩端的溫度差。是垂直傳熱係數的倒數。

$$R = \frac{A \times \Delta T}{W \times D}$$

實驗過程	實驗操作圖
<ol style="list-style-type: none"> 使用 100W 燈泡作為光源。 照射 10 分鐘後不銹鋼片的正面溫度達 55 而 60$^{\circ}\text{C}$，測量不銹鋼片背面溫度，計算正面與背面 ΔT 溫度差。 不銹鋼片節面積 $10\text{cm} \times 10\text{cm} = 0.01\text{cm}^2$ 計算熱組係數 R。 實驗組是塗上石墨烯、氧化石墨烯、石墨、活性碳的不銹鋼片，對照組是塗上介質的不銹鋼片 不銹鋼距熱源 10cm 不銹鋼片與支架接觸點使用保麗龍避免熱量散失 	

七、模擬屋實驗

實驗	塗料塗層	屋頂材料	設計構造圖示
八	單層:石墨烯塗料 顏色黑色	不銹鋼 建材	 <p>燈泡模擬太陽照射</p> <p>模擬屋:</p> <ul style="list-style-type: none"> 屋頂: 石墨烯塗料 屋頂材料: 不銹鋼建材 玻璃屋模擬室外環境溫度
九	雙層: 外層:一般塗料 可任意配色 內層:石墨烯塗料 底漆黑色	不銹鋼 建材	 <p>燈泡模擬太陽照射</p> <p>模擬屋:</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 屋頂外層: 一般塗料(可任意配色) ② 屋頂內層: 石墨烯塗料(底漆) 屋頂材料: 不銹鋼建材 玻璃屋模擬室外環境溫度
十	雙層: 外層:一般塗料 可任意配色 內層:石墨烯塗料 底漆黑色	矽酸鈣 建材	 <p>燈泡模擬太陽照射</p> <p>模擬屋:</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 屋頂外層: 一般塗料(可任意配色) ② 屋頂內層: 石墨烯塗料(底漆) 屋頂材料: 矽酸鈣建材 玻璃屋模擬室外環境溫度

測量: 屋外(玻璃屋)環境溫度達 40°C 時, 屋內溫度為多少, 並評估降溫效果。

陸、結果與討論



實驗一、探討兩種製作方法生成石墨烯及氧化石墨烯特性

(一)實驗設計理念:不同製作方法生成石墨烯及氧化石墨烯特性會有所差異。

(二)實驗設計:

操縱變因	製作方法(電化學剝離法、化學氧化法)
控制變因	兩種方法製作過程溫度、時間等條件控制
應變變因	石墨烯特性(顏色、粒徑大小、純度、結構差異)

(三)結果與討論

乾電池拆解後石墨棒: 4號:0.38克、3號:0.80克、2號:1.80克、1號:6.0克	鋰電池拆解後石墨粉 0.25克
	

●結果:本實驗製作的石墨烯特性分析

電化學剝離法		化學氧化法	
石墨烯	氧化石墨烯	石墨烯	氧化石墨烯
1.粉狀細緻	1.粉狀鬆散蓬鬆	1.粉狀細緻	1.粉狀緊密
2.平面片狀結構，排列規則性較高	2.不完整六角形 旁邊有白色鍵結、排列不規則	2.平面片狀結構，排列規則性較低	2.排列較規則
3. 純度:90%	3.純度:78，%	3. 純度:75%	3.純度 89%
4. 粒徑: 270mesh ≤ 53 μm	4. 粒徑: 270mesh ≤ 53 μm	4. 粒徑: 140mesh ≤ 105 μm	4. 粒徑: 270mesh ≤ 53 μm
5.顏色較灰、有亮灰金屬光澤亮膜	5.水溶性高易吸濕潮解，容易結塊	5.有無金屬光澤	5.微吸濕潮解性
6.溶劑溶解度:高	6.溶劑溶解度:低	6.溶劑溶解度:低	6.溶劑溶解度:中等

●討論: ①哪一種方法製作的生成物較適用於隔熱降溫塗料

②乾電池與鋰電池拆解後的石墨材拆解後哪一種適合用於製作石墨烯及氧化石墨烯

(1)石墨烯:電化學剝離法製作的石墨烯優於化學氧化法製作的石墨烯，因為具有粉狀細緻、規則

性平面片排列、純度高、粒徑小、金屬光澤亮膜、溶劑溶解度:高。

- (2)氧化石墨烯:結果與石墨烯相反，化學氧化法製作的氧化石墨烯優於電化學剝離法製作的氧化石墨烯，原因是氧化石墨烯較緊密、.排列較規則、純度高、.微吸濕潮解性、.溶劑溶解度:中等。
- (3) 推測原因:①電化學剝離法在 20v 時具有高能量，能陽極石墨棒剝離，離子液體中的陽離子在陰極還原形成自由基，與石墨烯片中的 π 電子結合，形成純度高石墨烯。②再進一步氧化成氧化石墨烯時，由於電化學剝離法考慮安全性只用少量硫酸及次氯酸鈉，氧化力略顯不足，造成純度較小、結構不規則鬆散。
- (4)另外，乾電池拆解後石墨棒 1 號乾電池回收量最多，最適合用於製作石墨烯貨氧化石墨烯，鋰電池拆解過程，由於鋰的活性較大會產生起火燃後，且拆解後石墨粉劑量低，再利用性較低，但回收再利用可以考慮回收的銅箔片當作電化學剝離法製作的石墨烯的陰極電極片使用。

基於上述理由，後續實驗以電化學剝離法製作的石墨烯、化學氧化法製作的氧化石墨烯作為實驗材料。

實驗二、石墨烯及氧化石墨烯的比熱試驗

- (一)實驗設計理念: 依據「熱傳導原理」傳導介質的比熱，會造成散熱效率不同。
- (二)實驗假設: 石墨烯、氧化石墨烯比熱與對照組介質比熱會有所差異。
- (三)實驗設計:

