

# 中華民國第 53 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國中組 生物科

佳作

030315

蝴蝶鱗片散熱的秘密－仿生材料的探討與應用

學校名稱：臺北市立中正國民中學

作者：  國二 柯秉森  國二 蔡青瑾	指導老師：  張琬珮  吳榛庭
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：鱗片、仿生、散熱

## 摘要

為探索蝴蝶為何在太陽光的高溫持續照射下仍可以快速散熱,且優美自在的飛翔,所以本研究想進一步瞭解蝴蝶翅膀的構造,及其散熱機制之後,仿照此一機制其中的蝴蝶鱗片的材質- 細微幾丁質,達到材料仿生的目的。

本研究將蝴蝶鱗片, 100%幾丁質, 細末甲殼素(92%幾丁質), 奈米碳, 石墨烯, 及散熱膏, 在燈泡上加熱, 以尋求散熱最佳組合; 也將之應用在熱水加入玻璃杯, 鋼杯, 鋁合金等容器之外殼, 更將甲殼素與散熱膏混合物, 填補在電腦 CPU 與熱管縫隙中, 實驗結果得證, 果然細末幾丁質(本實驗稱甲殼素), 果然有良好的散熱傳導效果。

## 壹、研究動機

炎炎夏日, 到科學博物館參觀了仿生獸的展覽, 才一走出展館, 汗水如雨水般落下。無意一瞥, 草叢中的蝴蝶卻泰然自若的吸取花蜜, 靈光一閃, 蝴蝶是否有"秘密武器"防止酷熱太陽的"烤"驗呢? 關於七年級上學期 6-3 體溫與血糖的恆定, 關於人體排汗調節體溫的功能, 我們想看看是否能藉由本實驗了解蝴蝶降溫機制, 進而改善我們的生活呢? 於是我們選擇最容易看到的無尾鳳蝶及圓紫斑蝶研究!

## 貳、研究目的

- 一、探討溫度對鳳蝶的影響:
- 二、研究鳳蝶及圓紫斑蝶翅膀的結構並探討翅膀鱗片的散熱機制:
- 三、探討蝴蝶翅膀鱗片與其他散熱物質的比較:
- 四、探討散熱物質應用:

## 參、研究器材及材料

- 一、器材類: 複式及功能性顯微鏡、電子顯微鏡、燒杯、電子秤、雷射測溫器、燈泡  
茶葉罐、鋼杯、玻璃杯、馬克杯、小鋁合金鍋、  
電腦主機 ASUS Nova P22 主機 及 Intel Core Temp 程式偵測 CPU 溫度
- 二、材料類: 幾丁質、甲殼素、奈米碳、石墨烯、散熱膏(Silicon Heat Sink Paste Y-500 CPU  
散熱膏, 主要塗抹於 CPU 上散熱, 增加 CPU 壽命, 導熱率: 3.0W/mk) 、  
無尾鳳蝶標本: 在自家柑橘樹葉上鳳蝶的幼蟲, 經餵養羽化成鳳蝶, 且實驗  
中也餵食蜂蜜水, 實驗完畢就放生, 並且有些跟大學取得, 圓紫斑蝶標本:  
跟大學取得

## 肆、研究過程與結果

### 一、探討溫度對鳳蝶的影響

(一)、展翅架用燈泡對鳳蝶加溫的測試 (此活體鳳蝶羽化時就已殘翅,有全程錄影羽化過程,且針並無刺傷蝴蝶, 實驗完後就放生)



展翅架上張開的蝴蝶翅膀



25W 燈泡照射蝴蝶翅膀

展翅架上量測結果：

日期	序號/ 加熱時間(3 min)	空白展翅板溫度(°C)	A	B	C	D	E	F	G	H
	0	31	31	31	31	31	31	31	31	31
7月31日	1	32	32	32	32	32	32	32	32	32
	2	33	33	33	33	33	33	33	33	33
	3	34	34	33	34	34	33	33	34	34
	4	35	35	35	35	35	35	35	34	34
	5	35	35	35	33	35	35	35	35	35
	6	35	34	34	34	35	35	34	34	34
	7	35	34	35	34	35	35	35	34	33

發現:

翅膀各點皆呈現均溫分佈,尤其是當展翅板溫度增溫至 36°C時,蝴蝶仍呈現 35°C,但發現蝴蝶在實驗時,不停想鼓動翅膀,且有發現翅膀上出現白色反光,似乎鱗片表面上有結構變化,但無法用相機拍下, 需要更高倍率顯微鏡觀察

(二)、塑膠罐用燈泡加溫對鳳蝶的測試：

當蝴蝶體溫高達 35~36°C 就想要鼓動翅膀, 故將蝴蝶放置塑膠罐觀察箱中,仍用燈泡照射,進而測量蝴蝶翅膀及身體溫度的變化



塑膠罐內用燈泡加溫的蝴蝶



塑膠罐內測溫的蝴蝶

塑膠罐內量測結果：

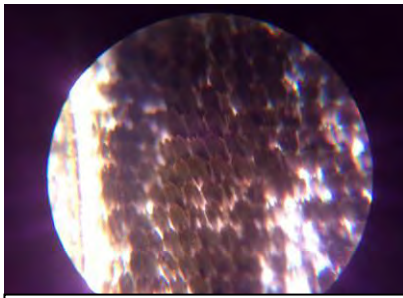
日期	加熱時(min)	左前翅中間	身體中間	右前翅中間	Remark
8月2日	0	32	33	33	
	3'	35	35	35	
	6'	38	38	38	
	9'	39	40	39	舞動翅膀
	12'	32	33	33	
	15'	32	33	33	
	18'	34	35	35	
	21'	38	38	38	舞動翅膀
	24'	32	34	32	
	27'	35	35	35	舞動翅膀
	30'	33	33	32	
	33'	34	34	33	
	36'	33	35	34	
39'	31	34	32	關燈	

發現：

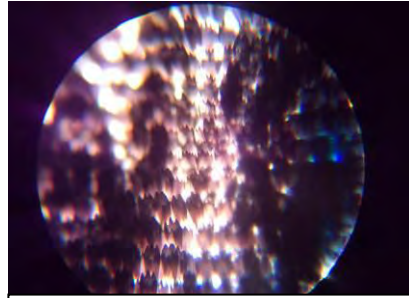
- 1、當身體溫度到達 35~40°C 時就會舞動翅膀,則翅膀就降溫約 3-6°C
- 2、當燈泡關燈後翅膀溫度降溫明顯,約 1~2°C

二、研究鳳蝶翅膀的結構並探討鳳蝶翅膀的散熱機制 (感謝大學提供鳳蝶及紫斑蝶標本)

(一)、以複式顯微鏡觀察鳳蝶翅膀結構，測試翅膀鱗片是否會隨溫度升降而打開或膨脹



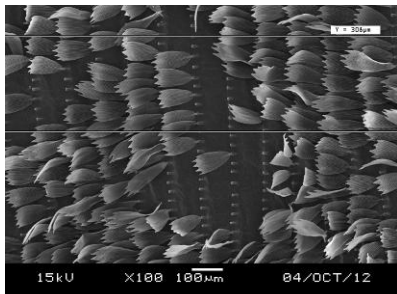
用燈泡加溫前的蝴蝶翅膀



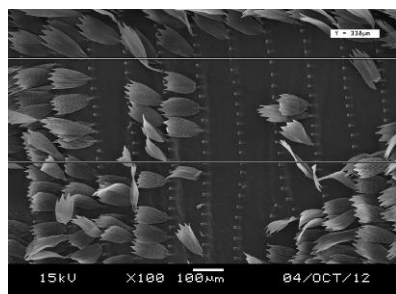
用燈泡加溫後的蝴蝶翅膀

發現：用燈泡加溫當溫度達 36-40°C時,看見鱗片站立, 但無法證實鱗片打開或膨脹

(二)、以電子顯微鏡觀察鳳蝶翅膀鱗片結構：



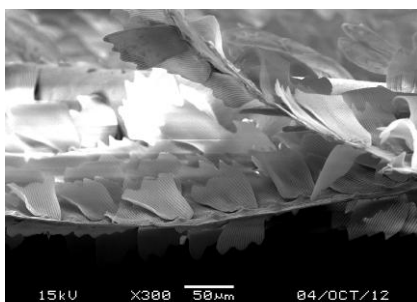
a.鱗片插軸 10 個距:338um



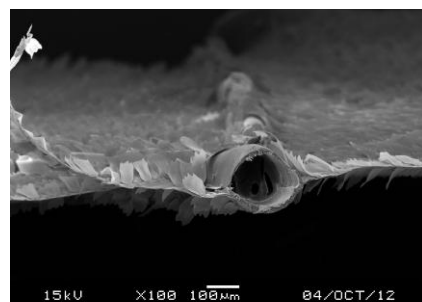
b. 鱗片插軸 10 個距:308um

發現：

- 1、用電子顯微鏡切片觀察，因為要先鍍金後，再放入電顯儀器中，無法觀察持續加溫時鱗片有無打開或膨脹，是如何利用鱗片結構散熱的，資料無法在此取得證明
- 2、從圖片 a-b 中,可得知鱗片的排列規律。每兩個插軸間隔恰為一個鱗片，每一鱗片皆與左右鱗片相互覆蓋以快速散熱
- 3、從圖可得知掉落鱗片的翅膀有排列規律的插軸，因此知道鱗片是一片片插在排列整齊的孔洞上，由此剝落的區域發現，除了骨骼外,薄膜，測 10 個鱗片長約 308um ~338um。可知當增溫時，透過鱗片，以最大面積並經由鱗片兩兩參差,可自動加快熱傳效應。若蝴蝶又感覺身體太熱，就會鼓動翅膀，經過此鼓動後產生的熱對流讓蝴蝶就算是在炎熱高溫下，仍可以輕鬆享受陽光，自動調節體溫



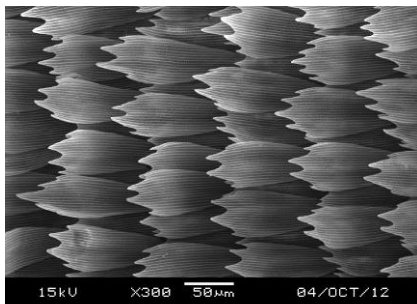
c.放大 300 倍翅膀橫切面



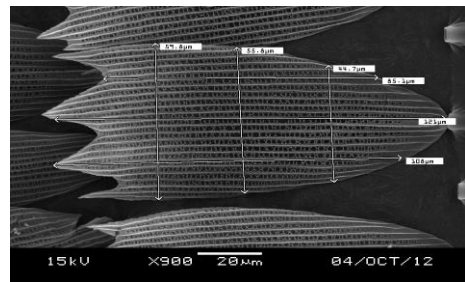
d.放大 100 倍翅膀縱切骨

發現：

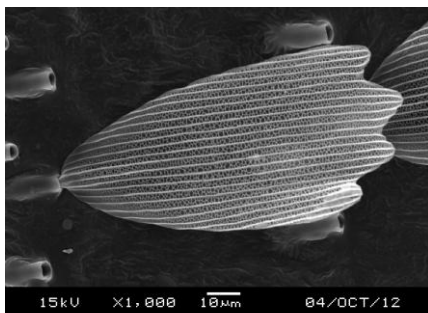
4、從圖片 c-d 中，翅膀剖切面,可得知蝴蝶翅膀的骨骼是中空, 是否蝴蝶會藉由體液流動時讓熱消散加快, 在此實驗無法得知



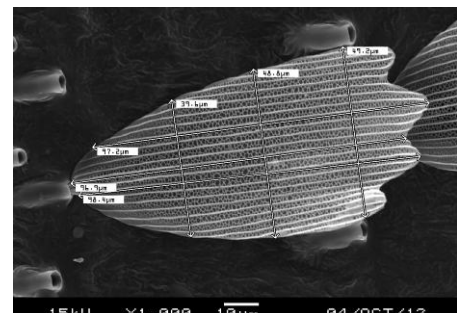
e.放大 300 倍翅膀的鱗片



f. X900 鱗片 最長:121µm;最短: 85.1µm; 最寬:59.8µm,最窄: 44.7µm



g.放大 1000 倍翅膀的鱗片



h. X900 鱗片 最長:98.4µm;最短: 96.9µm; 最寬:49.2µm,最窄: 39.6µm

發現：

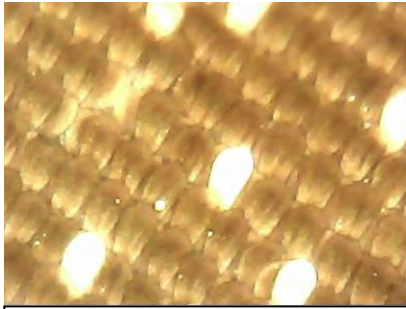
5、從圖片 e-h 中，可得知蝴蝶翅膀的鱗片大小；長約  $120-128 \mu m$  寬約  $51- 60 \mu m$  之間，鱗片呈現扇形，且尾端邊緣有如四~五個尖突山形，可行導流作用,鱗片最前端則演化成尖形硬插狀,幾丁薄翼上則演化出許多孔洞使每一鱗片插入其中, 但若遇外力則會脫落, 經資料查詢鱗片是由幾丁質組成

