

# 中華民國第 60 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 生活與應用科學(一)科

探究精神獎

082808

「冰」與「火」之爭

學校名稱：桃園市桃園區西門國民小學

作者： 小五 陳麒鈺 小五 王翕咏 小五 詹秉桓 小五 曾虹毓 小五 黃家樂	指導老師： 蔡姿婷 樊倫成
---	---------------------

關鍵詞：溫差發電、熱傳導、被動式降溫

## 摘要

此研究是利用溫差發電晶片(SP1848-27145)的特性，將日常生活中額外產生不必要的廢熱收集起來轉化成電能，為環保盡一份心意。此研究與其他相關溫差發電實驗最大的不同之處在於溫差發電晶片的”熱面”並非直接接觸在熱源之上，而是透過導熱材料將”廢熱”引導出來。至於溫差發電晶片的”冷面”則是透過環境溫度或是保冷凝膠墊的方式進行被動式降溫。此外，由於熱能是透過導熱材料傳導過來的，如何在傳導過程中有效地將”熱”保存起來提供給溫差發電晶片(SP1848-27145)熱面使用，以及溫差發電晶片組不同的排列組合方式，均為本研究主題所要探究的項目。

## 壹、研究動機

拜現代科技的突飛猛進，人們對於電的需求與日俱增。而火力發電產生的空氣汙染(PM2.5),核能發電衍生的核廢料處理及核輻射疑慮，使得再生能源一直是近年來最受矚目與關注的議題。另外用電量的不斷增加，全球暖化速度加快造成氣候與環境的鉅變，身為地球的一份子，都有責任要發揮力量來嘗試改變或改善。

我們生活周遭有許多的電器用品，在運作的過程中都會產生不需要的”廢熱”，例如冷氣運轉會排出熱風，冰箱運轉也會產生熱能等。而最常使用的電腦，特別是在玩電競遊戲或是長時間上網看影片，電腦中的中央處理器(CPU)及顯卡上的圖形運算處理器(GPU)溫度都會來到 60°C~80°C 以上，需要加掛散熱風扇或更高檔次的水冷式散熱系統來讓(CPU & GPU)降溫，而這些降溫方案又會消耗額外的電力。因此推想若能將這些處理器所產生的不必要廢熱有效收集起來，利用溫差發電晶片的特性，不但可以幫助(CPU & GPU)降溫來增加處理器運算效能，同時減少散熱風扇及水冷式散熱系統的耗電，還可以將溫差發電晶片產生的電流反饋給手機充電使用，一舉數得。

以往相關溫差發電實驗，多半是將溫差發電晶片直接放在熱源上方。此架構的優點是熱源可以直接供應給溫差發電晶片熱面，但是溫差發電晶片冷面亦位於熱源上方，降溫處理顯得複雜需額外耗電來進行降溫，否則溫差如曇花一現。

我們試著進行若讓溫差發電晶片可以離熱源一段距離，利用導熱材料將熱傳導過來，而溫差發電晶片冷面則依靠環境溫度來降溫。相關比較示意圖如下所示：

<p>以往相關溫差發電實驗：</p>	 <p style="text-align: center;">熱源在正下方</p>
<p>本研究特點(差異點)：</p>	 <p style="text-align: center;">熱源與溫差發電晶片有距離</p>
	 <p style="text-align: center;">熱源與溫差發電晶片有距離</p>

此研究主題結合自然與生活科技課程中所學到的再生環保能源(四上：運輸工具與能源-能源與生活)及熱對流、熱的傳播、保溫與散熱的觀念(五上：熱對物質的影響)，還有電路串並聯的用法(四下：燈泡亮了-串聯與並聯)，學以致用，讓科學研習變得更有趣及更貼近生活。

## 貳、研究目的

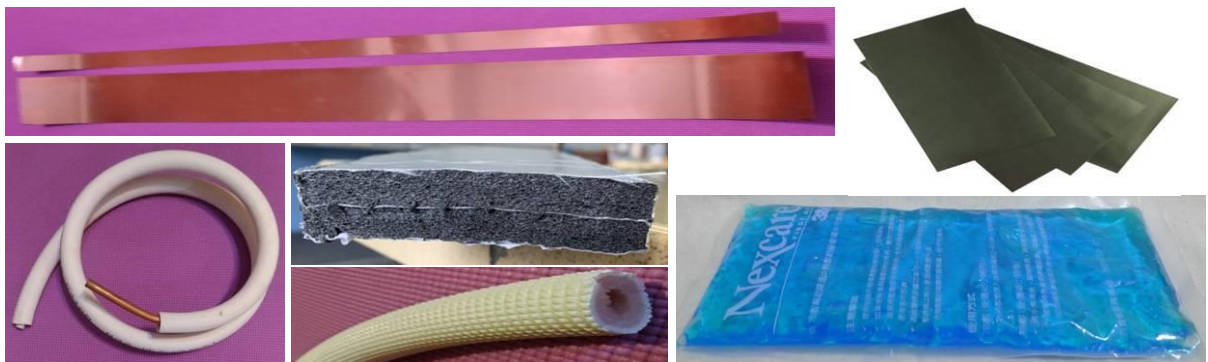
- 一、從實驗中認識溫差發電晶片/制冷晶片的原理及相關特性
- 二、導熱材料的選用(考量因素：導熱係數優劣、可撓度、取得的普及性等)
- 三、隔熱材料(聚烯烴隔熱棉、萊卡布+發泡橡膠、PVC 保溫膠布等)的選用
- 四、散熱材料(散熱模組、散熱膏、保冷凝膠敷墊)的選用
- 五、如何有效地將”廢熱”保存並且傳送一定距離
- 六、如何持續有效維持溫差發電晶片(SP1848-27145)熱面與冷面溫差
- 七、綜合各項實驗的結果與預期的差異性進行分析比較並尋求未來改善對策

## 參、研究設備及器材

- 一、數位三用電表(TA801A)
- 二、紅外線測溫槍(GM320A)
- 三、熱電偶接觸式測溫儀(GM1312)
- 四、溫差發電晶片(SP1848-27145)數個 (晶片尺寸面積：40 x 40mm)