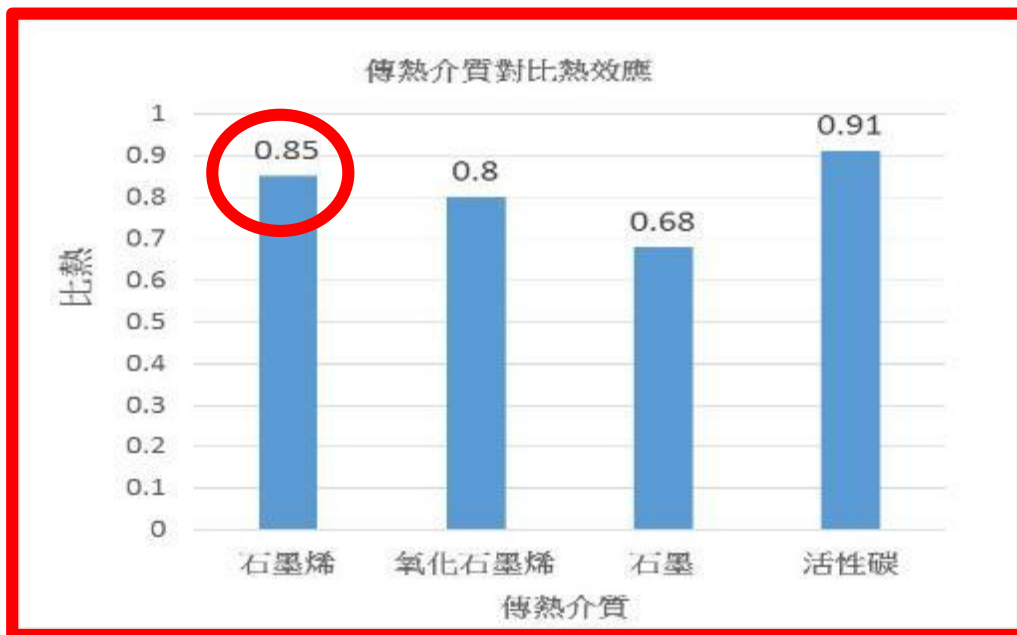
操縱變因	粉末種類不同:石墨烯、氧化石墨烯、石墨、活性炭
控制變因	待測物原始溫度(100°C)、待測物質量(10g)、冷水溫度(20°C)、冷水質量(100g)、攪拌平衡時間(2 分)
應變變因	石墨烯、氧化石墨烯、石墨、活性炭比熱

- (四)結果與討論:

$$\text{比熱公式: } C_{\text{物}} = \frac{m_{\text{水}} \times 1 \times (t_{\text{平}} - t_{\text{水}})}{m_{\text{物}} \times (t_{\text{物}} - t_{\text{平}})}$$

●傳熱介質對比熱效應

組別	平衡溫度	第一次	第二次	第三次	平均溫度	比熱
實驗組	石墨烯	26.3	26.3	26.2	26.3	0.85
	氧化石墨烯	25.9	26.0	25.8	25.9	0.80
對照組	石墨	25.0	25.2	25.2	25.1	0.68
	活性炭	26.8	26.6	26.7	26.7	0.91



●結果: 比熱: 活性碳(0.91)> 石墨烯(0.85) >氧化石墨烯(0.80) >石墨(0.68)

●討論: 探討比熱大小對降溫意義

- ① 比熱大的物質，受熱或冷卻時，溫度難升難降；比熱小的物質，受熱或冷卻時，溫度易升易降。
- ② 比熱大的物質當其他條件配合時，升降溫時會帶走更多熱量，使得加速降溫效率。例如: 水的比熱大於空氣，熱量傳輸到水中後水的溫度不會明顯上升，散熱性能優於上述直接利用空氣和風扇的系統。例如汽車及工廠的一些引擎與馬達等等，都利用水來做為冷卻系統的冷卻液。
- ③ 石墨烯比熱0.85比金屬高，因此使用其當降溫介質可以帶走更多熱量。

實驗三、探討石墨烯及氧化石墨烯散熱降溫效應

(一)實驗設計理念: 依據「熱傳導原理」傳導介質特性不同，會造成散熱降溫效率不同。

(二)實驗假設: 實驗組與對照組介質散熱降溫效率會有所差異。

(三)實驗設計:

操縱變因	介質種類(特性)
控制變因	起始溫度(150°C)、降溫時間(5 分) 塗佈介質量 2g(薄層單層)、被塗佈不銹鋼片 10×10cm，鋼片厚度 1mm
應變變因	降溫幅度、降溫速率


























(三)結果與討論

●結果表

介質種類	起始溫度(°C)				五分鐘散熱後末溫(°C)				降溫	降溫速率
	第一次	第二次	第三次	平均值	第一次	第二次	第三次	平均值	°C	°C/min
石墨烯	151.3	152.8	152.8	152.3	65.2	65.2	66.3	65.6	86.7	17.3

氧化石墨烯	151.0	151.0	152.8	151.6	84.5	84.5	80.5	83.2	69.6	13.9
石墨	155.0	153.5	153.5	154.0	89.6	91.2	88.7	89.8	63.7	12.7
活性炭	152.4	152.4	152.4	152.4	107.1	107.1	108.5	107.6	44.8	9.0
不銹鋼片 未塗介質	150.5	150.3	150.5	150.4	100.3	97.0	99.3	98.9	51.6	10.3

●結果圖:

介質種類	起始溫度			五分鐘散熱末溫)		
	第一次	第二次	第三次	第一次	第二次	第三次
石墨烯						
氧化石墨烯						
石墨						
活性炭						
不銹鋼片 未塗介質						



(1)5分鐘降溫幅度:①石墨烯(86.7)>氧化石墨烯(68.4)>石墨(64.2)>不銹鋼片(51.6)>活性碳(44.8)。

②石墨烯比對照組不銹鋼片多降溫35.2°C。

③活性碳降溫效果比未塗介質的不銹鋼片更差，反而阻礙熱能的擴散。

(2)降溫速率(°C/min):石墨烯(17.3)>氧化石墨烯(13.7)>石墨(12.8)>不銹鋼片(10.3)>活性碳(9.0)。

●討論:探討為何石墨烯降溫幅度與降溫速率較快

(1)依照熱傳學理論，熱量傳降溫的重要因素有①物質特性:介質的等向性、均質性、結構性②介質的比熱③介質的厚度④傳熱係數、阻熱係數等。

(2)石墨烯物質特性:石墨烯是一種由碳原子以sp²混成軌域組成六角型呈蜂巢晶格的平面薄膜，只有一個碳原子厚度的二維材料，具有良好的等向性、均質性、結構的扁平性。石墨烯被定義為「半金屬」，從材料的角度來看，石墨烯每個碳原子透過σ鍵與相鄰的三個碳原子連接，而每個碳原子剩下一個未成鍵的π電子與周圍的原子形成大p共軛結構，這樣π電子就能在石墨烯整個晶體結構中自由運動，利於熱量傳導散熱。

(3)介質的厚度(密度)及傳熱係數、阻熱係數部分在後續實驗繼續完成。

實驗四、探討介質塗佈厚度增厚對散熱降溫效應

(一)實驗設計理念:介質「厚度」，會造成散熱降溫效率不同。







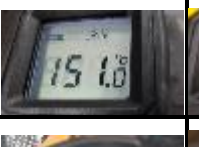

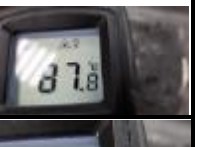


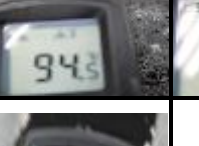
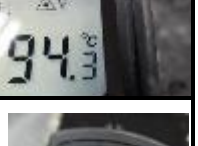