(三) 以電子顯微鏡觀察鳳蝶化學性鱗片與圓紫斑蝶物理性鱗片結構之比較

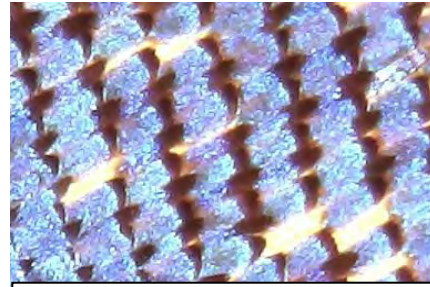


1,前翅

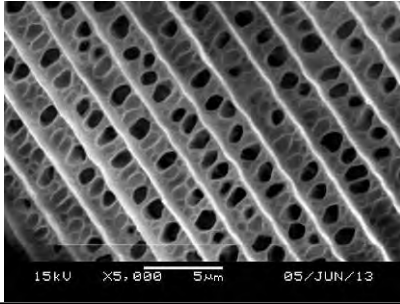




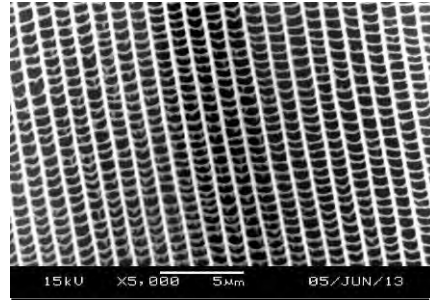
鳳蝶前翅(有色素顆粒)



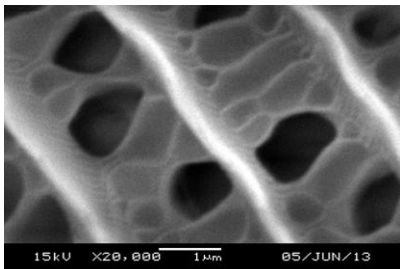
圓紫斑蝶前翅(無色素顆粒)



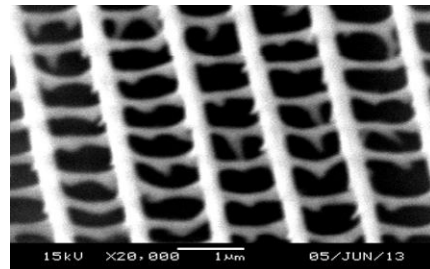
a. 鳳蝶前翅 x5000



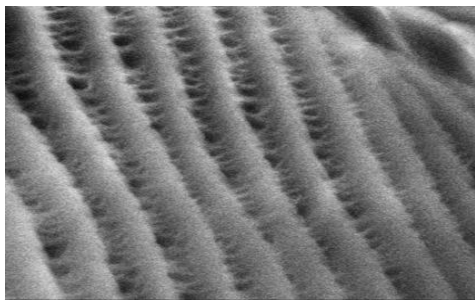
d. 圓紫斑蝶前翅 x5000



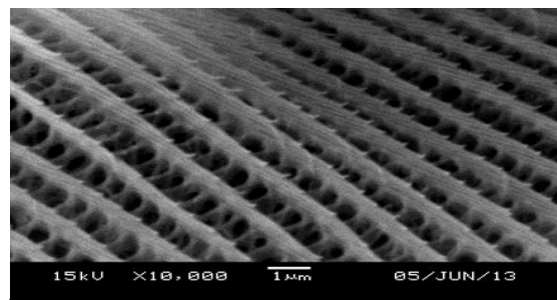
b. 鳳蝶前翅 x20000



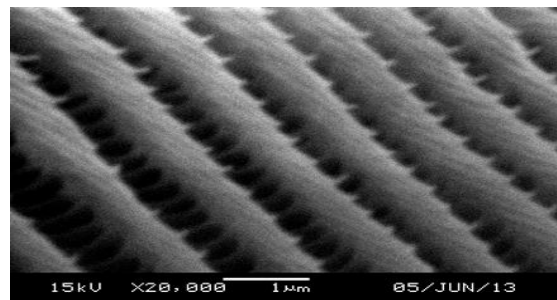
e. 圓紫斑蝶前翅 x20000



c. 鳳蝶前翅 x10000(傾斜 65 度)



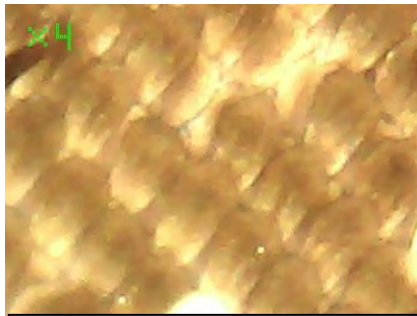
f. 圓紫斑蝶前翅 x10000(傾斜 65 度)



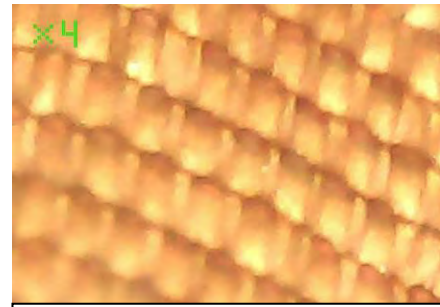
g. 圓紫斑蝶前翅 x20000(傾斜 65 度)

發現：從圖 a 與 d 比較，圓紫斑前翅孔洞較鳳蝶大且多；圖 b 鳳蝶的支架與孔洞間有白膜，主要是覆著其色素顆粒，但圖 c 可見其並無紫斑之物理結構，無法展現幻色；圖 e 紫斑前翅突起，沒有覆著色素顆粒，有規則波紋狀結構，且有如圖 g 樹枝狀且梯形段差主支架結構，可造成如三稜鏡，經光的折色及散色，由於其構造正好可以折射出藍及藍紫光，所以其幻色以藍及藍紫光為主

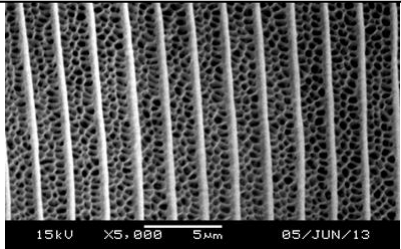
2.,後翅



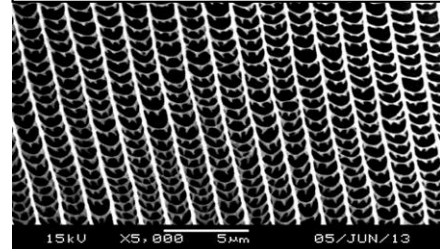
鳳蝶後翅(黑白點處)



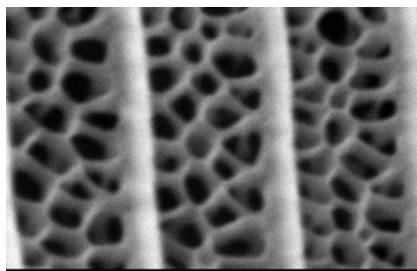
圓紫斑蝶後翅



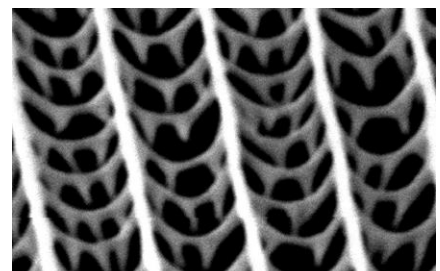
h.鳳蝶後翅 x5000



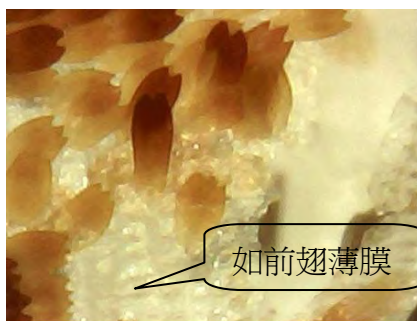
k.圓紫斑蝶後翅 x5000



i.鳳蝶後翅 x20000



l.圓紫斑蝶後翅 x20000

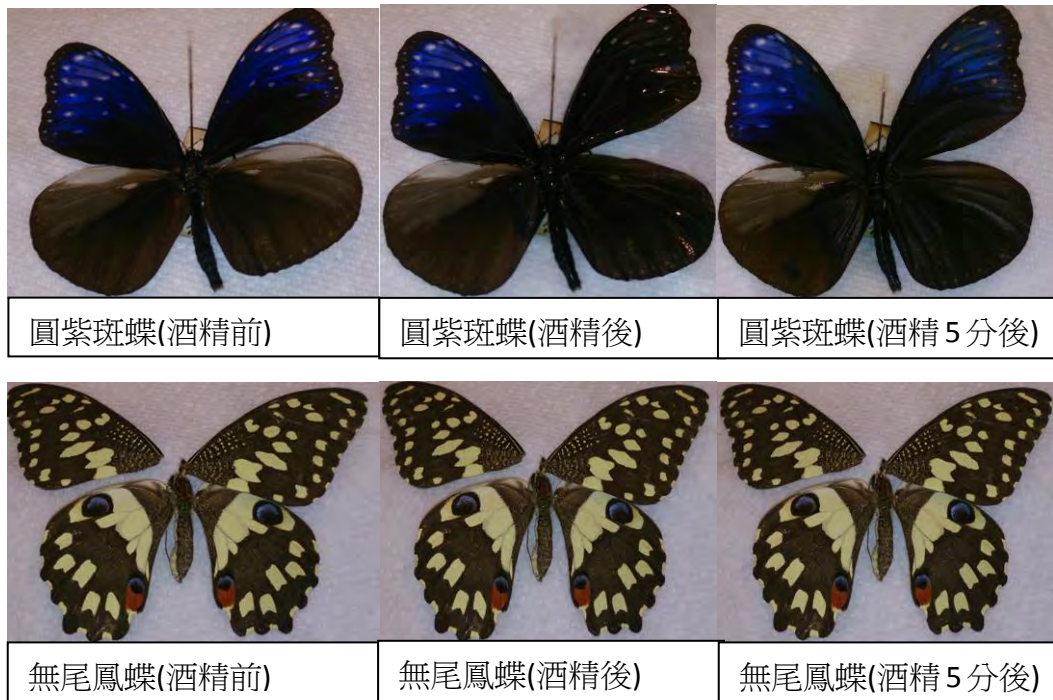


j.鳳蝶後翅(紅點處)



發現：從圖 h 與 k 比較，圓紫斑前翅孔洞較鳳蝶大且多；圖 i 鳳蝶的支架與孔洞間白膜較前翅少，但於後翅紅點處(如圖 j)，卻可見如前翅的薄膜，覆著色素顆粒；圖 k 紫斑後翅突起，較前翅有多突起，規則波紋狀結構，且無發現如紫斑前翅樹枝狀且梯形段差主支架結構，故紫斑後翅並不具幻色功能

(四) 以酒精加入鳳蝶化學性鱗片與圓紫斑蝶物理性鱗片結構之比較



發現：化學性鱗片(無尾鳳蝶)對於酒精並不會改變其色澤之呈現，物理性鱗片(圓紫斑蝶)對於酒精所干擾其光線折射與散色，有顯著影響，當酒精揮發後，又可見其藍紫幻色

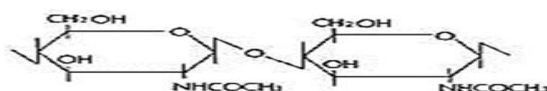
三、探討鳳蝶翅膀鱗片與幾丁質、其他散熱物質的比較：

(一) 以電顯觀察幾丁質、甲殼素、石墨烯與奈米碳與鱗片結構及材質相關性比較：

1,幾丁質(Chitin)：材質相關性，與蝴蝶的鱗片材質一樣；化學式

$(C_8H_{13}NO_5)_n, n=1000-3000$ ，屬於自然界的一種含氮多醣類生物性高分子，是由 N-乙醯葡萄糖胺及葡萄糖胺以  $\beta$ -1,4 鍵結而成。它的構造類似纖維素的直鏈狀醣類聚合物，不同的是纖維素在 C-2 位置上所接的是羥基，幾丁質與幾丁聚醣在 C-2 位置上所接的則是乙醯胺基或胺基。