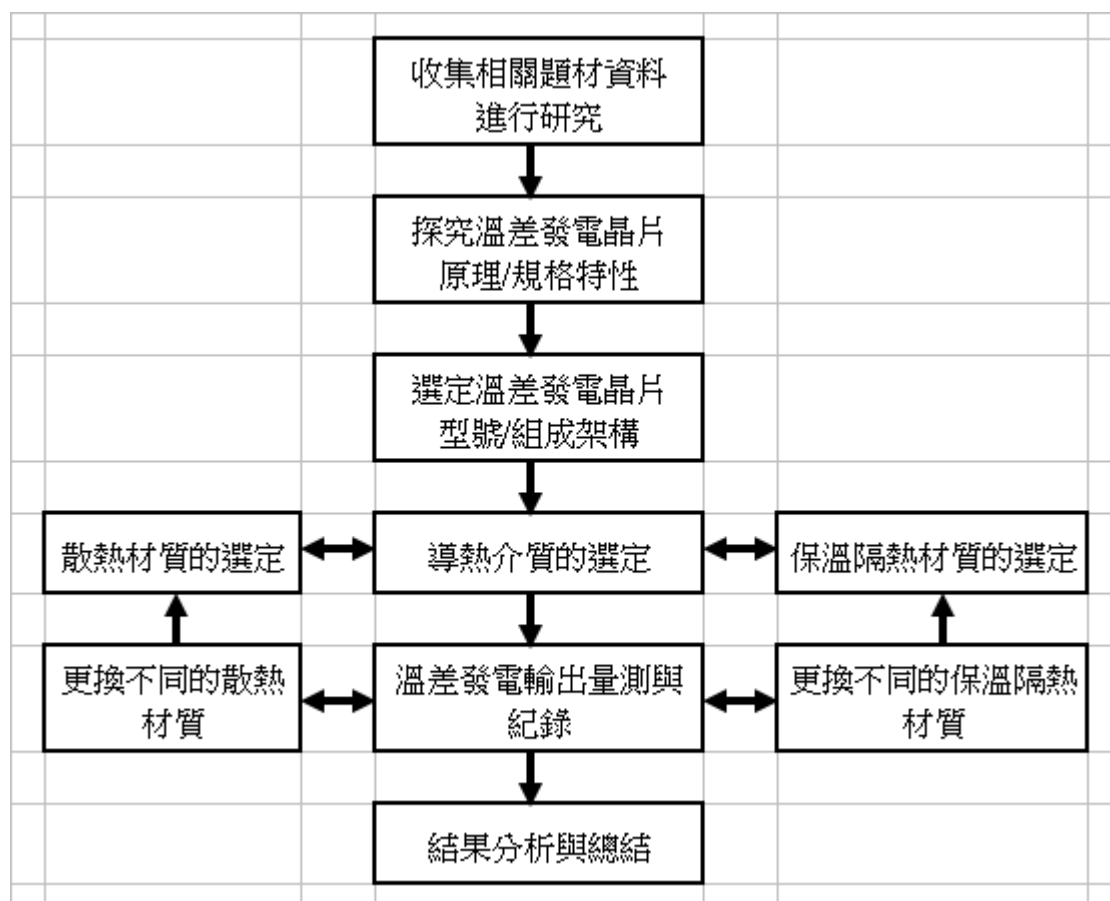
- 五、純銅(紅銅)片、石墨烯散熱貼片、冷氣用冷媒管(含隔熱棉包覆材)、PVC 保溫膠布、聚烯烴隔熱棉、萊卡布+發泡橡膠、散熱膏、散熱模組、保冷凝膠墊等附屬材料



## 六、白熾燈泡組/電磁爐

(以白熾燈泡的表面溫度/電磁爐燒開水溫度來模擬廢熱熱源溫度)

### 肆、研究過程或方法

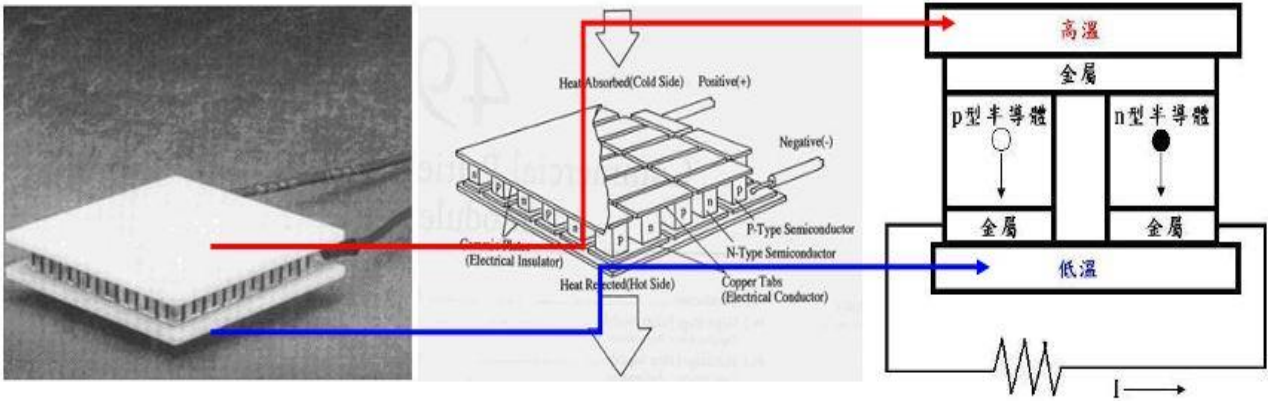


#### 一、溫差發電晶片(SP1848-27145)的原理及特性

##### (一) 熱電效應-塞貝克效應-帕爾帖效應

德國物理學家托馬斯·約翰·塞貝克於 1821 年發現，將二種不同金屬各自二端分別連接構成的迴路，如果兩種金屬的兩個接點處溫度不同，就會在這樣的線路內發生電流。這種現象稱為賽貝克效應(Seebeck Effect)。

不同的金屬(或半導體)具有不同的自由電子密度，自由電子的擴散速率與接觸區的溫度成正比，而不同溫度的相同金屬(或半導體)也具有不同的自由電子密度，所以只要維持兩端的溫差，就能夠使自由電子持續擴散，在溫差兩個端點形成穩定的電壓。反之，若不同的導體(或半導體)所形成的封閉回路通以電壓產生電流時，則會在兩個接點產生一端吸熱，另一端放熱的現象，此即稱為帕爾帖效應(Peltier effect)。