(二)實驗假設: 介質厚度讓實驗組與對照組介質散熱降溫效率會有所差異。

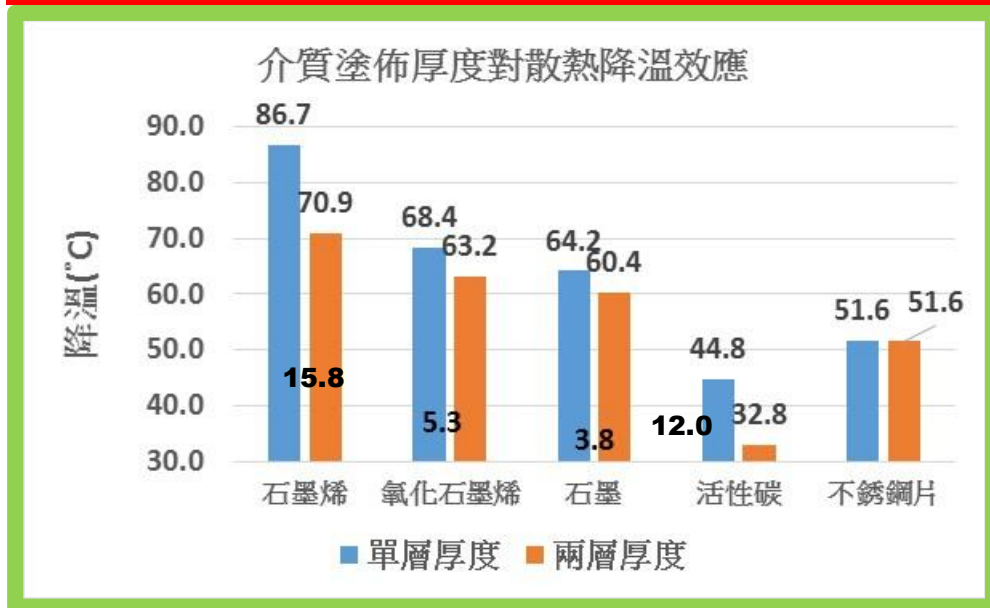
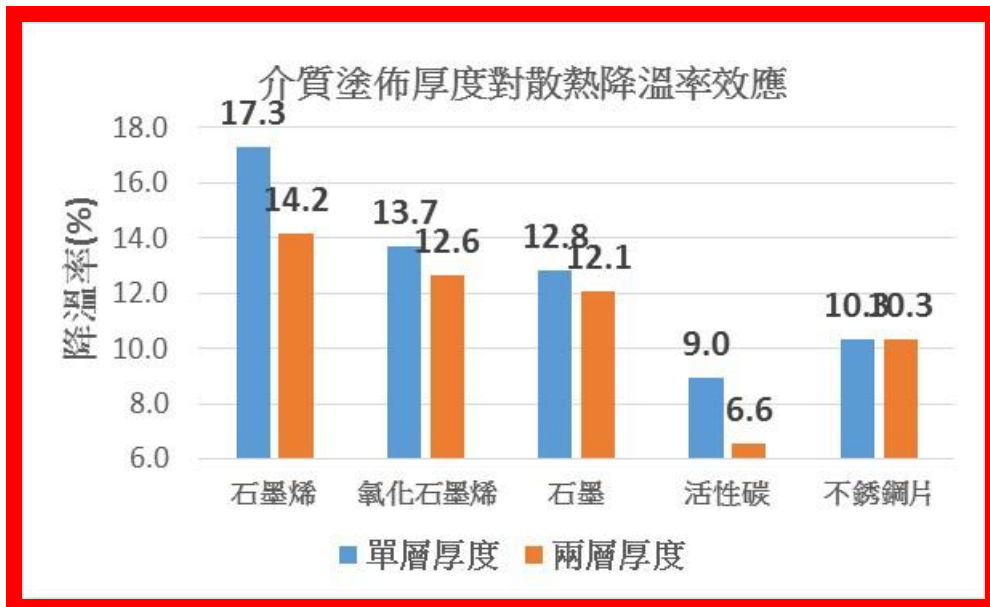
(三)實驗設計:

操縱變因	介質塗佈厚度(單層、雙層)
控制變因	起始溫度(150°C)、降溫時間(5 分) 塗佈介質量 4g(兩倍厚)、被塗佈不銹鋼片 10×10cm，厚度 1mm
應變變因	降溫幅度、降溫速率

介質種類	起始溫度				五分鐘散熱後末溫				降溫 °C	降溫速率 °C/min
	第一次	第二次	第三次	平均值	第一次	第二次	第三次	平均值		
石墨烯	149.8	150.2	150.2	150.1	79.5	79.5	78.5	79.2	70.9	14.2
氧化石墨烯	150.8	148.9	151.0	150.2	86.7	86.7	87.8	87.1	63.2	12.6
石墨	153.7	157.6	153.1	154.8	94.5	94.5	94.3	94.4	60.4	12.1
活性炭	152.4	153.5	156.3	154.1	123.0	120.1	120.6	121.2	32.8	6.6
不銹鋼片 未塗介質	150.5	150.3	150.5	150.4	100.3	97.0	99.3	98.9	51.6	10.3

結果圖:

介質種類	起始溫度(°C)			五分鐘散熱後末溫(°C)		
	第一次	第二次	第三次	第一次	第二次	第三次
石墨烯						
氧化石墨烯						
石墨						
活性炭						
不銹鋼片 未塗介質						



(三)結果與討論

●結果:(1)散熱降溫效應: 具有一致性，單層厚度>兩層厚度。

(2)降溫幅度:石墨烯(15.8)> 活性炭(12.0)>氧化石墨烯(5.5)>石墨(3.8)。

●討論: 散熱降溫效應，單層厚度>兩層厚度代表意義

(1)依照依照熱傳學理論，厚度愈大，密度愈大、水平橫向熱傳導的阻力變大，熱傳量越小，降溫速率也會隨之降低。

(2)厚度愈大，石墨烯-空氣間(固-氣相)熱擴散及水平相熱傳導降低，反而讓石墨烯-不銹鋼片(固-固相)熱傳導增加，會將熱量往不銹鋼底面傳輸，若用於室內/車內降溫，將是不利的因素。

實驗五、探討面積大小對散熱降溫效應影響

(一)實驗設計理念: 介質塗佈面積大小, 會造成散熱降溫效率不同。

(二)實驗假設: 實驗組與對照組介質散熱降溫效率會有所差異。













(三)實驗設計:

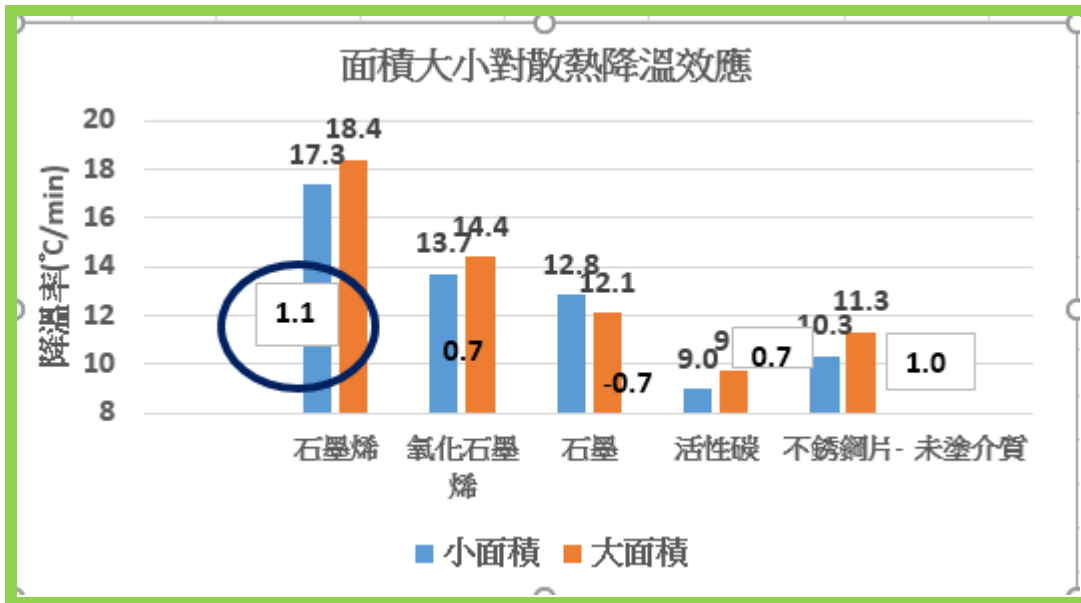
操縱變因	介質塗佈面積大小
控制變因	起始溫度(150°C)、降溫時間(5 分) 塗佈介質量 4.5g 與小面積的厚度相同、被塗佈不銹鋼片 15×15cm, 厚度 1mm
應變變因	降溫幅度、降溫速率

結果表

介質種類	起始溫度(°C)				五分鐘散熱後末溫(°C)				降溫 °C	降溫速率 °C/min
	第一次	第二次	第三次	平均值	第一次	第二次	第三次	平均值		
石墨烯	153.2	153.4	153.4	153.3	62.9	61.0	60.2	61.4	92.0	18.4
氧化石墨烯	155.7	156.1	156.6	156.1	84.0	83.5	85.6	84.4	71.8	14.4
石墨	150.6	152.4	153.1	152.0	91.2	91.9	91.2	91.4	60.6	12.1
活性炭	153.9	152.6	151.3	152.6	103.7	104.5	104.7	104.3	48.3	9.7
不銹鋼片 未塗介質	153.6	152.8	152.8	153.1	95.1	97.6	97.6	96.8	56.3	11.3

結果圖:

介質種類	起始溫度(°C)			五分鐘散熱後末溫(°C)		
	第一次	第二次	第三次	第一次	第二次	第三次
石墨烯						
氧化石墨烯						
石墨						
活性炭						
不銹鋼片 未塗介質						



- 結果:(1)散熱降溫幅度::① 大面積與小面積具有一致性趨勢。石墨烯(92.0)>氧化石墨烯(71.8)>石墨(60.6)>不銹鋼片(56.3)>活性碳(48.3)。
- ②大面積層>小面積。
- ③降溫幅度會隨面積增大而增大，但並未成正比。

(2)降溫速率:石墨烯大面積比小面積時多 1.1、氧化石墨烯大面積比小面積時多 0.71

●討論: 散熱降溫效應，大面積>小面積

- (1)依照依照熱傳學理論，面積愈大，水平橫向熱傳導的容量變大，熱傳量愈大，降溫速率也會隨之增加。
- (2)面積愈大，石墨烯-空氣間(固-氣相)熱擴散增加，反而讓石墨烯-不銹鋼片(固-固相)熱傳導降低，會將熱量減少往不銹鋼底面傳輸，若用於室內/車內降溫，將是正向有利的因素。
- (3)但由於面積增加，降溫幅度變大，但模擬屋試驗時仍以小面積為主，若小面積有良好效果，未來實際運用於大面積將會有更佳成效。

實驗六、阻熱係數(R)實驗

- (一)實驗設計理念: 依據「傳熱原理」不同傳導介質的阻熱係數不同，會造成散熱降溫效率不同。
- (二)實驗假設: 實驗組與對照組介質散熱降溫效率會有所差異。
- (三)實驗設計:

操縱變因	介質粉末種類不同:石墨烯、氧化石墨烯、石墨、活性碳
控制變因	正面(55-60°C)、燈泡照射時間(15 分) 介質塗佈質量 2g、被塗佈不銹鋼片 10×10cm，厚度 1mm
應變變因	溫度差、阻熱係數 $R = \frac{A \times \Delta T}{W \times D}$ W = 熱傳導量 (100W) ; ΔT = 溫度差(°C) ; A = 垂直於傳熱方向之截面積 (0.01m ²) ; D 距離:m。

結果表:

介質種類	正面溫度				背面溫度				溫差 °C	阻熱係數 R
	第一次	第二次	第三次	平均值	第一次	第二次	第三次	平均值		
石墨烯	59.7	61.0	59.7	60.1	29.1	28.9	29.7	29.2	30.9	0.031
氧化石墨烯	59.4	59.4	58.6	59.1	40.5	39.7	38.9	39.7	19.4	0.019
石墨	59.1	59.1	58.7	59.0	46.5	47.1	45.4	46.3	12.6	0.013
活性炭	60.1	60.0	61.1	60.4	53.2	54.7	53.7	53.9	6.5	0.0065
不銹鋼片 未塗介質	58.4	58.4	56.9	57.9	54.9	54.9	53.7	54.5	3.4	0.0034

結果圖:

介質種類	正面溫度			背面溫度		
	第一次	第二次	第三次	第一次	第二次	第三次
石墨烯						
氧化石墨烯						
石墨						
活性炭						
不銹鋼片 未塗介質						