在本實驗所得材料，經電顯測得不規則且巨大粒子，如圖 m 所示有 2.44mm 直徑的大顆粒，與蝴蝶翅膀結構大小有所出入



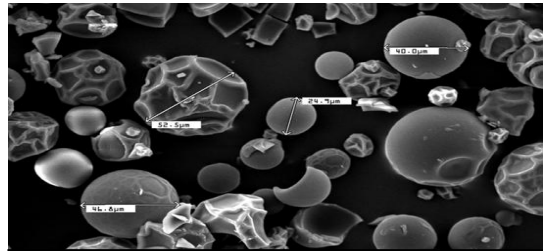
2, 甲殼素,又稱幾丁聚醣( Chitosan): 材質與結構與蝴蝶鱗片最為相近; 化學式  $(C_6H_{11}NO_4)_n$   $n=1000-3000$ ,幾丁聚醣是幾丁質去乙酰基產物,通常將幾丁質去乙酰基程度達 70%以上即可變成可溶於酸性的幾丁胺糖產物



由圖 n 所示, 以結構探討, 由於最大量測顆粒約 50um 直徑, 最小顆粒則約有 2~ 4um 者,大大小小顆粒組成後,孔洞將與蝴蝶翅膀孔洞約 1um 近似, 且材質相似



m.幾丁質 x18, max:2.44mm



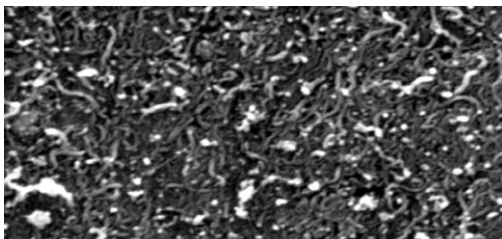
n.甲殼素 x500, max:50um, min:2um

3, 奈米碳管(MWNT): 以結構而言與蝴蝶鱗片相近, 材質上也是很好的散熱物質; 每一層都可以看成是捲曲成無縫中空管狀的石墨烯(graphene), 奈米碳管(導熱係數: 大於2800 瓦特/公尺-K (類似鑽石))

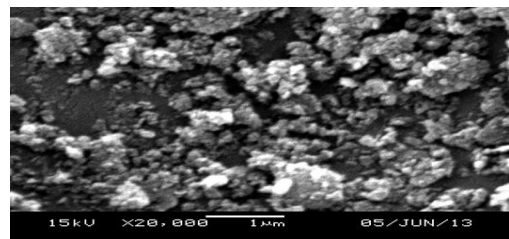
由圖 o 所示, 奈米碳管,在尺寸上類似蝴蝶鱗片之結構支架, 但其中孔洞在此材料中, 並無形成; 材質上也與鱗片不一樣,但其散熱很好, 故放於本實驗比較組中

4, 石墨烯(graphene): 以材質上是很好的散熱物質與蝴蝶鱗片相近; 石墨烯的導熱率 (W/mK)是目前最佳的物質在(4840±440) - (5300±480)之間,

由圖 p 所示, 石墨烯是粒子狀態, 呈現不同形狀聚合現象, 與蝴蝶鱗片明顯不同; 孔洞在此材料中,也無形成; 材質上也與鱗片不一樣,但其散熱很好, 故放於本實驗比較組中

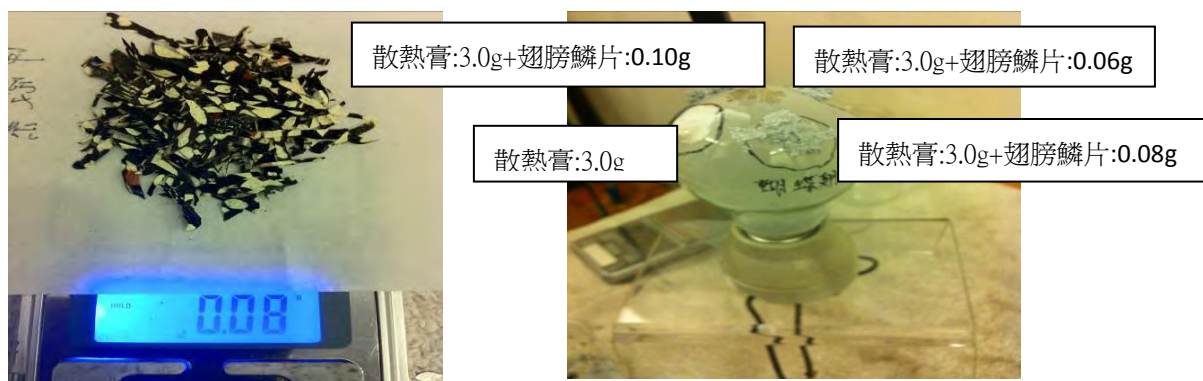


o.奈米碳,x20000,



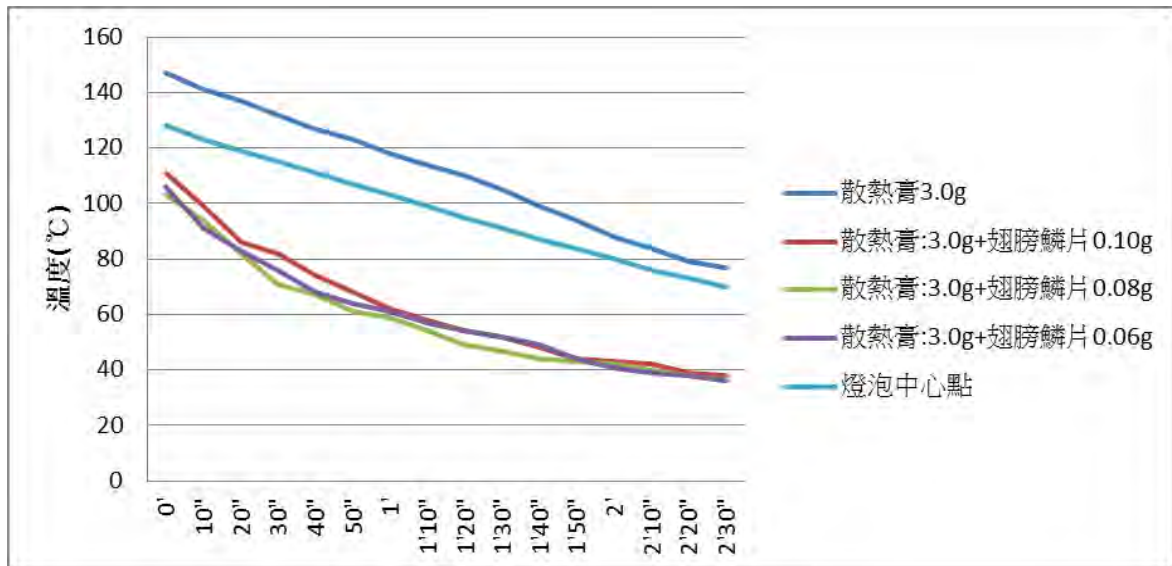
p.石墨烯,x20000,

(二)、翅膀鱗片：將散熱膏,翅膀鱗片依劑量攪拌均勻,並將其依次塗抹在燈泡上,以雷射測溫器測得三次溫度,求得平均數如下圖：



散熱膏+翅膀鱗片量測溫度:

時間/ 溫度 (°C)	散熱膏3.0g	散熱膏:3.0g+翅 膀鱗片0.10g	散熱膏:3.0g+ 翅膀鱗片0.08g	散熱膏:3.0g+ 翅膀鱗片0.06g	燈泡中心點
0'	147	111	103	106	128
10"	141	99	94	91	123
20"	137	86	82	83	119
30"	132	82	71	76	115
40"	127	74	67	68	111
50"	123	68	61	64	107
1'	118	62	59	61	103
1'10"	114	58	54	57	99
1'20"	110	54	49	54	95
1'30"	105	52	47	52	91
1'40"	99	48	44	49	87
1'50"	94	44	43	44	84
2'	88	43	42	41	80
2'10"	84	42	40	39	76
2'20"	79	39	38	38	73
2'30"	77	38	36	36	70

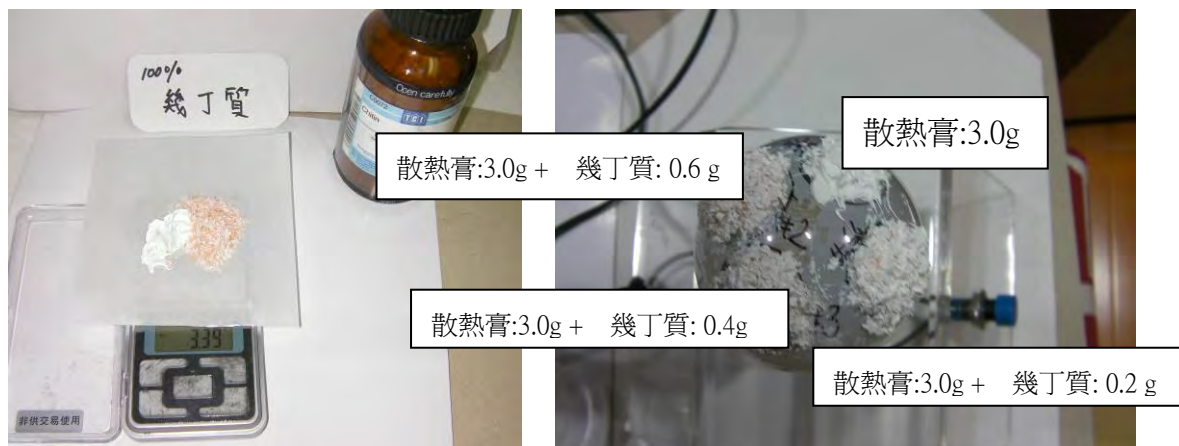


**結果:**

- 1、蝴蝶翅膀不易切細，故用散熱膏攪拌並不均勻
- 2、從蝴蝶翅膀中，可得知翅膀的重量隻大約 0.02 g,由於數量有限只做三組
- 3、蝴蝶翅膀加散熱膏在燈泡上的確有散熱降溫效果

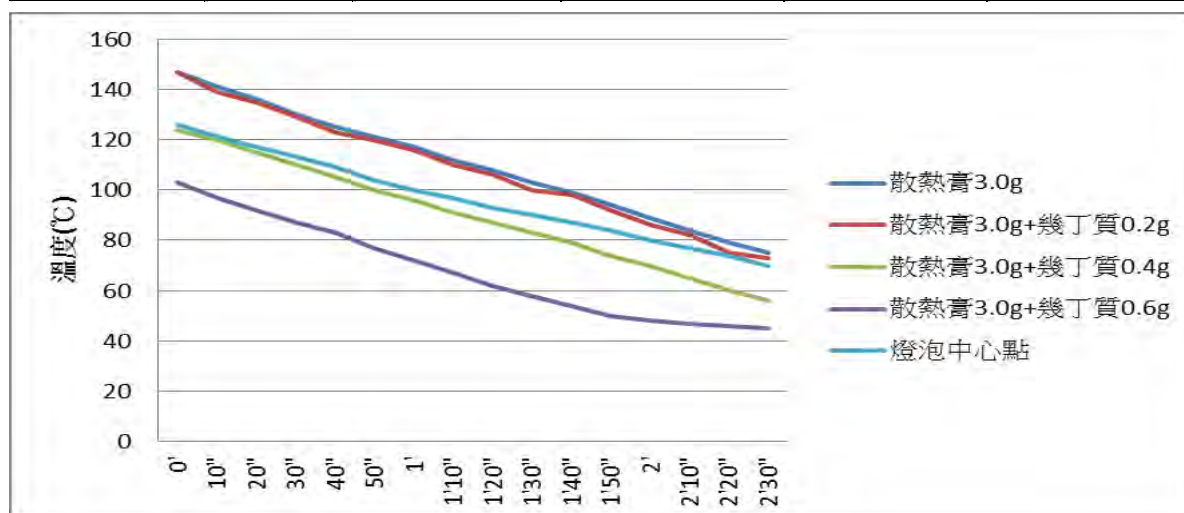
**(三)、幾丁質：**

將散熱膏，幾丁質依劑量攪拌均勻並將其依次塗抹在燈泡上,以雷射測溫器依次測得三次溫度，求得平均數如圖



散熱膏+幾丁質質量測溫度:

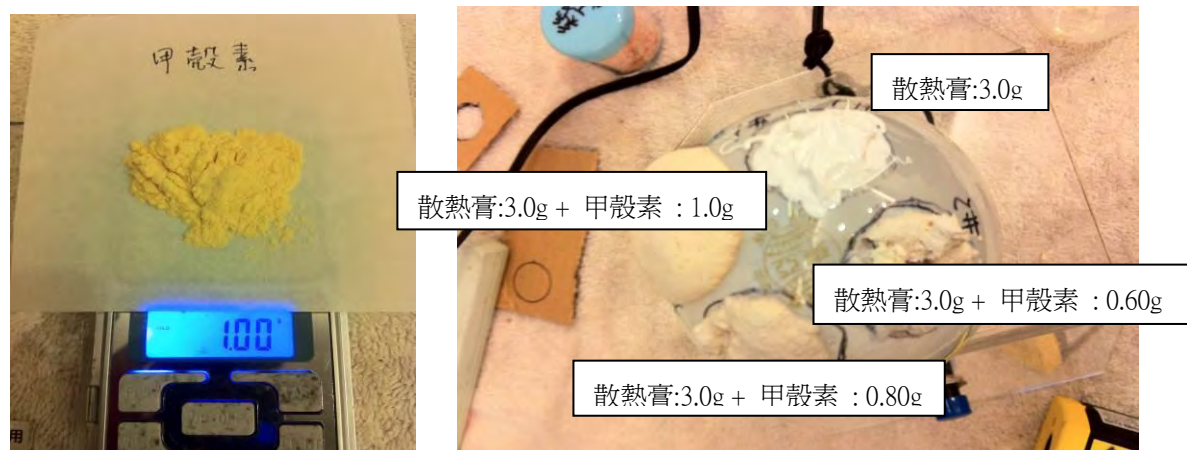
時間/ 溫度 (°C)	散熱膏 3.0g	散熱膏3.0g+ 幾丁質0.2g	散熱膏3.0g+ 幾丁質0.4g	散熱膏3.0g+ 幾丁質0.6g	燈泡中心點
0'	147	147	124	103	126
10"	141	139	120	97	121
20"	136	135	115	92	117
30"	130	129	110	87	113
40"	125	123	105	83	109
50"	121	120	100	77	104
1'	117	116	96	72	100
1'10"	112	110	91	67	97
1'20"	108	106	87	62	93
1'30"	103	100	83	58	90
1'40"	99	98	79	54	87
1'50"	94	92	74	50	84
2'	89	86	70	48	80
2'10"	84	82	65	47	77
2'20"	79	75	60	46	74
2'30"	75	73	56	45	70



結果: 散熱膏:3.0g+幾丁質:0.60g 測得溫降最大, 此幾丁質較硬且非粉末狀,與散熱膏調合時無法均勻調成,故量測時發現有些點在同一區塊,溫度卻相差很大

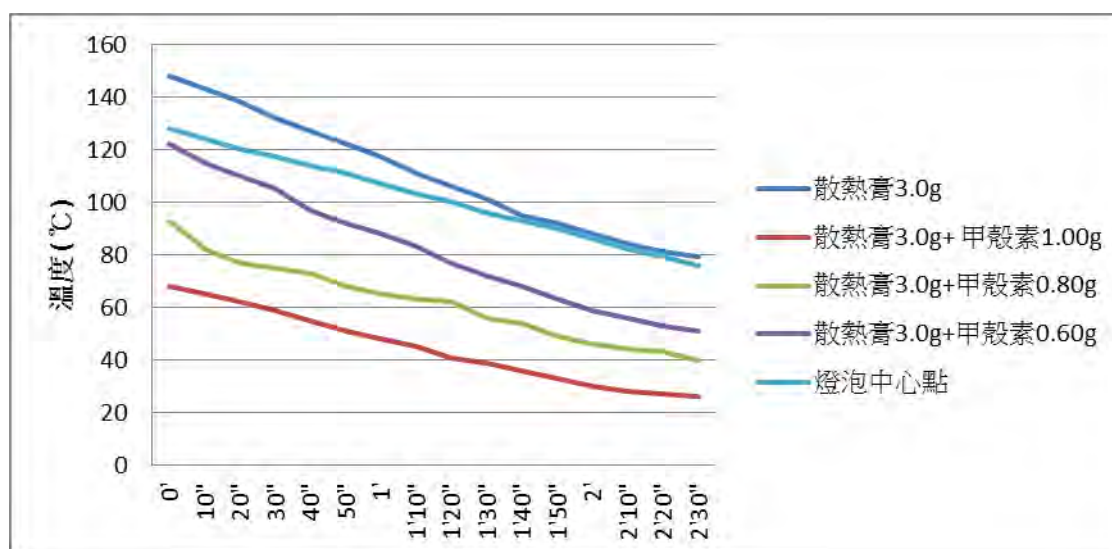
(四)、甲殼素:

將散熱膏,甲殼素依劑量攪拌均勻並將其依次塗抹在燈泡上,以雷射測溫器依次測得三次溫度, 求得平均數如圖:



散熱膏+甲殼素量測溫度:

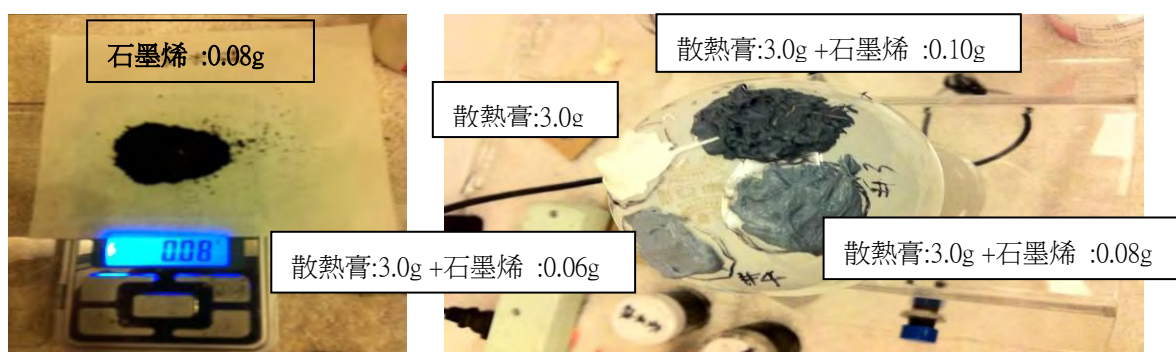
時間/ 溫度 (°C)	散熱膏3.0g	散熱膏3.0g+甲殼素1.00g	散熱膏3.0g+甲殼素0.80g	散熱膏3.0g+甲殼素0.60g	燈泡中心點
0'	148	68	93	122	128
10"	143	65	82	115	124
20"	138	62	77	110	120
30"	132	59	75	105	117
40"	127	55	73	97	114
50"	122	51	68	92	111
1'	117	48	65	88	107
1'10"	111	45	63	83	103
1'20"	106	41	62	77	100
1'30"	101	39	56	72	96
1'40"	95	36	54	68	93
1'50"	92	33	49	63	90
2'	88	30	46	59	86
2'10"	84	28	44	56	82
2'20"	81	27	43	53	79
2'30"	79	26	40	51	76



結果: 散熱膏:3.0g+甲殼素:1.0g 測得溫降最大,且濃度越大,其散熱越快

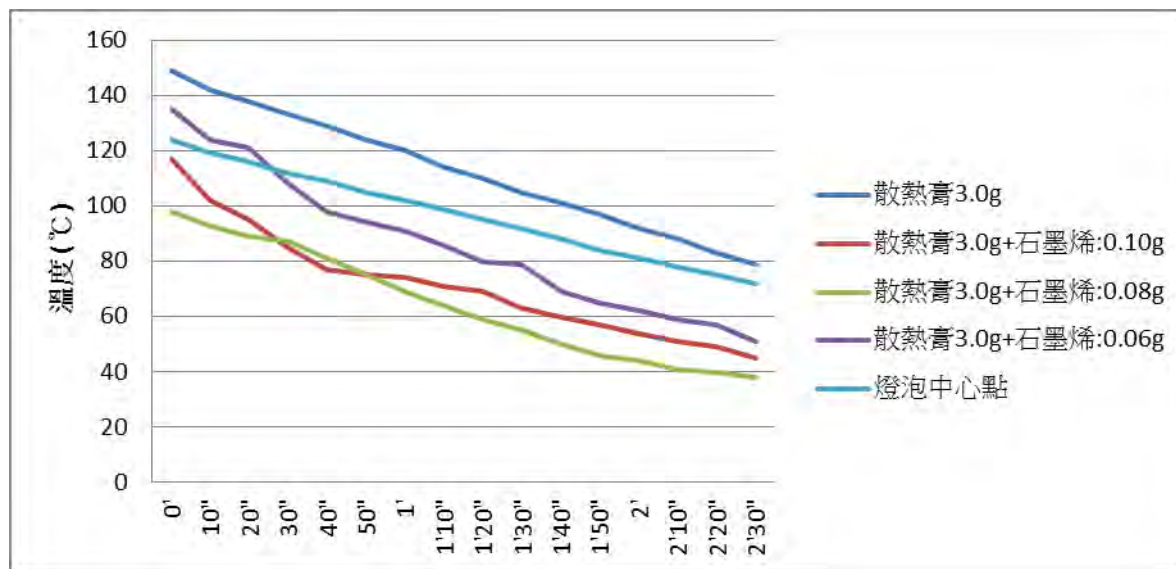
(五)、石墨烯:

將散熱膏,石墨烯依劑量攪拌均勻並將其依次塗抹在燈泡上,以雷射測溫器依次測得三次溫度, 求得平均數如圖;



散熱膏+石墨烯量測

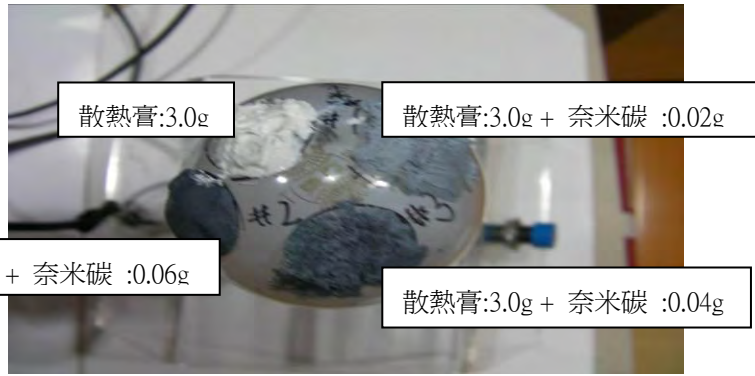
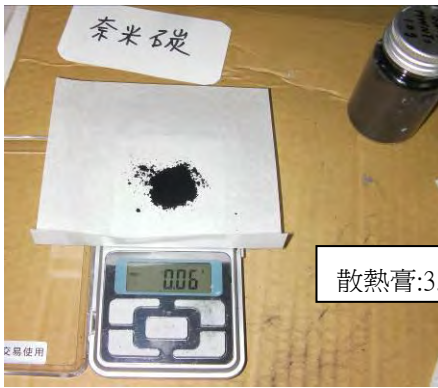
時間/ 溫度 (°C)	散熱膏 3.0g	散熱膏3.0g+ 石墨烯:0.10g	散熱膏3.0g+ 石墨烯:0.08g	散熱膏3.0g+ 石墨烯:0.06g	燈泡中心點
0'	149	117	98	135	124
10"	142	102	93	124	119
20"	138	95	89	121	116
30"	133	85	87	108	112
40"	129	77	81	98	109
50"	124	75	75	94	105
1'	120	74	69	91	102
1'10"	114	71	64	86	99
1'20"	110	69	59	80	95
1'30"	105	63	55	79	92
1'40"	101	60	50	69	88
1'50"	97	57	46	65	84
2'	92	54	44	62	81
2'10"	88	51	41	59	78
2'20"	83	49	40	57	75
2'30"	79	45	38	51	72



結果: 散熱膏:3.0g+石墨烯:0.08g 測得溫降最大,但是濃度越大,並非散熱越大

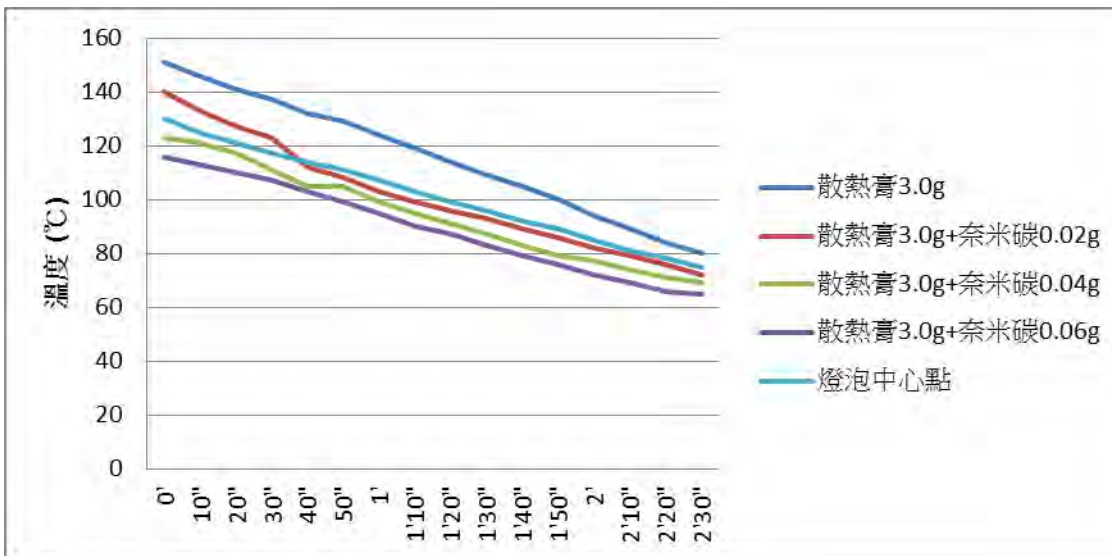
(六)、奈米碳:

將散熱膏、奈米碳依劑量攪拌均勻,並將其依次塗抹在燈泡上,以雷射測溫器依次測得三次溫度,求得平均數如圖



散熱膏+奈米碳量測溫度:

時間/ 溫度 (°C)	散熱膏3.0g	散熱膏3.0g+ 奈米碳0.02g	散熱膏3.0g+ 奈米碳0.04g	散熱膏3.0g+ 奈米碳0.06g	燈泡中心點
0'	151	140	123	116	130
10"	146	133	121	113	125
20"	141	127	117	110	121
30"	137	123	111	107	117
40"	132	112	105	103	114
50"	129	108	105	99	111
1'	124	103	99	95	107
1'10"	119	99	95	90	103
1'20"	114	96	91	87	99
1'30"	109	93	87	83	96
1'40"	105	89	83	79	92
1'50"	100	86	79	76	89
2'	94	82	77	72	85
2'10"	89	79	74	69	81
2'20"	84	76	71	66	78
2'30"	80	72	69	65	75

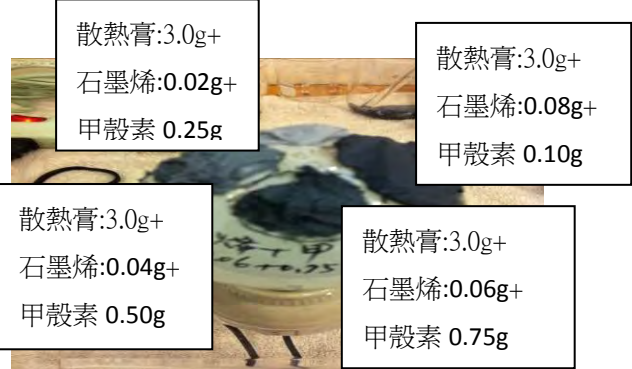
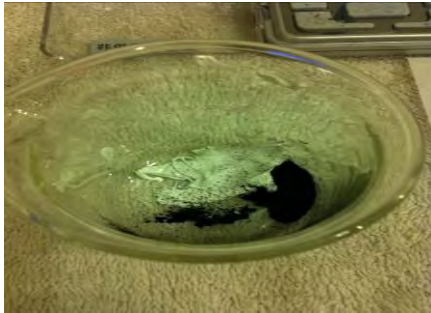


結果: 散熱膏:3.0g+奈米碳 :0.06g 測得溫降最大,且濃度越大,其散熱越大

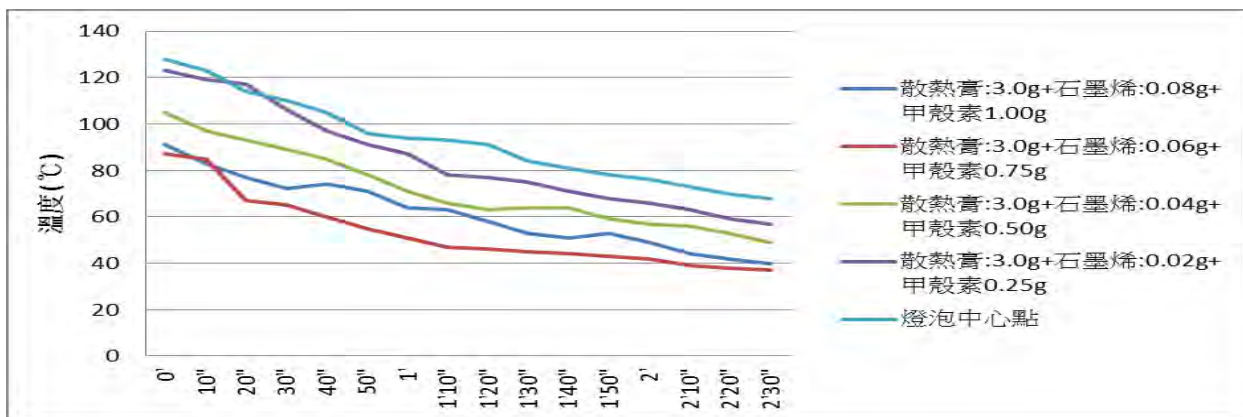


(七)、散熱膏，石墨烯與甲殼素混合：

將三項依劑量攪拌均勻，並將其依次塗抹在燈泡上，以雷射測溫器依次測得三次溫度，求得平均數如圖



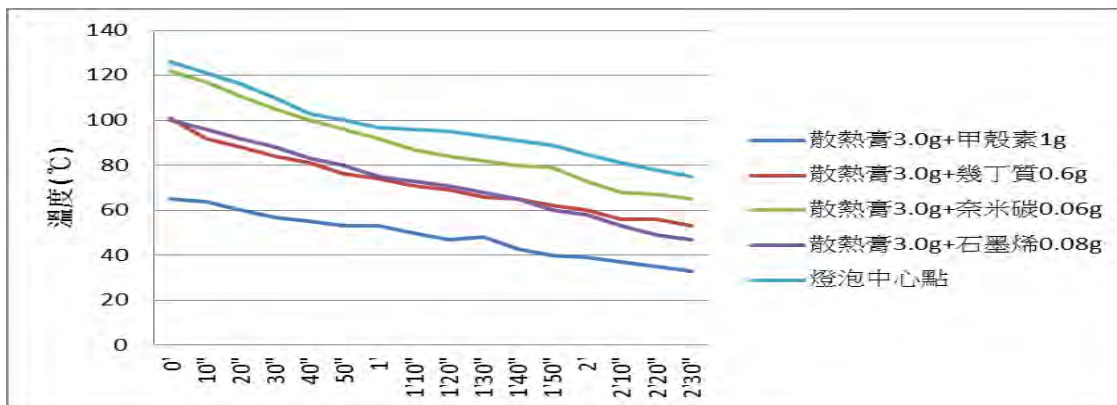
時間/ 溫度 (°C)	散熱膏:3.0g+ 石墨烯:0.08g+ 甲殼素1.00g	散熱膏:3.0g+ 石墨烯:0.06g+ 甲殼素0.75g	散熱膏:3.0g+ 石墨烯:0.04g+ 甲殼素0.50g	散熱膏:3.0g+ 石墨烯:0.02g+ 甲殼素0.25g	燈泡中心點
0'	91	87	105	123	128
10"	83	85	97	119	123
20"	77	67	93	117	114
30"	72	65	89	106	110
40"	74	60	85	97	105
50"	71	55	78	91	96
1'	64	51	71	87	94
1'10"	63	47	66	78	93
1'20"	58	46	63	77	91
1'30"	53	45	64	75	84
1'40"	51	44	64	71	81
1'50"	53	43	59	68	78
2'	49	42	57	66	76
2'10"	44	39	56	63	73
2'20"	42	38	53	59	70
2'30"	40	37	49	57	68



結果: 第二組散熱膏:3.0g + 石墨烯:0.06g+甲殼素 0.75g 最佳散熱比例，而第一組溶質皆較第二組多，但其散熱並不勝出

(八)、散熱膏與甲殼素、幾丁質、石墨烯、及奈米碳各組最佳組合, 挑選出最佳散熱組合之量測溫度:

時間/溫度 (°C)	散熱膏3.0g+ 甲殼素1g	散熱膏3.0g+ 幾丁質0.6g	散熱膏3.0g+ 奈米碳0.06g	散熱膏3.0g+ 石墨烯0.08g	燈泡中心點
0'	65	101	122	100	126
10"	64	92	117	96	121
20"	60	88	111	92	116
30"	57	84	105	88	110
40"	55	81	100	83	103
50"	53	76	96	80	100
1'	53	74	92	75	97
1'10"	50	71	87	73	96
1'20"	47	69	84	71	95
1'30"	48	66	82	68	93
1'40"	43	65	80	65	91
1'50"	40	62	79	60	89
2'	39	60	73	58	85
2'10"	37	56	68	53	81
2'20"	35	56	67	49	78
2'30"	33	53	65	47	75



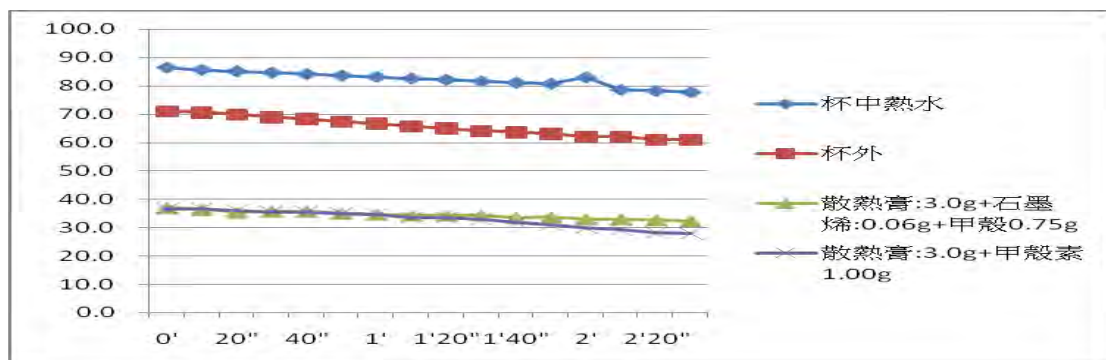
結果: 散熱膏+ 甲殼素的組合是散熱最佳組合

#### 四、探討散熱物質應用：

由於我們選出的石墨烯組的價高不易取得,故僅供為參考標竿,於是我們只將最優組合(散熱膏:3.0g+石墨烯:0.06g+甲殼 0.75g),與較為平價又散熱優的甲殼素組 (散熱膏:3.0g+甲殼素 1.00g)兩兩比較



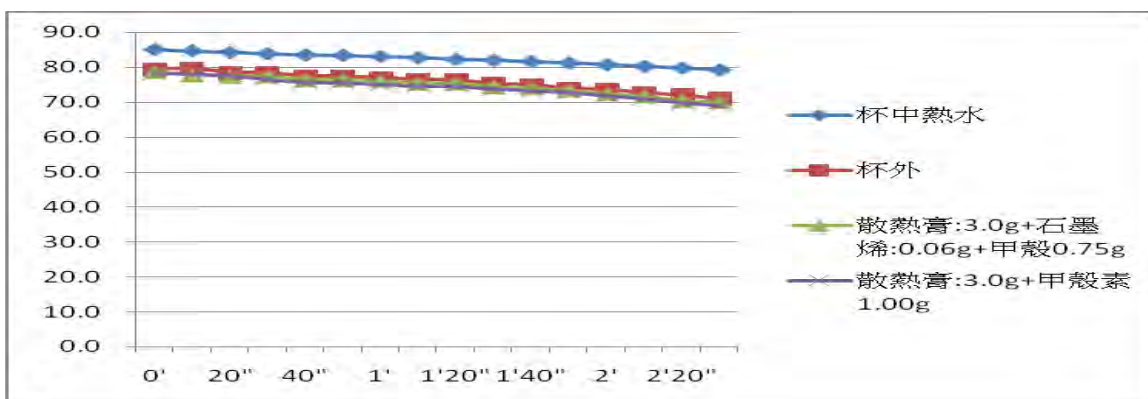
時間/ 溫度( °C)	杯中熱水	杯外	散熱膏:3.0g+石墨 烯:0.06g+甲殼素 0.75g	散熱膏:3.0g+甲殼素 1.00g
0'	86.6	71	36	36
10"	85.5	72	36	37
20"	84.9	71	34	36
30"	84.4	70	35	35
40"	83.9	69	35	35
50"	83.3	68	35	35
1'	82.8	67	34	35
1'10"	82.3	66	34	34
1'20"	81.9	65	34	34
1'30"	81.3	64	34	33
1'40"	80.9	64	33	32
1'50"	80.4	63	34	30
2'	80.0	62	33	29
2'10"	77.9	62	33	28
2'20"	77.8	61	34	27
2'30"	77.2	61	33	26