(二) 溫差發電晶片 (SP1848-27145) 的規格如下：

溫差(°C)	20	40	60	80
開路電壓(V)	0.97	1.8	2.4	3.6
功率電流(mA)	225	368	469	558

實際量測值受到後天環境的限制與影響，得到開路電壓值小於規格所述。

分析：會造成實際量測值與規格值有差距的原因，推論如下

1. 我們所量測到的溫差為晶片熱面(陶瓷表面)與冷面(陶瓷表面)的溫度差距，並非內部半導體(PN 接面)接觸的溫差(要扣掉熱面與冷面陶瓷的溫差遞減效應)。
2. 溫差發電晶片熱面與冷面的受熱均勻度與否，亦會影響整體發電的效率。
3. 實務操作上溫差發電晶片的溫差與開路電壓均為瞬間量測所得，量測穩定度會有誤差。但整體發電 vs 溫差的趨勢上是與規格相符的，絕對量測值的精準與否不至於影響本次實驗所要探究的目的。

## 二、導熱介質的比較與選定

(一) 不同材料的導熱係數(熱傳導率)比較表如下所示。從表中可知石墨烯材料的熱傳導效率最高(約為銅的 6~12 倍以上)，但石墨烯材料取得不易，我們從網路上找到一款石墨烯鍍膜貼片(供手機散熱用，石墨烯鍍膜厚度為 0.025mm)來測試看看其效果。但就日常生活中可方便取得、耐用度及形塑容易(尺寸裁切)等相關條件考量下，”銅”材料仍為本次實驗中導熱介質的主要角色。

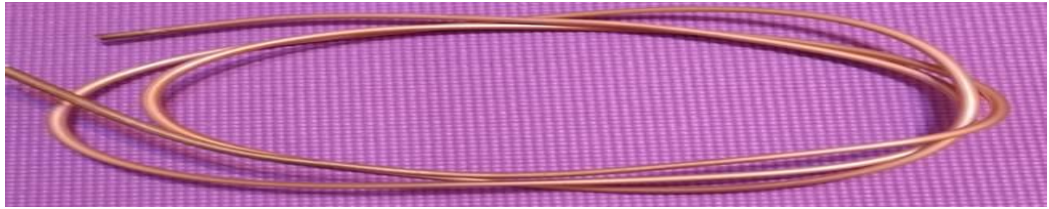
石墨烯鍍膜貼片：



銅片:



銅管:

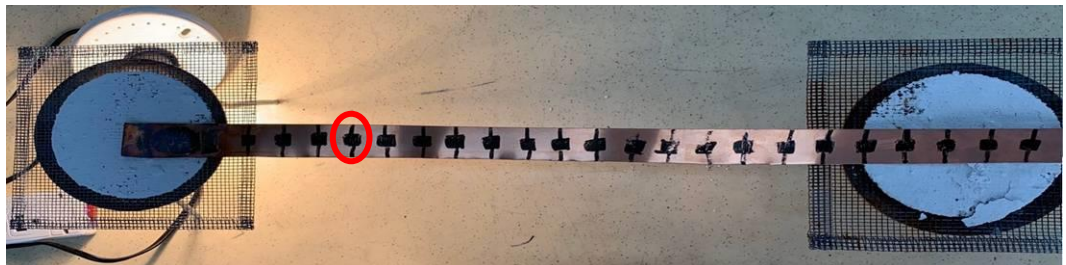


[表一] 不同材料的導熱係數(熱傳導率)

物質	物質狀態	導熱率 $Wm^{-1}K^{-1}$
石墨烯	固態	$(4840\pm440) \sim (5300\pm480)$
金剛石	固態	900 ~ 2320
銀	固態	420
銅	固態	401
黃金	固態	318
鋁	固態	237

(二) 銅片/銅管的導熱效果量測記錄(紅外線測溫槍: GM320A)

每隔 2cm  
黑色白板筆  
(量測點)



說明與分析：

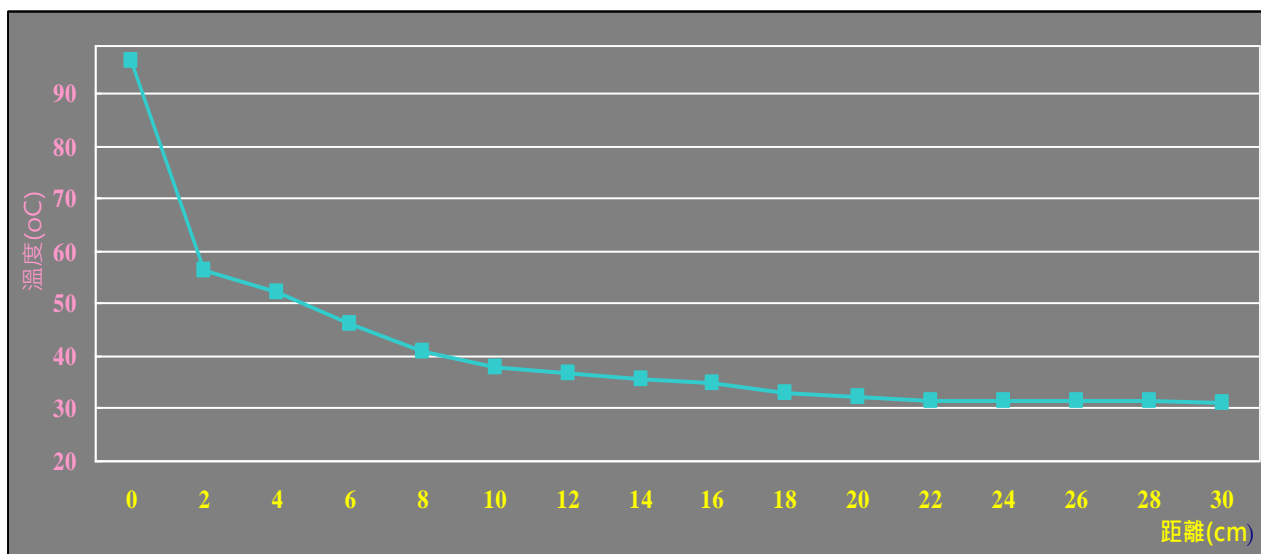
1. 熱源為白熾燈泡(100W)的表面溫度。
2. 一開始在用紅外線測溫槍量測銅片/銅管溫度時，發現量到的溫度值都偏低，與實際現象不符。經探究後發現原來光亮面或拋光金屬材質會影響紅外線測溫槍的量測判斷，需要依據不同金屬材質改變紅外線測溫槍的發射率。銅材質的氧化發射率約為 0.5 上下，拋光面為 0.02~0.05。但此次所使用的紅外線測溫槍發射率為固定在 0.95(適用一般紙類、塑化類等材質)無法變更，因此採取應變作法，在銅片/銅管上塗上黑色塗料(黑色白板筆)避免反射，然後再以紅外線測溫槍針對黑色塗點進行量測上面的溫度來作紀錄。