●結果:阻熱係數:①石墨烯(0.031)>氧化石墨烯(0.019)>石墨(0.013) >活性炭(0.0065) >不銹鋼片(0.0034)。

②石墨烯阻熱係數最大。

●討論: 阻熱係數大的意義

(1)依照依照熱傳學理論，阻熱係數愈大，垂直熱傳導能力變小，熱穿透能力愈小，隔熱效果佳。

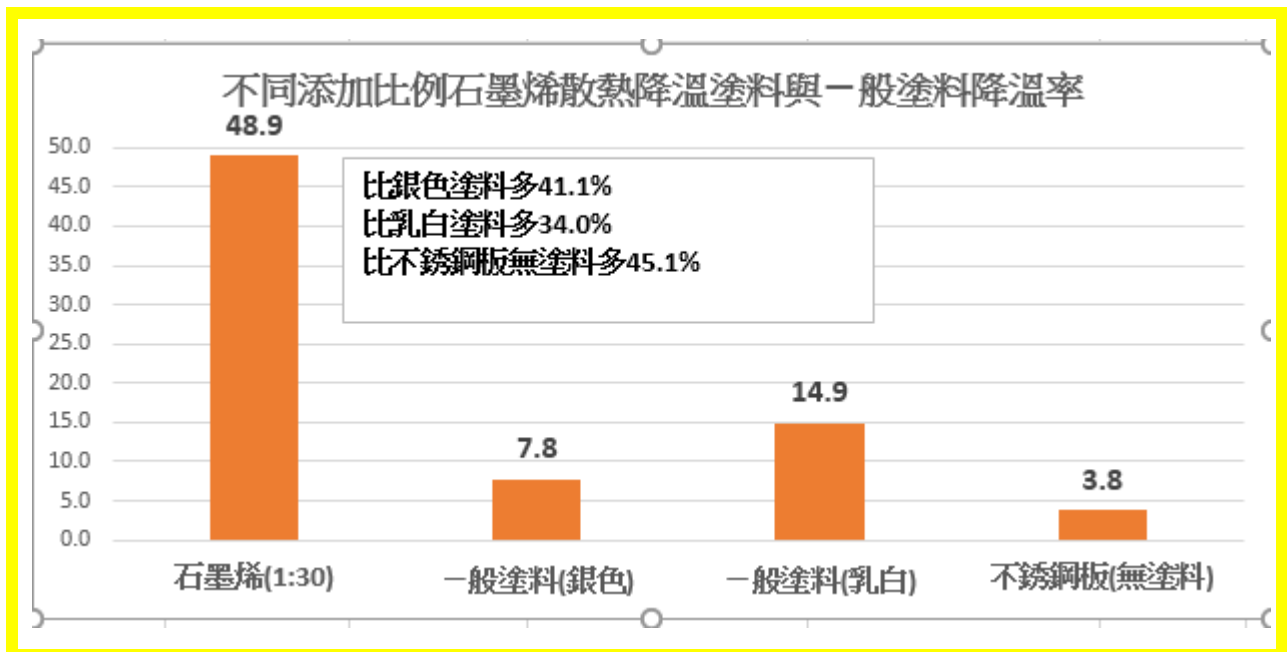
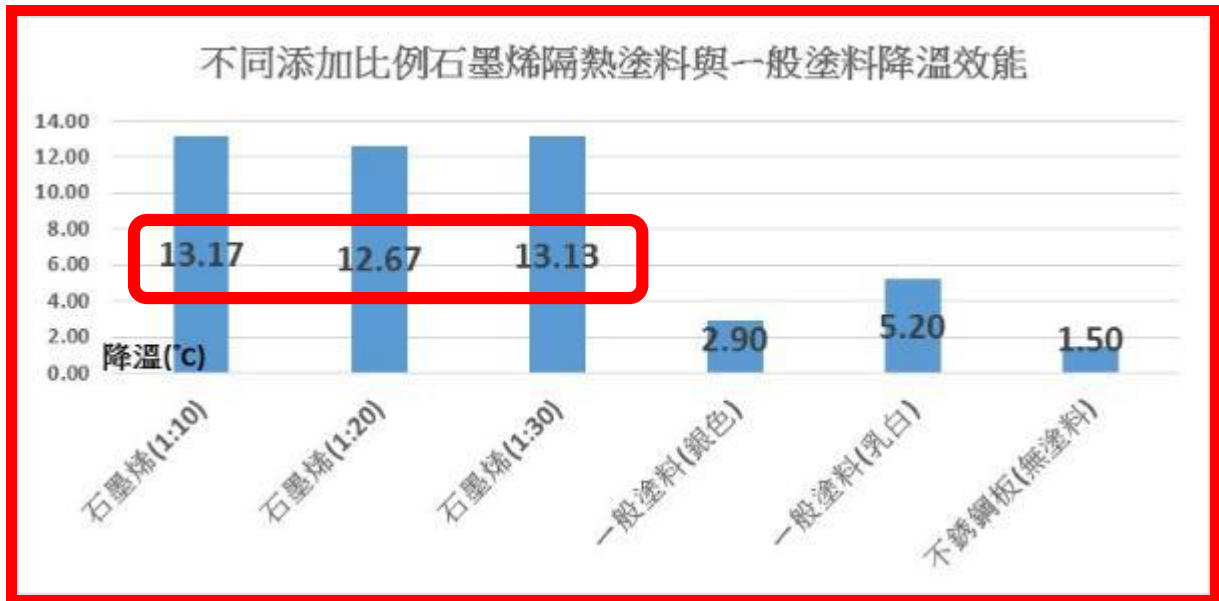
(2) 阻熱係數愈大，讓石墨烯-不銹鋼片(固-固相)熱傳導降低，將減少熱量往不銹鋼底面傳輸，若用於室內/車內降溫，將是相當有利的因素。

實驗七、探討不同添加比例石墨烯隔熱塗料與一般塗料降溫效能比較

(一)實驗設計理念:不同比例石墨烯添加的塗料，會造成散熱降溫效率不同。

組別	實驗組 石墨烯隔熱塗料不銹鋼板 (石墨烯塗料+不銹鋼板)			對照組 (一般塗料+不銹鋼板) 及無塗料不銹鋼板		
	1:10 (9%)	1:20 (4.7%)	1:30 (3.2%)	銀色	乳白色	無塗料 不銹鋼板
添佳比例 (石墨烯:塗料)						
外層溫度°C	39.7	39.6	40.0	40.2	40.1	40.5
	39.8	39.8	40.0	40.1	40.1	40.4
	39.4	40.0	39.9	40.1	40.1	40.8
內層溫度°C	26.4	27.6	26.9	36.5	34.9	39.0
	26.4	26.8	26.8	37.6	34.9	39.0
	26.6	27.0	26.8	37.6	34.9	39.2
平均降溫效果	13.2	12.7	13.1	2.9	5.2	1.5
降溫率%	49.7	46.7	48.9	7.8	14.9	3.8

組別	實驗組 石墨烯隔熱塗料不銹鋼板 (石墨烯塗料+不銹鋼板)			對照組 (一般塗料+不銹鋼板) 及無塗料不銹鋼板		
	1:10(9%)	1:20(9%)	1:30(3.2%)	銀色	乳白色	無塗料 不銹鋼板
添佳比例 (石墨烯:塗料)						
No.1						
No..2						
No.3						



●結果:(1)降溫幅度:①石墨烯(1:10):13.17°C、石墨烯(1:20):12.67°C、石墨烯(1:30):13.13。

②不同比例降溫效果接近，無明顯差異。

(2)降溫率(%):石墨烯塗料>乳白色一般塗料>銀色一般塗料>不銹鋼板無塗料

●討論:

(1)石墨烯比例意義:，不同比例石墨烯塗料降溫幅度差異不大，表示石墨烯不需要大量塗佈，只需要少量、低濃度(1:30)、薄層即能產生降溫效果。

(2)未來實際運用於室內/車內降溫，並不需大量添加，是相當有利的經濟因素，可以大幅降低塗料成本。




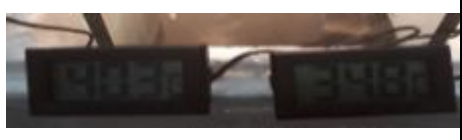







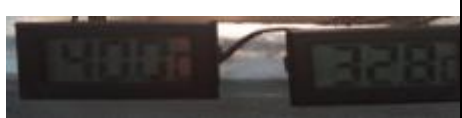
(3)降溫率: 石墨烯塗料比銀色塗料多41.1%降溫率，比乳白塗料多34.0%，比不銹鋼板無塗料多45.1%；因此，自製石墨烯塗料降溫率可以達到實用性、可用性目標。