發現： 兩種散熱物質在不鏽鋼杯的比較下都有降溫現象，但甲殼素似乎略勝一籌。

(二)、250ml 燒杯加熱水測試：

時間/ 溫度 ( °C)	杯中熱水	杯外	散熱膏:3.0g+石墨 烯:0.06g+甲殼 0.75g	散熱膏:3.0g+甲殼素 1.00g
0'	85.7	81	80	79
10"	85.3	81	79	79
20"	84.9	79	78	79
30"	84.5	79	78	77
40"	84.1	78	77	76
50"	83.9	78	77	76
1'	83.5	78	77	76
1'10"	83.0	77	76	75
1'20"	82.5	77	76	75
1'30"	82.2	76	75	74
1'40"	81.8	76	75	73
1'50"	81.2	75	74	73
2'	80.6	75	73	72
2'10"	80.1	74	73	72
2'20"	79.4	73	71	70
2'30"	79.0	72	71	70

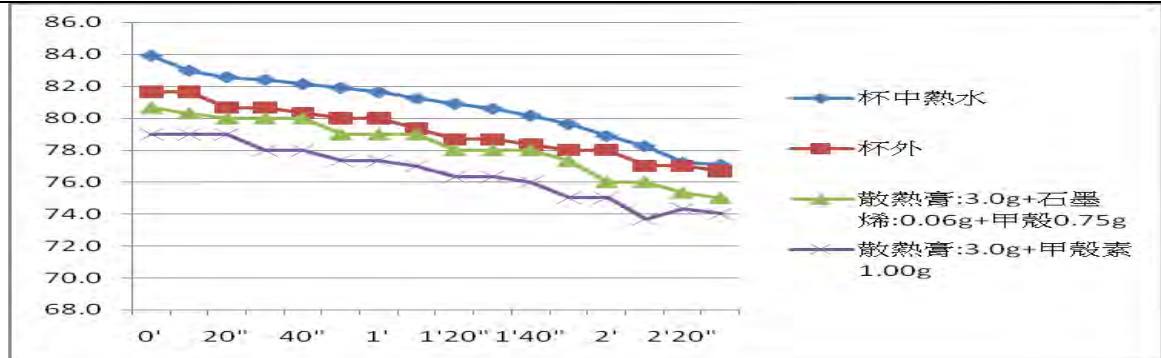


發現： 在燒杯上的散熱效果並不好，幾乎沒作用

(三)、300 ml 馬克杯加熱水測試:

時間/ 溫度 ( °C)	杯中熱 水	杯外	散熱膏:3.0g+石墨 烯:0.06g+甲殼 0.75g	散熱膏:3.0g+甲殼素 1.00g
0'	83.9	82	81	79
10"	83.1	82	81	79
20"	82.7	81	80	79
30"	82.6	81	80	78

40"	82.2	80	80	78
50"	81.9	80	79	78
1'	81.7	80	79	78
1'10"	81.3	79	79	77
1'20"	80.9	79	78	77
1'30"	80.6	79	78	77
1'40"	80.1	78	78	76
1'50"	79.7	78	78	75
2'	78.9	78	76	75
2'10"	78.2	77	76	74
2'20"	77.5	77	76	74
2'30"	77.3	77	75	74

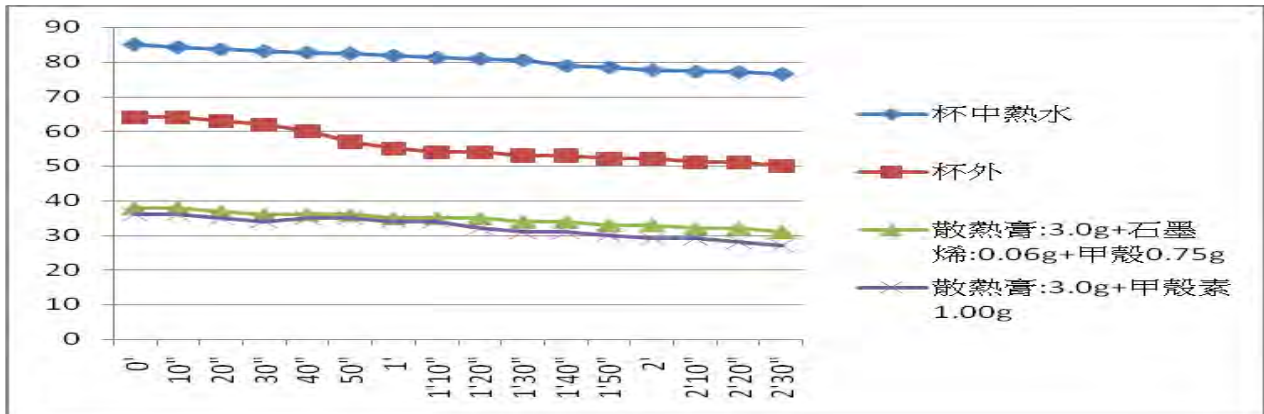


發現：在馬克杯實驗中，散熱效果也不佳

(四)、300ml 玻璃杯加熱水測試.:

時間/ 溫度 ( °C)	杯中熱水	杯外	散熱膏:3.0g+石墨 烯:0.06g+甲殼素 0.75g	散熱膏:3.0g+甲殼素 1.00g
0'	84.6	76	77	77
10"	85.2	78	78	78
20"	84.8	78	78	78
30"	84.6	78	78	77
40"	84.4	78	77	77
50"	84.0	77	77	77
1'	83.8	77	77	77
1'10"	83.6	77	76	76
1'20"	83.4	76	76	76
1'30"	83.2	76	75	75
1'40"	83.0	75	75	75
1'50"	82.9	75	74	74

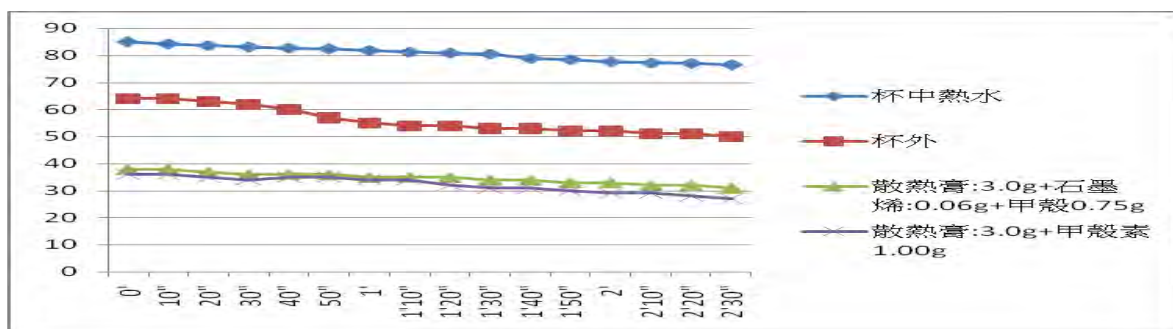
2'	82.7	75	74	74
2'10"	82.4	74	74	74
2'20"	82.0	74	74	74
2'30"	80.1	72	72	72



發現： 在玻璃杯實驗中，散熱效果也不佳

**(五)、350ml 鋁合金鍋加熱水測試:**

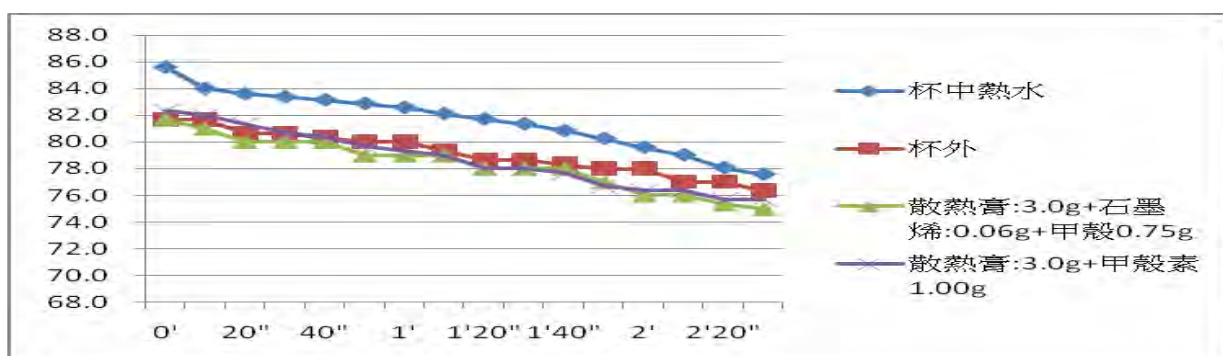
時間/ 溫度 (°C)	杯中熱水	杯外	散熱膏:3.0g+石墨烯:0.06g+甲殼素 0.75g	散熱膏:3.0g+甲殼素 1.00g
0'	86.4.	67	39	37
10"	85.2	67	38	36
20"	84.6	66	37	36
30"	84.1	65	36	34
40"	83.7	64	36	35
50"	83.4	64	36	35
1'	82.8	63	35	34
1'10"	82.2	62	36	33
1'20"	81.9	62	35	32
1'30"	81.5	61	35	32
1'40"	79.9	60	34	31
1'50"	79.5	59	34	31
2'	78.7	57	33	29
2'10"	78.3	56	33	29
2'20"	77.1	54	32	28
2'30"	76.8	53	32	28



發現：兩種散熱物質在 350ml 鋁合金鍋的比較下都有降溫現象，但甲殼素似乎略勝一籌

(六)、350ml 茶葉金屬罐加熱水的測試：

時間/ 溫度( °C)	杯中熱水	杯外	散熱膏:3.0g+石墨烯:0.06g+甲殼素0.75g	散熱膏:3.0g+甲殼素 1.00g
0'	85.4	81	81	83
10"	82.9	81	80	83
20"	82.5	80	80	82
30"	82.3	80	80	81
40"	82.1	80	80	81
50"	81.9	80	79	80
1'	81.6	80	79	80
1'10"	81.2	79	79	79
1'20"	80.9	78	78	78
1'30"	80.6	78	78	78
1'40"	80.2	78	78	77
1'50"	79.6	78	77	76
2'	78.9	78	76	76
2'10"	78.3	77	76	76
2'20"	77.1	77	75	75
2'30"	77.3	76	75	76



發現： 在茶葉金屬罐實驗中，散熱效果也不佳。

(七)、電腦 CPU 的測試:

由於軟體及圖形處理和 Game 有越來越龐大的趨勢, 然而 CPU 就得背負越來越多的運算, 那麼它的熱處理就會非常重要, 不知我們所實驗的材料是否可以運用在 CPU 上。

我們拿一台 ASUS Nova P22 的主機灌上 Intel Core Temp 的檔案, 因此我們能偵測 CPU 核心及其外殼的溫度。我們將熱管與 CPU 先拆開, 用 74%酒精將原來的散熱膏清除, 然後將散熱膏為對照組, 散熱膏(3.0g)+甲殼素(0.75g)+石墨烯(0.06g)為實驗組, 另外還有一組實驗組為散熱膏(3.0g)+甲殼素(1g), 得到的結果是甲殼素組最佳。每次替換皆需重複用 74%酒精清潔, 並且用針筒擠出同量散熱膏及其混合物於 CPU 上,再蓋上熱管, 才能重新 Power on Intel Core Temp 軟體。



CPU +散熱膏:3.0g+  
石墨烯:0.06g+甲殼素 0.75g



CPU +散熱膏



CPU +散熱膏:3.0g+甲殼素:1.0g



拆開且運作中的主機

1,第一組: 散熱膏擠入針筒, 以米粒法點在 CPU 中心點, 以一字起子慢慢均勻由中心向外均勻塗抹, 蓋上熱管鎖緊後, power on 電腦並執行 Intel CPU Core Temp 程式, 記錄溫度如下: 起始時間: 4:03

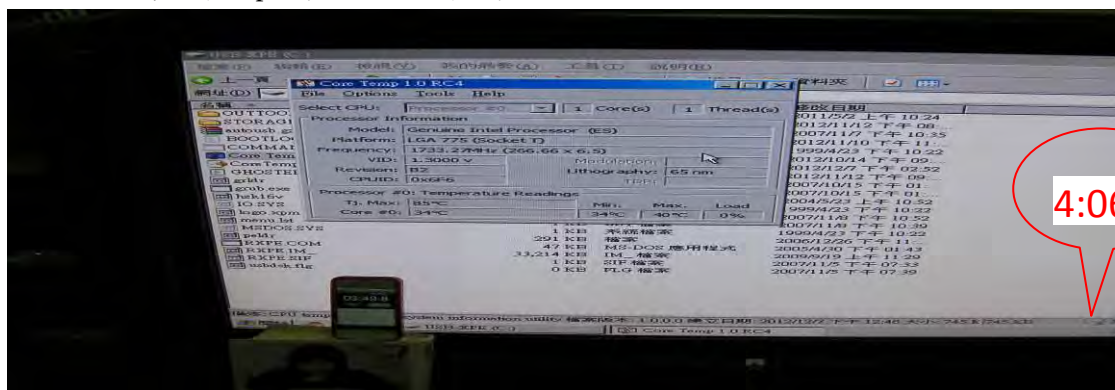
(1) 散熱膏				
Time(分)	MIN(°C)	Max(°C)	Load %	Core#0(°C)
0'	35	40	0	34
5'	35	40	0	35
10'	35	40	0	36
15'	34	40	0	37
20'	34	40	0	39
25'	34	40	0	39
30'	34	40	0	40
35'	34	40	0	40
40'	34	41	0	40