材質	發射率	材質	發射率
鉛,灰色	0.28	水	0.98
鉛,氧化處理	0.63	鋅板	0.20
鉛,紅色,粉狀	0.93	鋁,拋光處理	0.05
鉛,有光澤	0.08	鋁,表面粗糙	0.07
汞,純	0.10	鋁,強氧化處理	0.25
紙材,黑色,有光澤	0.90	黃銅,無光澤暗淡	0.22
紙材,黑色,無光澤	0.94	黃銅,拋光處理	0.03
紙材,白色	0.90	磚,普通	0.85
鉛,純,拋光處理	0.08	磚,釉彩處理,粗糙	0.94
瓷,釉彩處理	0.92	青銅,多孔粗糙	0.55
石英	0.93	青銅,拋光處理	0.10
鋼,鏽紅	0.69	銅,拋光處理	0.02
鋼板,鍍銀	0.11	銅,拋光退火處理	0.01
鋼板,軋製處理	0.56	銅,商業磨光處理	0.07
鋼,防銹	0.10	銅,氧化至發黑	0.65
膠木	0.93	搪瓷(琺瑯)	0.90

紅外線發射率表

量測記錄如下：

距離(cm)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
溫度(°C)	96	56.3	51.9	45.8	40.8	37.5	36.7	35.5	34.8	32.8	31.9	31.4	31.3	31.3	31.2	31



[圖一] 溫度變化與熱源 vs 銅片距離量測記錄

- 銅片的表面溫度與距離的關係如上圖所示。從[圖一]中很明顯的看出，當距離熱源位置 20cm 時，溫度已經掉到約 32°C 左右了。這是因為銅本身的導熱性佳，但相對的散熱性也很好。銅管的量測結果與銅片相近，所以與銅的外形無直接關聯。

### (三) 石墨烯鍍膜貼片 vs 銅片的導熱效果量測記錄(熱電偶接觸式測溫儀: GM1312)

有鑑於紅外線測溫槍的量測材質限制，因此改採用熱電偶接觸式測溫儀來比較石墨烯鍍膜貼片與銅片的導熱與散熱效果。

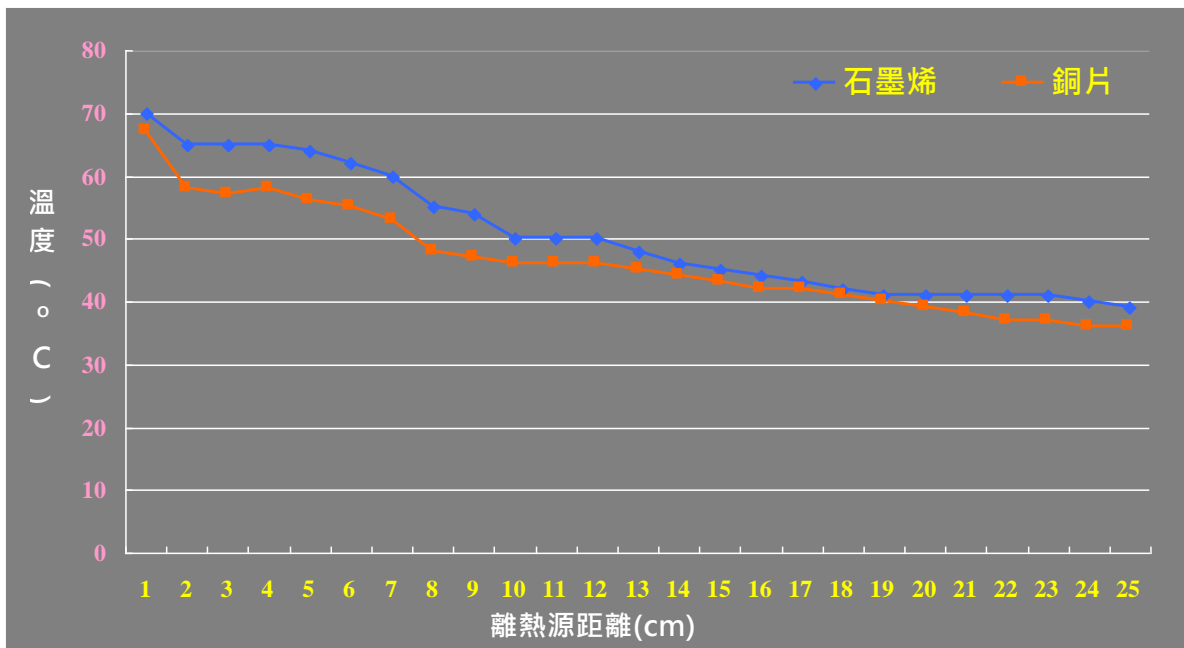


石墨烯鍍膜貼片：

距離(cm)	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25
溫度(°C)	70	65	64	60	54	50	48	45	43	41	41	41	39

銅片：

距離(cm)	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25
溫度(°C)	67	57	56	53	47	46	45	43	42	40	38	37	36