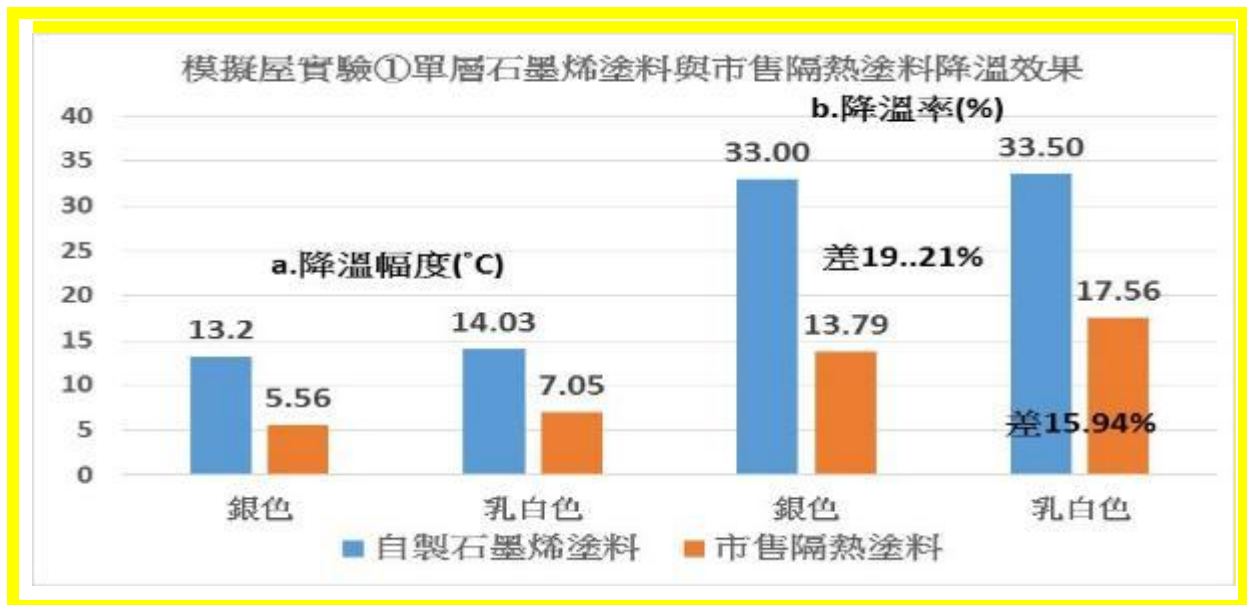
實驗八、模擬屋實驗①單層石墨烯塗料與市售隔熱塗料降溫效果比較

(一)實驗設計理念:單層石墨烯塗料與市售隔熱塗料降溫效果會有所不同。

組別		實驗組 (自製石墨烯塗料) 石墨烯:銀色塗料比例 1:30 淺灰色 石墨烯:乳白色塗料比例 1:30⇒深灰色				對照組 (市售隔熱塗料:未添加石墨烯) 隔熱塗料: 銀色 、乳白色			
塗料顏色	品牌	外層溫度	內層溫度	降溫效果	平均降溫	外層溫度	內層溫度	降溫效果	平均降溫
					降溫率(%)				降溫率(%)
銀色	No.1	40.2	26.9	13.1	13.20°C	40.3	34.9	5.4	5.56°C
	No.2	40.0	26.8	13.2	33.00%	40.3	34.8	5.5	13.79%
	No.3	39.9	26.7	13.3		40.5	34.7	5.8	
乳白色	No.1	39.7	25.5	14.0	14.03°C	40.2	33.2	7.0	7.06°C
	No.2	39.9	25.6	14.3	33.50%	40.2	33.2	7.0	17.56%
	No.3	39.7	25.7	13.9		40.0	32.8	7.2	

結果圖:

組別		實驗組 (自製石墨烯塗料)		對照組 (市售隔熱漆:未添加石墨烯)	
塗料顏色	品牌				
銀色	No.1				
	No.2				
	No.3				
乳白色	No.1				
	No.2				
	No.3				



●結果:(1)降溫幅度:①乳白色>銀色。 ②自製石墨烯塗料>市售隔熱塗料。

(2)降溫率(%):①乳白色>銀色。 ②自製石墨烯塗料>市售隔熱塗料。③與降溫幅度有一致性。

●討論:

(1)乳白色>銀色意義: 物體吸收外來的熱量後, 吸收的熱量受到反射與穿透能量多寡的與光譜有關; 吸收因子、反射因子與穿透因子, 且相關因子都與光的顏色及波長有關。

(2)通常淺色系列能量反射比例較高, 穿透能量較少, 能夠達到阻熱、隔熱效果。但比起顏色物質本身特性更重要。丙烯酸與氨基鉀酸酯即使漆成白色, 在室溫下, 其放射率仍有黑體的93%, 因此時墨西本身特性才是降溫的第一要務。

(3)降溫率: 自製石墨烯塗料, 比市售隔熱塗料效果更加, 降溫率可以增加15.94至19.21%; 因此, 自製石墨烯塗料降溫率可以達到取代性、高效性的目標。

實驗九、模擬屋實驗②自製雙層石墨烯塗料降溫效應

組別	實驗組		對照組
塗料	石墨烯底漆 +銀色表漆	石墨烯底漆 +乳白色色表漆	不銹鋼板建材 未塗漆料
屋頂材料	不銹鋼板建材	不銹鋼板建材	不銹鋼板建材
外層溫度	40.4 40.2 40.1	40.5 40.2 40.4	40.5 40.4 40.8
內層溫度	25.9 25.9 25.9	23.5 23.8 23.7	39.0 39.0 39.2
降溫幅度	14.3	16.7	1.5
降溫率%	35.6	41.4	3.7

結果圖

組別	實驗組		對照組
塗料	石墨烯底漆 +銀色表漆	石墨烯底漆 +乳白色色表漆	不銹鋼板建材 未塗漆料
屋頂材料	不銹鋼板建材	不銹鋼板建材	不銹鋼板建材
No.1			
No.2			
No.3			