45'	34	41	0	40.5
50'	34	41	0	40.5
55'	34	41	0	41
60'	34	41	0	40.5
70'	34	41	0	40.5
80'	34	41	0	41
90'	34	41	0	41
100'	34	41	0	41
110'	34	41	0	40.5
120'	34	41	0	40
130'	34	41	0	40

CPU 外殼溫度, Min = 記錄中最低溫度, Max = 記錄中最高溫度

Core #0 - 第一個 cpu 核心的現時溫度



發現：當 PC 正常燒機 60min 後，散熱膏果然發揮功效，讓 CPU 溫度穩定控制在 40°C

2, 第二組: 先將散熱膏(3.0g)+甲殼素(0.75g)+石墨烯(0.06g)攪拌均勻後，擠入針筒慢慢均勻由中心向外均勻塗抹，蓋上熱管鎖緊後，power on 電腦並執行 Intel CPU Core Temp 程式，記錄溫度如下：起始時間：8:54

(2) 散熱膏(3.0g)+甲殼素(0.75g)+石墨烯(0.06g)				
Time(分)	MIN(°C)	Max(°C)	Load %	Core#0(°C)
08:54	32	36	0	32
09:00	32	41	0	41
09:01	32	42	0	42
09:02	32	43	0	43
09:03	32	44	0	44
09:04	32	45	0	45
09:05	32	46	0	46
09:06	32	47	0	47
09:07	32	47	0	47

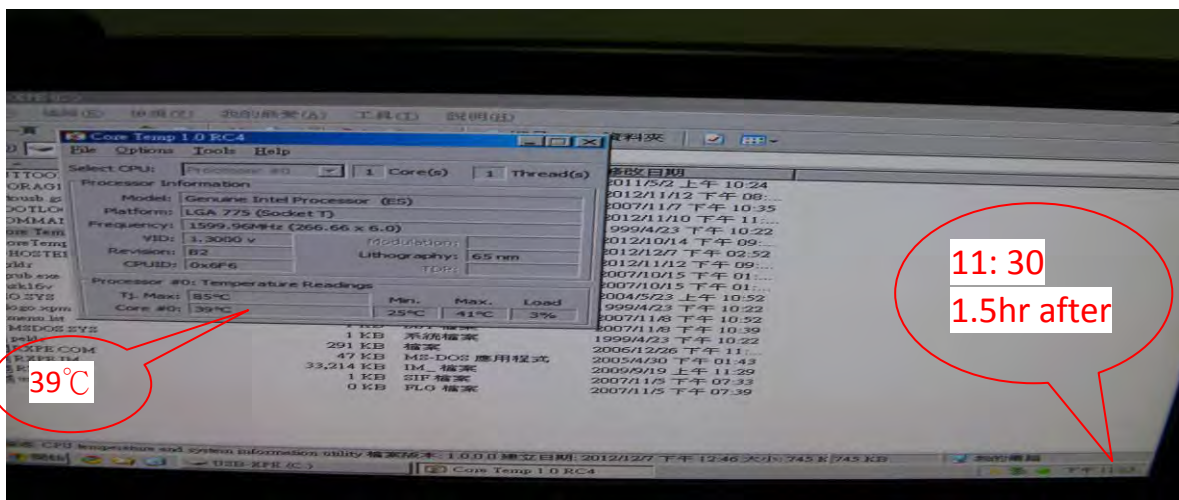
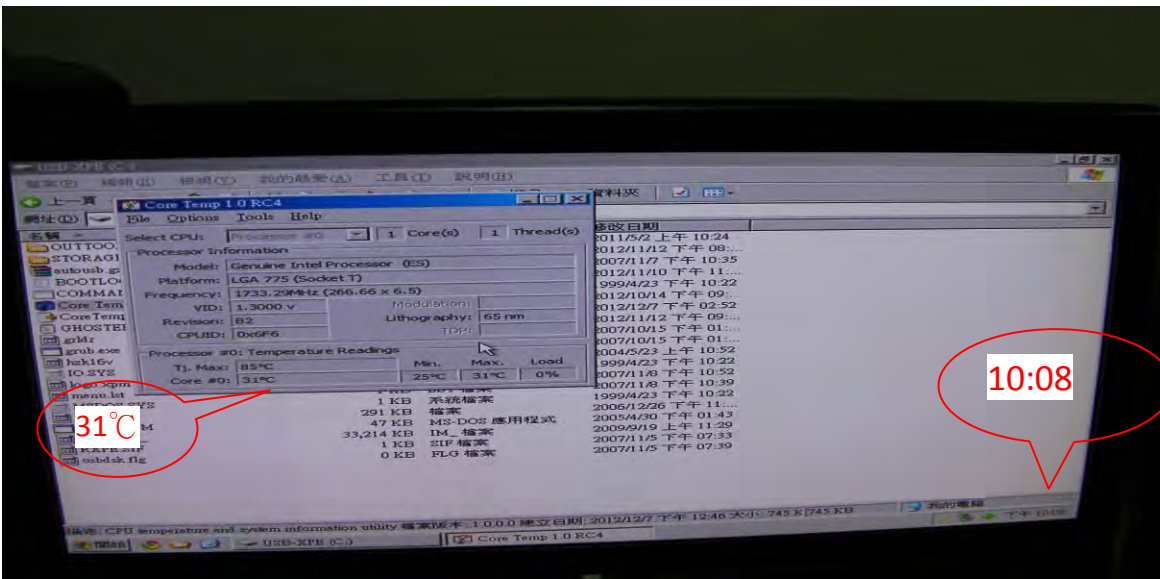
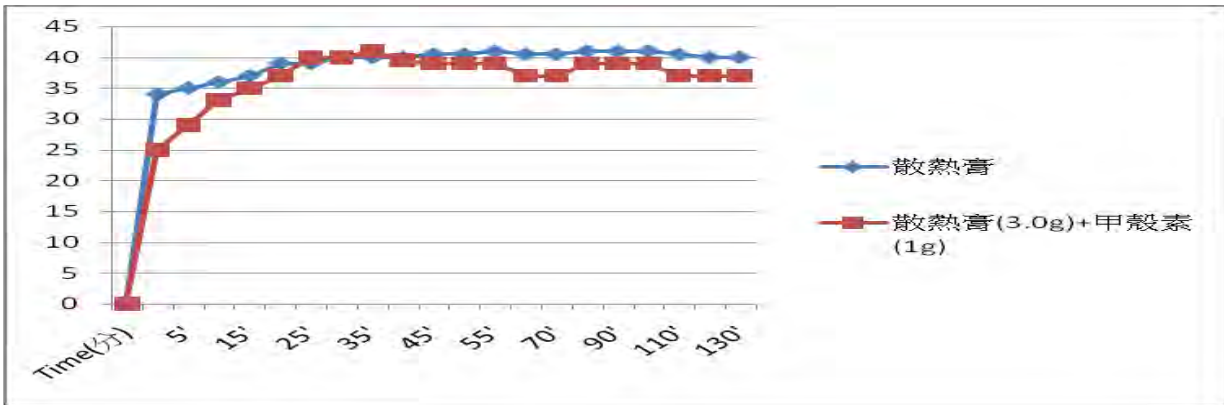
09:08	32	48	0	48
09:09	32	48	0	48
09:10	32	48	0	48

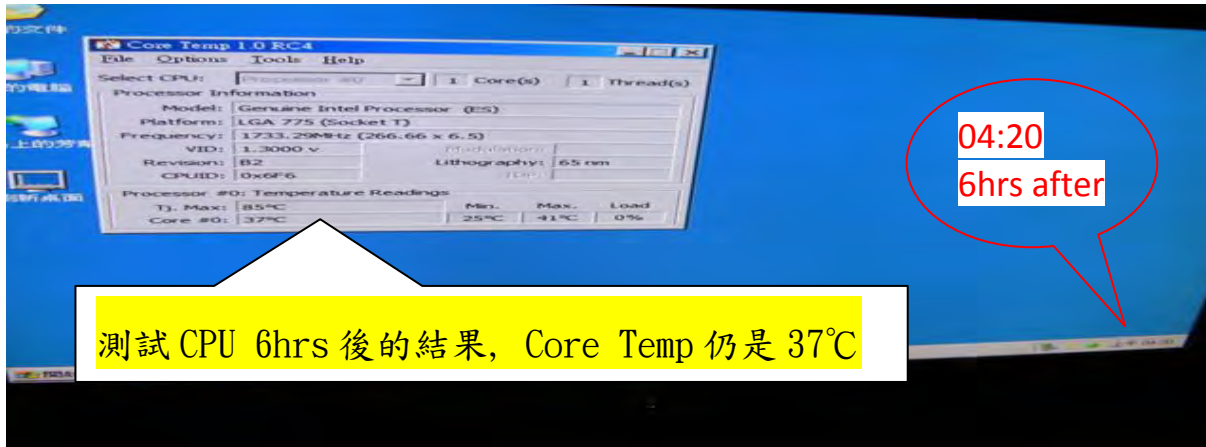
**發現:** 混合物不易推開使 CPU 與熱管間接觸縫隙無法彌補,散熱不佳,溫度每分平均升 1°C

3,第三組: 先將散熱膏(3.0g)+甲殼素(1.0g)攪拌均勻後, 擠入針筒以米粒法點在 CPU 中心點,向外均勻塗抹, 蓋上熱管鎖緊後, power on 電腦並執行 Intel CPU Core Temp 程式, 記錄溫度如下: 起始時間: 10:01

(3) 散熱膏(3.0g)+甲殼素(1g)				
Time(分)	MIN(°C)	Max(°C)	Load %	Core#0(°C)
0'	25	29	0	25
5'	25	29	0	29
10'	25	33	0	33
15'	25	36	0	35
20'	25	37	0	37
25'	25	40	0	40
30'	25	41	0	40
35'	25	41	0	41
40'	25	41	0	39.5
45'	25	41	0	39
50'	25	41	0	39
55'	25	41	0	39
60'	25	41	0	37
70'	25	41	0	37
80'	25	41	0	39
90'	25	41	0	39
100'	25	41	0	39
110'	25	41	0	37
120'	25	41	0	37

下圖可知有甲殼素的散熱膏比只有散熱膏者，CPU 核心溫度較低





### 發現：

以上得知，第二組三種混合物散熱效果不佳，可能因散熱膏太乾，無法發揮散熱膏原本填補 CPU 與熱管不平之細縫的功能，故只跑了 10 分就溫度飆升，故此組淘汰。至於第三組，添加完拌勻後，仍然成濕潤狀，故散熱效果有呈現前面實驗所得的結論，甲殼素具有良好的散熱效果。我們將此組繼續讓它開機一直燒機 6hrs 之後，核心溫度仍然在 37°C，且其 CPU 外殼仍在 MIN:25°C, Max:41°C。此外可見，混合甲殼素的散熱膏 CPU 的即時外殼溫度，比只有散熱膏的即時外殼溫度的 MIN 值要低 10°C。由此可證甲殼素果然能仿照蝴蝶鱗片，具有良好的散熱效果！