[圖二] 溫度變化與石墨烯鍍膜貼片 vs 銅片距離量測記錄

說明與分析：

1. 無論是石墨烯鍍膜貼片或者銅片，隨著離熱源的距離愈遠，溫度掉得愈快，兩者間無明顯的差異。量測結果與導熱係數[石墨烯: 導熱率  $Wm^{-1}K^{-1}$ : 2400, 銅: 導熱率  $Wm^{-1}K^{-1}$ : 401]不符。
2. 細探究其原因，我們所取得的石墨烯鍍膜貼片只是鍍上一層厚度 0.025mm 的石墨烯粉。一開始測試還有些效果，但經過多次高溫測試後，此石墨烯鍍膜貼片已經變質焦黑無法使用。
3. 銅片的厚度為 0.3mm，耐用性強，因此後續實驗量測數據均以銅片為主要參考。

### 三、不同隔熱材質的導熱效果比較與量測記錄

#### (一) PVC 保溫膠布+銅管



#### (二) 冷氣冷媒管包覆材+銅管



#### (三) 潛水衣材質(萊卡布+發泡橡膠)+銅片



#### (四) 鋁箔片+銅片



#### (五) 聚烯烴隔熱棉+銅片



[表二]：不同隔熱材質的導熱效果比較

保溫隔熱 材質	(一) PVC 保溫膠布	(二) 冷氣冷媒管包覆材	(三) 萊卡布+發泡橡膠	(四) 鋁箔片	(五) 聚烯烴隔熱棉
0 cm	88.3	87.9	90.4	91.2	89
20 cm	34.7	39.3	36.7	31.4	57.6
距離/溫度 流失	-53.6	-48.6	-53.7	-59.8	-31.4
	溫度(°C)				

說明與分析：

1. 取材冷氣冷媒管包覆材，其內層包覆著隔熱棉，外層則為 PVC 膠膜。PVC 保溫膠布及鋁箔片為直接包覆在銅片上，萊卡布+發泡橡膠(潛水衣材質)與聚烯烴隔熱棉則為上下各一片緊密包夾住銅片。因為此實驗中間段均包覆著隔熱材料，無法量測到各區間的溫度梯度變化，只能量測熱源開端及隔熱材料尾端的溫度值。
2. 從量測結果來看，相同距離下銅片外露(對照組) vs (一)PVC 保溫膠布 & (二)冷氣冷媒管包覆材 & (三)萊卡布+發泡橡膠進行比較，有隔熱材質只大約增加 5°C~8°C 左右。銅片外露(對照組) vs (四)鋁箔片則無明顯差異(因為鋁箔片與銅片的散熱效果相當)。至於銅片外露(對照組) vs (五)聚烯烴隔熱棉則增加約 28°C 左右的溫度，為五種隔熱材料中保溫效果最好的。

探究其原因為除了本身隔熱材質有所差異外，(五)聚烯烴隔熱棉包覆銅片的方式採上下緊密夾住銅片，**內層的空氣被擠出**，而減少了空氣的散熱流失。再加上聚烯烴材質具有良好的絕緣保溫、耐化學腐蝕特性，因此保溫效果也就可以顯著地提升。

註：因為材料購買上的限制，不同材質的隔熱棉，厚度有所不同，這也會影響保溫隔熱的效果。我們僅能就目前現有資源取得的材料擇優取一。

3. 從上述的實驗經驗，思索要如何將熱(溫度)保存起來的方法，想起了我們日常生活中經常使用到的及自然與生活科技課程中提到的保溫瓶(保溫杯)，可以長時間的維持熱能。主要原理為其雙層結構，在兩層間抽真空，**真空不會傳遞熱量**，就相當於切斷熱溢散的途徑，外殼採用聚乙烯(PE)及矽利康(或稱矽氧樹脂/矽膠, Silicone)來增加密合度及防止對流。

實務上要客製化真空傳輸管來進行此項研究在短期內無法實現，既然抽真空做不到，如何讓夾層中的空氣量最少、熱不會溢散，從實驗結果可得知第(五)方案採取聚烯烴隔熱棉以上下緊密夾住銅片的方式是較佳的選擇，此保溫隔熱方案也會應用在接下來的溫差發電實驗上。

#### 四、溫差發電晶片組的排列架構比較

(一) 以往溫差發電晶片組的排列方式如下圖所示(熱面均朝一個方向，冷面均朝另一面)



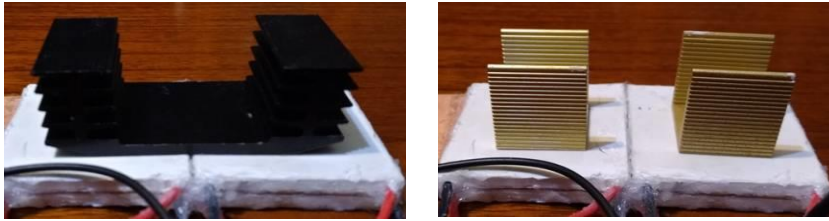
優點：直接將大面積銅片接觸在熱源之上，熱源可以均勻直接地供應給每顆溫差發電晶片的熱面進行吸收。

缺點：

1. 雖然每顆溫差發電晶片熱面受熱均勻，但銅片既是良好導熱材質，亦是絕佳的散熱介質。除非熱源供應源源不絕，否則許多熱能都會因大面積的銅片而溢散損耗。
2. 實際生活周遭廢熱的來源，熱源面積並非是理想的大尺寸、大平面，此同一平面排列方式的彈性靈活度較差，空間要求易受侷限住。
3. 溫差發電晶片的發電效率高低與否，關鍵主要來自於熱面與冷面的溫度差異。溫差愈大，發電效率愈高。但是熱面的溫度上升，經過中間的熱電元件(碲化鉍等材料)傳遞，冷面的溫度也會隨時間增加而升高，造成溫差逐漸變小，發電效率就會漸漸減少降低。另外要如何在大面積的晶片冷面進行降溫處理，過去一直有許多的研究，包括加上散熱模組、採用散熱鰭片/冷凝管，甚至是應用水冷頭(需水泵來抽動冷熱水交替)等，且熱源就位於正下方，過去相關散熱實驗多需耗用額外電力來進行降溫。