●結果:(1)降溫幅度:①乳白色>銀色。

③ 雙層石墨烯塗料>單層石墨烯塗料。

(2) 降溫率(%):①乳白色>銀色。

②雙層石墨烯塗料>單層石墨烯塗料。銀色:雙層(35.6%)>單層(33.0%)、

乳白色:雙層(41.4%)>單層(33.5%)。

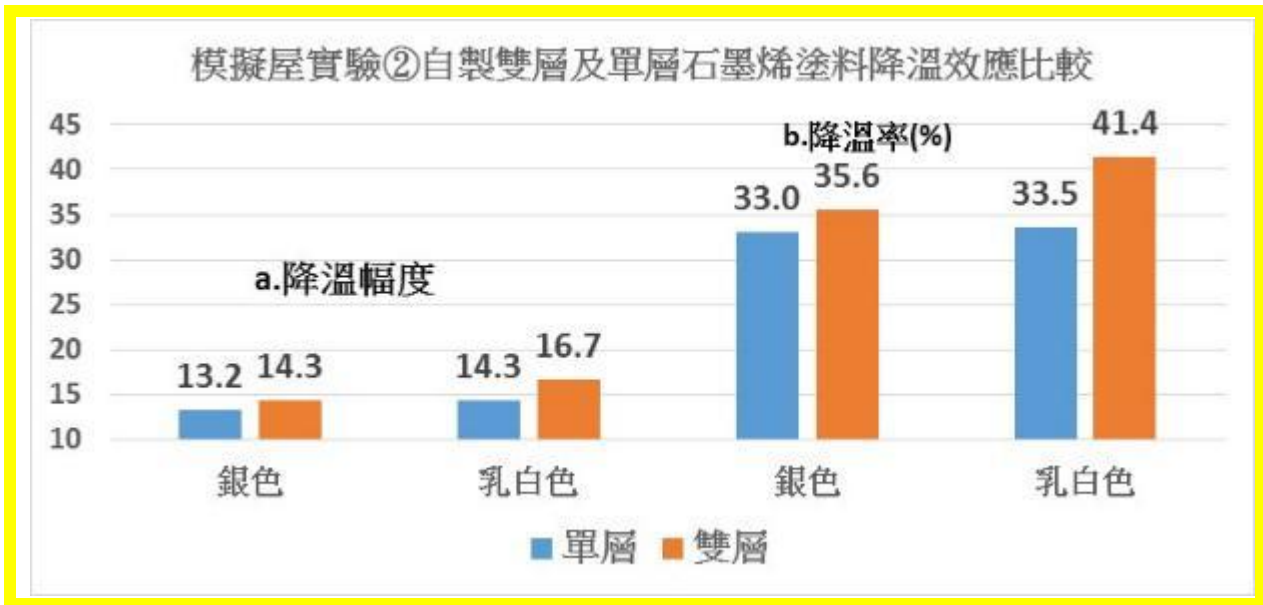
③與降溫幅度有一致性。

●討論: 雙層>單層意義

(1)①石墨烯水平熱傳導特性+②石墨烯阻熱係數大，垂直熱傳導傳能力小，熱穿透力小+③塗料淺色系的能量反射比例高⇒良好的散熱、降溫、隔熱效果。

(2)實用性:依據結果當外在環境溫度在高溫40°C時，經由石墨烯雙層塗料作用，可讓室內/車內溫度維持在23~26°C涼爽溫度，大幅降低車內、屋內溫度，減少冷氣使用，解決用電危機、間接降低火力發電的碳排放。

(3) 石墨烯為底漆，表漆可以任意選擇自己喜歡顏色塗料。這樣就會會受到石墨烯顏色灰黑的限制，達到視覺性功效。

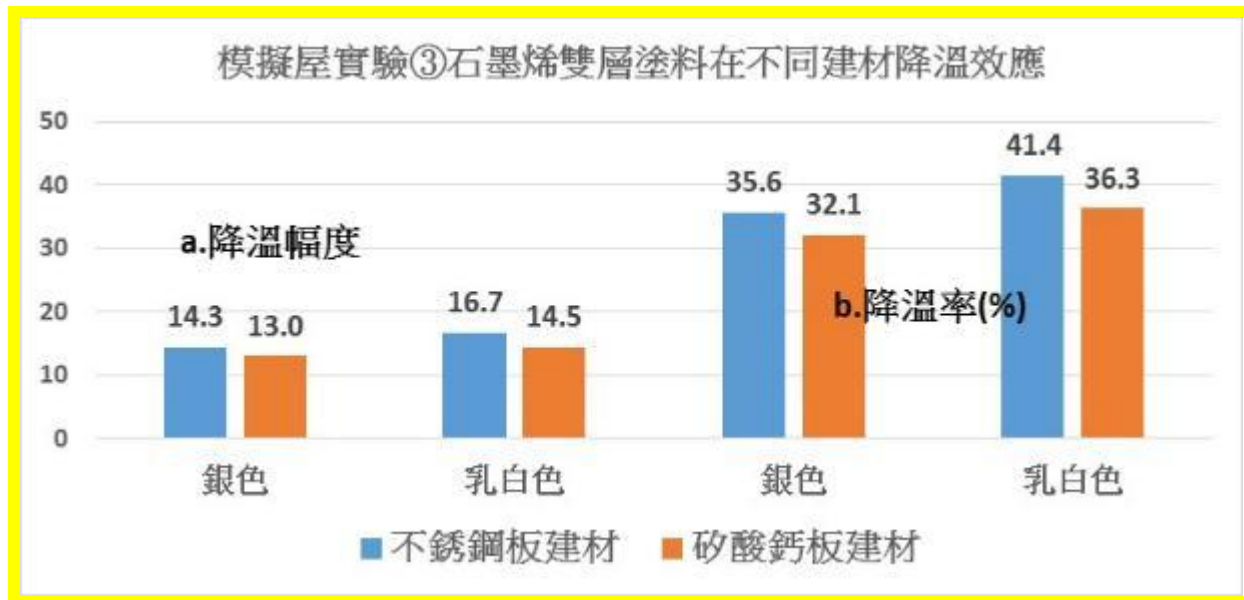


實驗十、模擬屋實驗③石墨烯雙層塗料在不同建材降溫效應

組別	實驗組		對照組
塗料	石墨烯底漆 +銀色表漆	石墨烯底漆 +乳白色色表漆	矽酸鈣板 未塗漆料
屋頂材料	矽酸鈣板建材	矽酸鈣板建材	矽酸鈣板建材
外層溫度	40.7 40.5 40.6	40.2 39.8 40.1	40.8 40.6 40.6
內層溫度	27.5 27.7 27.5	25.4 25.5 25.6	35.2 35.2 34.9
降溫幅度	13.0	14.5	5.6
降溫率(%)	32.1	36.3	13.7

結果圖

組別	實驗組		對照組
塗料	石墨烯底漆 +銀色表漆	石墨烯底漆 +乳白色色表漆	矽酸鈣板 未塗漆料
屋頂材料	矽酸鈣板建材	矽酸鈣板建材	矽酸鈣板建材
No.1			