## 伍、討論

- 一、由步驟 1 發現在展翅架未能看出散熱現象，但此實驗中可知，蝴蝶翅膀各點溫度均溫，而且時間再久它也不會過熱，但發現蝴蝶一直想鼓動翅膀；所以我們改以塑膠罐觀察蝴蝶看看是否能找到如何散熱，在塑膠罐的測溫發現，只要蝴蝶展翅振動幾秒鐘，體溫就下降 3~6°C！
- 二、為何降溫？是蝴蝶體液？是翅膀鱗片熱漲冷縮？還是翅膀鱗片上材質散熱造成？由步驟 2 研究蝴蝶翅膀結構來探討！在步驟 1 觀察加熱中發現似乎是反光造成霧霧的樣子，是鱗片站立造成的嗎？還是蝴蝶上有什麼特殊結構造成的呢？我們決定複式顯微鏡觀察，但無法看到鱗片的熱漲冷縮！卻似看見鱗片有站立起來，仍需尋找方法證明是否鱗片會熱脹冷縮
- 三、步驟 2 感謝校方協助下，借得大學電子顯微鏡，一窺蝴蝶鱗片究竟。在電顯觀察中，發現鱗片排列有規律，但無法加熱測試，仍無法證明鱗片熱漲冷縮！但可得知翅膀的結構，故推論當熱傳到翅膀時，鱗片不用蝴蝶大腦通知，就自行可以經由鱗片兩兩參差，加上幾丁質是很好的散熱材料，及支架所構成 1um 孔洞，更增加熱的快速傳導，及對流；若是蝴蝶身體感覺熱後，它會鼓動翅膀，迅速產生熱對流，達到快速散熱效應。另外，在無法研究體液下，只著手鱗片的材質，並根據網路文獻得到翅膀鱗片，有化學性及物理性兩種，且由幾丁質構成！
- 四、以電顯觀察鳳蝶化學性鱗片與圓紫斑蝶物理性鱗片結構之比較，並用酒精證明兩者對光的的不同特性；可見化學性鱗片孔洞較少，卻有薄膜以附著色素顆粒，而物理性鱗片孔洞多，且有樹枝突起狀，可產生光線折射，散色，由於結構所看可見光是紫藍色，故為其幻

色；由於紫斑蝶是遷移性蝴蝶，故孔洞多且無色素顆粒附著可減重，除了可以良好對流外，並可破除飛翔時風所造成之壓力

五、以上提供了我們仿生的想法，而我們可以複製蝴蝶的鱗片與其結構、薄膜嗎？有其他散熱更好的取代材料嗎？可以仿照蝴蝶鱗片的兩兩參差法及其多孔結構嗎？

(一)、為了仿蝴蝶鱗片散熱機制，我們曾經用電扇將南寶樹脂與甲殼素混合後，放在剪成圓形的投影片中心點上，開電扇利用離心力，將樹脂與甲殼素混合物向外推開，形成非常薄且均勻的薄膜，但是由於薄膜太薄且用樹脂形成，所以加熱及製作上，皆無法克服，故更改做法

(二)、有什麼材料是用於散熱用途，想到 CPU 上的散熱膏，若是能以此為對照組，去研究各溶質的差異，甚至可以拿 CPU 來試一試。那有什麼材料要拿來當溶質呢？為了研究蝴蝶鱗片到底與散熱膏何者較勝出，所以把翅膀剪碎，至坊間買甲殼素、幾丁質、還有根據科學期刊，發現奈米碳及石墨烯是目前所得知導電及導熱優秀的物質，故感謝大學化學系的支援，取得奈米碳管及石墨烯

(三)、將以上四種物質用顯微鏡觀察，發現甲殼素是最接近鱗片之材質與結構，孔洞 2um，但顆粒仍有些太大；幾丁質則是結構太粗大；奈米碳管有鱗片的支架結構，但孔洞不多；石墨烯則是材質是最佳散熱係數，可以與鱗片比較散熱

六、步驟 3 研究蝴蝶翅膀鱗片的材質及仿生材料是否散熱來探討：

經過與化學老師的請教與學校老師的指導，我們決定將以下材料先分組兩兩相比(幾丁質與甲殼素一組，奈米碳與石墨烯一組，蝴蝶鱗片組是一參考組，不加入賽事)。找出各小組最佳比例後，再將各組勝出者做一次不同比例之比較，找出何者比例較優。

(一)、用蝴蝶翅膀鱗片來測試：

將蝴蝶翅膀剪碎，雖然無法與幾丁質或甲殼素一樣重，但其組成比甲殼素或幾丁質更細小，很快就融入散熱膏內，也發現它的散熱曲線與幾丁質及甲殼素皆相似。

(二)、用(100%)幾丁質來測試：

本實驗所用幾丁質太過堅硬且呈塊狀，不易拌勻，致偵測時有誤差不能採用

(三)、用(92%幾丁質)甲殼素來測試：

本實驗所用甲殼素細微粉粒，表現最優。由於材質與結構與鱗片較為一致，散熱孔洞多，我們發現散熱膏(3.0g)加甲殼素(1.0g)，是最優，但不知多少甲殼素時，仍有佳的散熱，這是深入探討的。甲殼素分子結構，是幾丁質去乙酰基更小分子，容易於一般甲殼類生物廢棄殼中取得，成本更低廉，更符合環保概念，資源再利用。

(四)、用奈米碳管來測試：

奈米碳太輕太細，致於體積太大(0.1g)無法融入 3.0g 的散熱膏，於是經與老師討論，我們將奈米碳管以最大值 0.06g 溶質為限，發現最大值最優，但仍可探討其最大溶質

(五)、用石墨烯來測試：

石墨烯如同奈米碳，太輕太細，體積太大無法融入 3.0g 的散熱膏，故以奈米碳的重量為依據，得結果為石墨烯與散熱膏混合組，比奈米碳組合散熱更優，是所有散熱組的最佳的組合，其中石墨烯(0.08g)與散熱膏(3.0g)是最佳者，而石墨烯(0.1g)雖然多，卻不是最佳散熱組。推測可能如上述，3.0g 散熱膏可能不能負荷過多的溶質導致。但是由於它取得不易，且價格昂貴，所以不適合普通應用！

(六)、在五種散熱材料測試中發現；因目前能塗抹在燈泡上的散熱厚度無法均勻一致，散熱膏所呈現散熱溫度並不同，需找到可以均勻塗佈的工具，才可克服此問題。另外，測試時的環境溫度也是變因，若環溫較低，則散熱比環溫較高時明顯。還有，不知燈泡各點溫度是否相同，也是需要待驗證處。

(七)、用甲殼素&石墨烯混合組來測試：

本實驗所用甲殼素&石墨烯混和比例，來試出最好的散熱物質。得結果為石墨烯與散熱膏混合組(散熱膏:3.0g+石墨烯:0.06g+甲殼素 0.75)效果最佳。所以我們才將甲殼素與石墨烯混合，看看能否得到比單獨甲殼素還更優的混合物以降低成本

(八)、用散熱膏與甲殼素，幾丁質，石墨烯，及奈米碳各組最佳組合，選出最佳散熱組合，仍然是甲殼素(1.0g)+散熱膏(3.0g)為最佳，故將此組合與甲殼素+石墨烯，在以下散熱物質應用上，進一步實驗驗證。

七、散熱物質的應用：

(一)、步驟 4 探討散熱物質應用中，我們將散熱物質塗抹在以下物品，不銹鋼杯、玻璃杯、燒杯、馬克杯、鋁鍋、茶葉鐵罐及 CPU 上。散熱效果只呈現在不銹鋼杯、鋁鍋及 CPU，其餘材質仍需進一步探討原因，但 CPU 實驗因是 Intel 之軟體監控核心溫度，經 6hr 多之燒機測試，其核心溫度準確度，及實驗重複性極高

(二)、經過這次實驗，我們得證甲殼素是最經濟實惠，且最優良的散熱材料，根據鱗片的結構，還有許多應用空間可實驗尋找更好的比例及適用之物！

## 陸、結論

- 一、從觀察蝴蝶翅膀的結構開始，進而仿照其鱗片散熱機制，根據此生物模型，實驗並找到與鱗片散熱機制相似之材料進行實驗，尋找到散熱材料，並得證鱗片的甲殼素具有良好散熱及熱傳效應；也藉此仿生材料觀點，希望根據此鱗片結構，再進一步發展機械或結構仿生方面的實驗。
- 二、蝴蝶鱗片的材質是幾丁質支架，薄膜，突起組成，本材料仿生實驗證明甲殼素是具有良好散熱及熱傳導效應，蝴蝶利用微小的鱗片兩兩交錯，及鱗片上的孔洞，加上其插軸可隨翅膀鼓動而讓氣流在鱗片間產生熱之對流，迅速降溫。但我們覺得要學習造物者的巧妙設計，仍有許多實驗與發展，待我們繼續深入探索。
- 三、甲殼素是低廉環保的材料，若能利用胜肽類、醣類或蛋白質與甲殼素聚合，形成如物理性或化學性鱗片結構，並給予 1um 的孔洞，相信此材質將是經濟實惠的散熱環保物質，應用面將會很廣泛
- 四、關於熱的散熱方式，在本實驗中只針對熱的傳導進行實驗設計，而另外熱的傳播還有熱對流及熱輻射，由於時間、經費與設備之限制，無法進一步探討。
- 五、關於鱗片熱漲冷縮，本實驗無法證得，但遇熱持續照射下，可見翅膀有些霧霧的反光，合理懷疑是鱗片熱脹後，可能造成鱗片站立或偏斜，故見鱗片反光，此可應用於不用電源的熱感應器設計上
- 六、本實驗所有鳳蝶標本，採集自家柑橘葉上鳳蝶下的幼蟲，從幼蟲脫皮至蛻變，小心呵護，餵食糖蜜，雖將之架在展翅板，但用紅線輕輕網住，並未刺傷翅膀(圖示殘翅，乃羽化時就造成)，並於溝槽中放入蜜糖供蝴蝶吸取。見其遇熱想鼓動翅膀，深覺蝴蝶不舒服，故改

以觀察箱照射，以瞭解其散熱機制，每隻蝴蝶皆是做完實驗就放生；另外，非常感謝大學提供本實驗無尾鳳蝶及圓紫斑蝶之材料，更感謝蝴蝶帶給我們如此淵博且多元性的資料。

## 柒、後續研究與展望

- 一、將奈米碳管仿造鱗片構造，做出許多孔洞，並將甲殼素與之聚合，根據奈米碳管高延展性，可以做出很薄的膜，若可貼附在現在 3C 產品上，將可迅速散熱
- 二、將上述設計運用在熱感應器的冷卻裝置上，增加熱影像儀的快速抓取熱感影像，並可以縮小龐大且昂貴的傳統冷卻器
- 三、甲殼素與胜肽類、醣類或蛋白質聚合的組合，可以研究散熱快的布料，也可利用物理性結構，做出有幻色的布料
- 四、若將甲殼素用化學氣象沉積法(CVD)或物理氣象沉積法(PVD)形成薄膜，希望做成窗戶隔熱紙或節能膜，加上快速冷卻的迴路裝置，應該可以迅速散熱
- 五、可將甲殼素濃度在散熱膏上再做調整，或再與石墨烯或奈米碳混合，找到最佳組合應用在 CPU 上。由於甲殼素是環保材質，比坊間加入氧化鋁，氧化鋅，氮化硼等更具經濟效益。
- 六、希望再設計實驗得證鱗片在溫度變化時，所產生鱗片之物理變化，可應用於微電子晶片電路設計，因甲殼素對溫度變化敏感所改變之膨脹係數，設計微感熱器或者熱感裝置。
- 七、希望再設計實驗得證鱗片每個插軸，與鱗片膨脹後所產生之對流空隙，找出蝴蝶鼓動翅膀的熱對流狀況進而仿生，設計出不用電不用熱感應器，就可自動調節室內外空氣之省電裝置。

## 捌、參考資料

- 一、中華民國第四十七屆中小學科學展覽會 作品名稱：高潮蝶起-蝴蝶鱗片的研究
- 二、中華民國第四十九屆中小學科學展覽會 作品名稱：“紫”看“外”在美 - 紋白蝶性標成因之研究
- 三、中華民國第四十九屆中小學科學展覽會 作品名稱：「蝴蝶的太陽能板」-蝴蝶翅膀受光後的增溫現象之研究
- 四、中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品名稱：照過來～「投影片」與「石墨烯」天生一對，成就了自製可撓式染料敏化太陽電池
- 五、江昆達(7552022), 1996, Feb 29, 標題：探索蝴蝶世界的奧秘看板
- 六、李旺龍, 2008 05 27, 您不知道的早知道仿生學 [www.topchina.com.tw](http://www.topchina.com.tw)
- 七、十大昆蟲仿生設計 <http://www.enorth.com.cn> 2011-01-06
- 八、石墨烯 維基百科，自由的百科全書
- 九、仿生學 維基百科，自由的百科全書  
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E4%BB%BF%E7%94%9F%E5%AD%A6>Animal>
- 十、奈米是什麼? [www.techome.com.tw/technology/nano-poster.ppt](http://www.techome.com.tw/technology/nano-poster.ppt) Similar
- 十一、Tibi Pulu, 2012 Feb 13<sup>th</sup>, Butterfly lights the way to better thermal imaging ,ZME Science
- 十二、[my.stut.edu.tw/sys/read\\_attach.php?id=418121](http://my.stut.edu.tw/sys/read_attach.php?id=418121) 第八章生物材料與仿生工程學

## 【評語】 030315

- 一、本作品探討蝴蝶鱗片散熱之可能機制，主要之證據是以其成份能達到散熱之能力，而無構造所影響之數據。
- 二、本作品擬以此機制之研究提出仿生防熱材料之開發，具有應用性之關聯性。