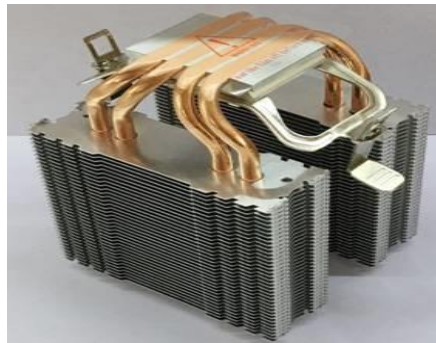
茲就將過往相關散熱方案優劣進行分析比較如下所述：

(1) 散熱模組-



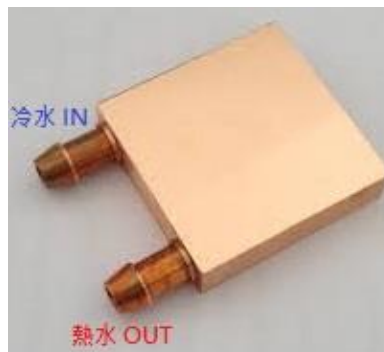
在晶片的冷面上放置散熱模組，目的在於增加散熱的面積，提高散熱的效率。但是若是熱源位於正下方，經過一段時間之後，熱面與冷面會趨近於溫度一致(即散熱模組已無法繼續溢散更多的熱能)，溫差逐漸變小，發電效能也會逐漸減少甚至消失。

(2) 散熱鰭片/冷凝管-



採用類似圖示的雙鰭片扣合大功率散熱器，散熱的效能優於單純的散熱模組。但是相對的所需體積過大(佔用過多空間)，彈性靈活度不佳。

(3) 水冷頭-



水冷頭材質為銅(或者鋁)，其原理為一端冷水(冷卻液)進入水冷頭，另一端則將變熱/變溫的水排出，不斷循環的透過水流將熱帶走。

此方法所提供的散熱效率最佳，惟最大的敗筆是需要水泵(或沉水馬達)來抽動冷熱水循環替換，而水泵需要電力來驅動。溫差發電產生的電力要扣掉水泵耗掉的電力才是淨增加的電能。所以應用水冷頭系統來降溫一案，實際上產生的環保電能效率是大打折扣的。

經由上述的探究分析，得到的初步結論為若能尋找出有效率又簡便的方式來處理溫差發電晶片冷面的降溫會是溫差發電能否持續穩定的關鍵因素，而這正是本科展專題提出讓溫差發電晶片遠離熱源端的主要精神與用意。

(二) 本次科展專題所提出的溫差發電晶片組排列架構如下圖所示：

[正視圖]



[側視圖]



1. 架構說明：

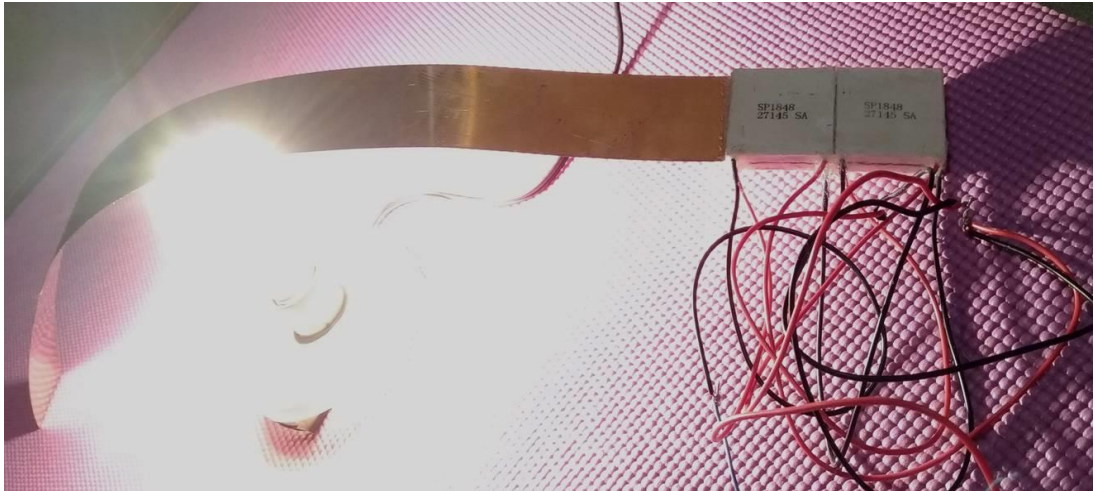
不同於以往的相關研究都是將晶片的熱面朝著同一個方向(熱源)排列。我們提出新的排列方式為兩兩晶片的熱面相對，中間夾以銅片作為熱傳導介質。此排列方式為兩兩一組，可重複依序排列無數量上的限制(本例為四顆(兩組)溫差發電晶片組)。此架構的好處除了溫差發電晶片可以模組化擴充外，熱源的位置、大小都較有彈性。

2. 銅片加上聚烯烴隔熱棉，可以讓溫差發電晶片組遠離熱源端。

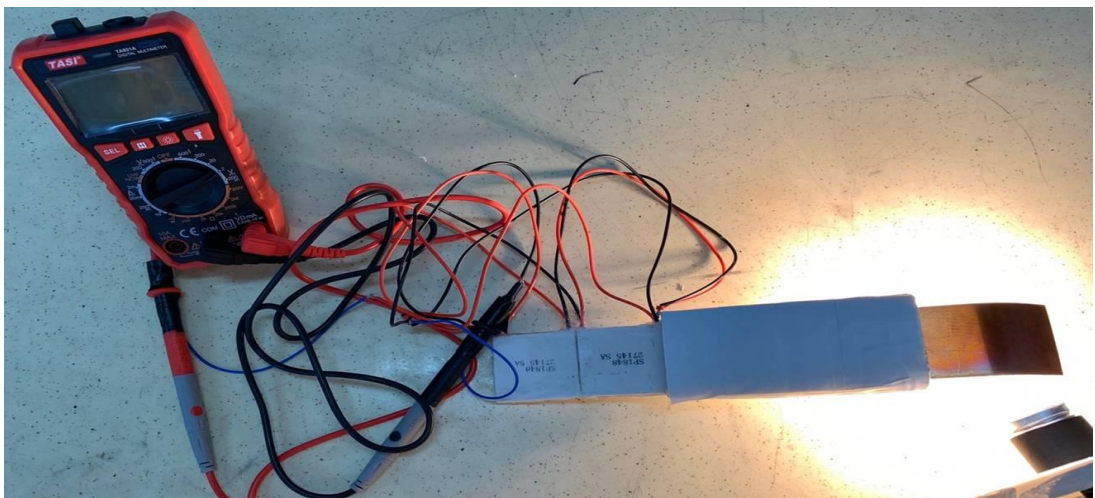


3. 實驗安排：為求實驗的便利性，我們以白熾燈泡(100W)點亮後的燈泡表面溫度來模擬(CPU & GPU) IC 的表面溫度。
4. 整體實驗如下(1)對照組、(2)實驗組一、(3)實驗組二，相關條件如下所述：