● **結果與討論:**

●結果:(1)降溫幅度:①乳白色>銀色。

④ 不銹鋼建材>矽酸鈣板建材。

(3) 降溫率(%):①乳白色>銀色。

②不銹鋼建材>矽酸鈣板建材。銀色:不銹鋼(35.6%)>矽酸鈣板(32.1%)、

乳白色: 不銹鋼(41.4%)>矽酸鈣板(36.3%)。

③與降溫幅度有一致性。

●討論: 散熱降溫效果:不銹鋼>矽酸鈣板。

(1)不銹鋼建材表面光滑， π 電子就能在石墨烯整個晶體表結構中自由運動，利於熱量水平傳導散熱；反觀，矽酸鈣板表面粗糙坑洞，會阻礙 π 電子在水平自由運動，因此會削弱水皮傳導的效果，但因為市售矽酸鈣板厚度為 8~10mm，比市售的不銹鋼(1mm)建材厚，增加阻熱效應，因此兩者在降溫幅度及降溫率，無明顯差異。

(2) 環保性:石墨烯雙層塗料，無論用在不銹鋼板建材或矽酸鈣板建材，都具有良好的散熱降溫效果，可讓室內/ 車內溫度維持在23~28°C涼爽溫度，大幅降低車內、屋內溫度，減少冷氣使用，解決用電危機、間接降低火力發電的減少碳排放，達到節能減碳目的。

柒、結論與未來展望

實驗一、探討兩種製作方法生成石墨烯及氧化石墨烯特性分析

電化學剝離法製作的石墨烯優於化學氧化法製作的石墨烯，規則、純度高、粒徑小、金屬光澤亮膜、溶劑溶解度:高。

實驗二、石墨烯及氧化石墨烯的比熱試驗

石墨烯比熱(0.85g) > 氧化石墨烯(0.80) > 石墨(0.68g)，且比金屬高，當其他條件配合時，升溫時會帶走更多熱量，使得加速降溫效率，適合當作降溫介質。

實驗三、探討石墨烯及氧化石墨烯散熱降溫效應

石墨烯降溫幅度: (86.7)、降溫速率($^{\circ}\text{C}/\text{min}$):17.3高於氧化石墨烯及其他介質，因為具有等向性、均質性、扁平結構性特性，利於 π 電子自由運動，及利於熱量快速傳導散熱，適合用於降溫隔熱塗料。

實驗四、探討介質塗佈厚度增厚對散熱降溫效應

石墨烯散熱降溫效應，單層厚度>兩層厚度；厚度愈大，水平橫向熱傳導的阻力變大，熱傳量越小，降溫速率也會隨之降低。

實驗五、探討面積大小對散熱降溫效應影響

石墨烯散熱降溫效應，大面積>小面積，面積愈大，水平橫向熱傳導的容量變大，石墨烯-空氣間(固-氣相)熱擴散增加，降溫速率也會隨之增加。

實驗六、探討阻熱係數(R)實驗

四種碳系介質，石墨烯阻熱係數(R)最大；阻熱係數愈大，垂直熱傳導能力變小，熱穿透能力愈小，隔熱效果佳。

實驗七、探討不同添加比例石墨烯隔熱塗料與一般塗料降溫效能比較

不同比例石墨烯塗料降溫幅度差異不大，只需要少量添加、1:30 比例的薄層，即可達到降溫效果。

實驗八、實際應用模擬屋實驗一探討自製單層石墨烯塗料與市售隔熱塗料降溫效果比較

自製石墨烯塗料，比市售隔熱塗料效果更佳，可增加15.94至19.21%降溫率，顏色效應:乳白色降溫效果優於銀色。

實驗九、實際應用模擬屋實驗一探討自製雙層石墨烯塗料降溫效應

雙層石墨烯塗料>單層石墨烯塗料。石墨烯為底漆，表漆可以任意選擇自己喜歡顏色塗料，達到視覺性功效。

實驗十、實際應用模擬屋實驗一探討自製石墨烯雙層塗料在不同建材降溫效應








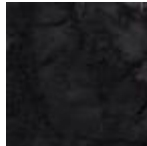


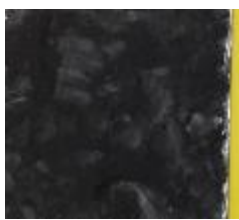






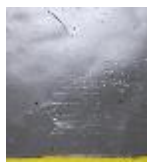

材料效應:散熱降溫效果:不銹鋼>矽酸鈣板。不銹鋼板建材或矽酸鈣板建材，都具有良好的散熱降溫效果，可讓室內/車內溫度維持在23~28 $^{\circ}\text{C}$ 涼爽溫度，減少冷氣使用，解決用電危











機、減少碳排放，達到節能減碳目的。

未來展望：

石墨烯是理想的散熱降溫介質，製成石墨烯隔熱環保塗料，效果好，用量低。試想如果全部的汽車塗料、鐵皮屋屋頂及大樓外牆全部塗上石墨烯降溫隔熱塗料，將大幅降低車內、屋內溫度，減少冷氣使用，解決用電危機、間接降低火力發電的碳排放、亦解決電池廢棄物汙染問題，畢其功於一役，啟不妙哉！。相信未來如果更進一步改良，商品化，將可以造福更多人群。

●實驗成品圖

石墨烯	氧化石墨烯	石墨	活性炭	不銹鋼板
(1)單層介質塗佈+不銹鋼板(10x10cm)				
				
(2)雙層介質塗佈+不銹鋼板(10x10cm)				
				
(3)大面積塗佈+不銹鋼板(15x15cm)				
				
(4)石墨烯添佳比例				
1:10	1:20	1:30	不銹鋼板(未添加)	
				

(5)單層石墨烯塗料		VS	雙層石墨烯塗料		
銀色	乳白色		銀色	乳白色	不銹鋼板
					
(6)雙層石墨烯塗料(不銹鋼)		VS	雙層石墨烯塗料(矽酸鈣板)		
銀色	白色		銀色	白色	矽酸鈣板(未塗)
					

捌、參考文獻

- 1.洪偉修(2010) 世界上最薄的材料-石墨烯，康熹文化事業股份有限公司。
- 2.石墨烯(2021) 取自維基百科 <https://zh.wikipedia.org/wiki/石墨烯>
3. 傅家緯(2013) 電化學剝離石墨烯之優化。中正大學碩士論文。
4. 梁詠綦(2014) 石墨烯光觸媒複合材料 之特性及應用。國立勤益科技大學。
5. 顧洋(2007) 環境工程概論 4/e 東華書局
6. 黃武章(2011) 環境化學 高立圖書公司
7. 周愛妮(2019) 中華民國第 60 屆中小學科學展覽會作品說明書
8. 賴育典(2015)薄層隔熱塗料應用於建築外殼之研究。崑山科技大學碩士論文
9. 楊國祥(2013) 屋頂隔熱磚隔熱效能之研究。中國科大碩士論文
- 10.塗料(2021) 取自維基百科 <https://zh.wikipedia.org/wiki/塗料>
11. 胡凡勳,(2015)熱傳遞學 高立圖書
12. 楊詠棋(2017)溫度旅程。第 57 屆-全國中小學科展作品
13. 華耘(2019)波光鄰璃。第 59 屆-全國中小學科展作品