(1) 對照組：銅片未包覆(裸銅)+溫差發電晶片冷面--環境溫度散熱



(2) 實驗組一：銅片包覆聚烯烴隔熱棉+溫差發電晶片冷面--環境溫度散熱



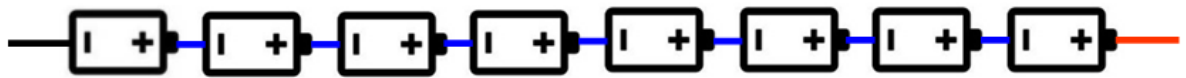
(3) 實驗組二：銅片包覆聚烯烴隔熱棉+溫差發電晶片冷面--保冷凝膠敷墊散熱



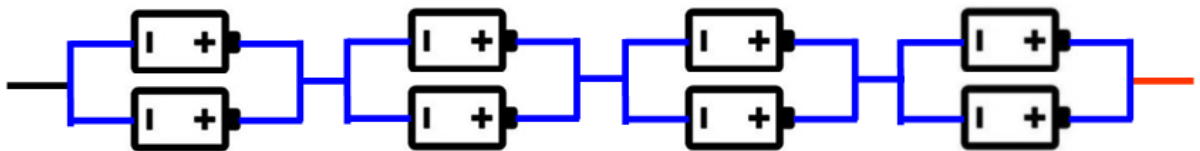
(三) 溫差發電晶片組排列架構(八顆串並聯組合)如下圖所示



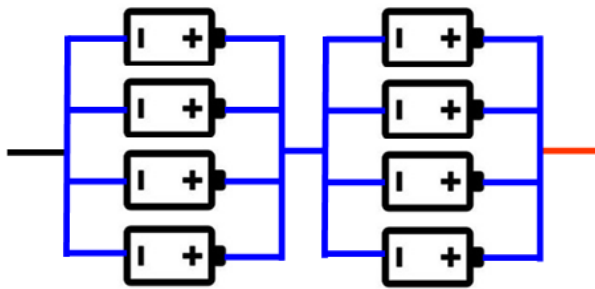
(1) 八顆串聯在一起



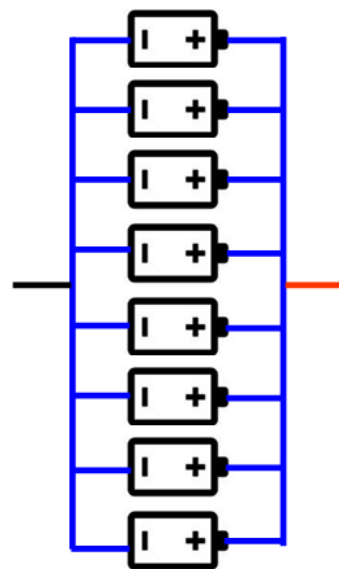
(2) 兩顆並聯為一組，四組再串聯一起



(3) 四顆並聯為一組，兩組再串聯一起



(4) 八顆並聯在一起



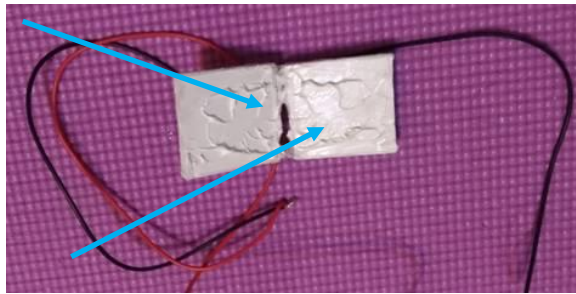


## 伍、研究結果

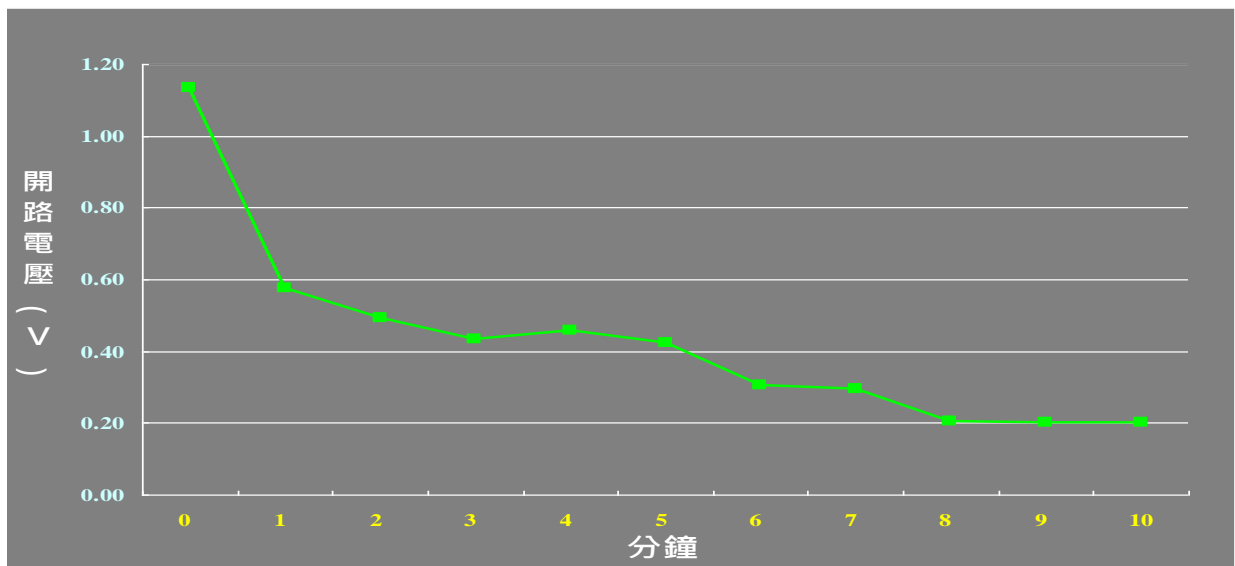
### 一、初始量測：

初始量測白熾燈泡表面溫度約為 95°C，經銅片+聚烯烴隔熱棉進到溫差發電晶片的溫度為 56°C。用三用電表只能量測到微弱的開路電壓，一開始懷疑是否晶片損壞或者另有什麼地方沒處理好。經仔細推敲討論後，發現問題可能出在導熱膏上。導熱膏（Thermal grease）也稱為散熱膏，是一種導熱性良好（但多半不導電）的膏狀物質，一般會用在散熱片和熱源的介面上。導熱膏的主要作用是去除介面部位的空氣或是間隙（因為空氣導熱性不佳），以讓熱傳導量可以增到最大。但是導熱膏本身的導熱性遠不及銅，只是用來填補縫隙排出空氣，我們可能將導熱膏塗得太厚以至於初次量測的發電效率不佳。

[導熱膏塗太厚了]



### 二、以往溫差發電晶片組的開路電壓 vs 時間曲線如下所示：



[圖三] 溫差發電晶片組直接置放於熱源正上方的開路電壓 vs 時間曲線

分鐘	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
開路電壓 (V)	1.13	0.58	0.492	0.435	0.458	0.424	0.304	0.295	0.203	0.201	0.2
冷熱面溫差 (°C)	-	12.5	12.2	9.4	8.5	6.9	4.6	3.4	2.1	2.1	2

從量測曲線可清楚發現，溫差發電晶片組放在熱源正上方時，瞬間的開路電壓值最大。因為熱面的溫度急速上升，而冷面一開始仍維持在環境溫度左右。隨著時間的增加，冷面的溫度也開始快速上揚，兩端的溫差大幅縮小，開路電壓也就一路陡降。

三、溫差發電晶片組(四顆串聯)透過銅片搭配不同隔熱/散熱介質的量測結果：

	分鐘	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
開路電壓	(1)	45	49	59	61	61	67	68	70	72	77	80	80	83	84	80	81
	(2)	33	61	81	87	91	100	96	100	101	121	126	148	160	173	179	180
	(3)	25	48	94	131	139	145	151	167	200	226	244	264	271	275	281	289

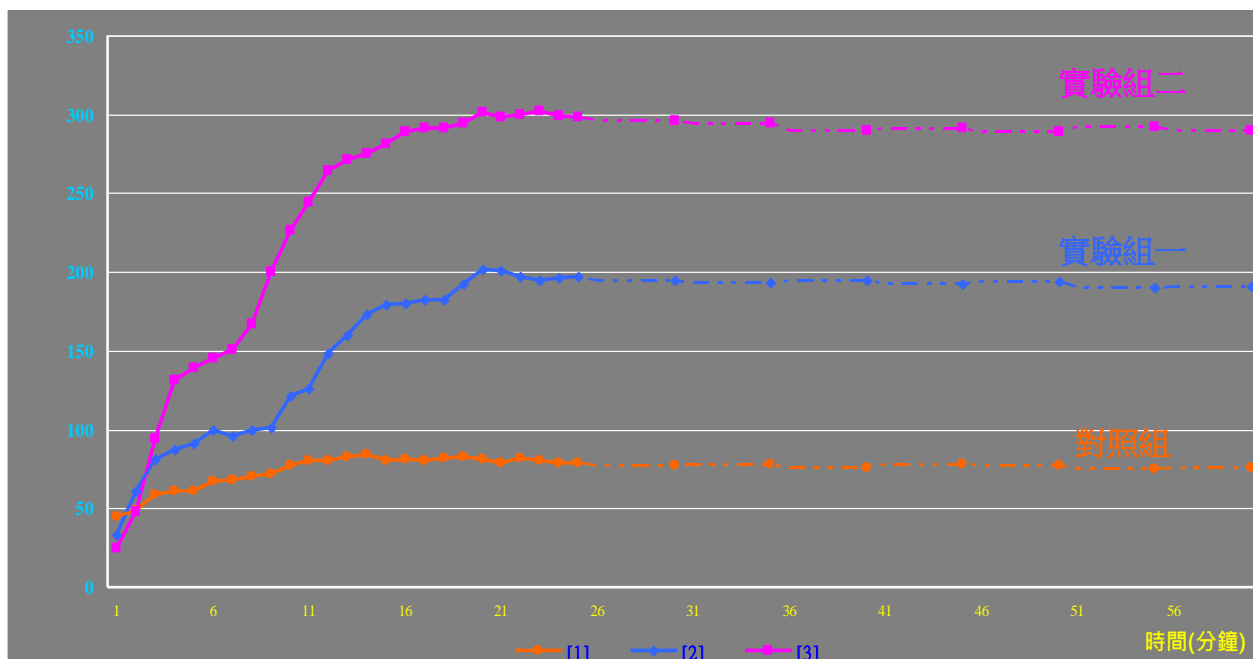
	分鐘	17	18	19	20	21	22	23	24	25
開路電壓	(1)	80	82	83	81	79	82	80	79	79
	(2)	182	182	192	202	201	197	195	196	197
	(3)	291	291	294	301	298	300	302	299	298

	分鐘	30	35	40	45	50	55	60
開路電壓	(1)	77	78	76	78	77	75	76
	(2)	195	193	195	192	194	190	191
	(3)	296	294	290	291	289	292	290

(1), (2), (3)的條件分別對應到：

- (1) **對照組**：銅片未包覆(裸銅)+溫差發電晶片冷面--環境溫度散熱
- (2) **實驗組一**：銅片包覆聚烯烴隔熱棉+溫差發電晶片冷面--環境溫度散熱
- (3) **實驗組二**：銅片包覆聚烯烴隔熱棉+溫差發電晶片冷面--保冷凝膠敷墊散熱

前 25 分鐘採每分鐘記錄一次溫差發電晶片組的開路電壓值，後 35 分鐘則為每 5 分鐘記錄一次。將上述數據整合，以折線圖表示如下：



[圖四] 溫差發電晶片組(四顆串聯)透過銅片搭配不同隔熱/散熱介質的量測曲線

#### 四、溫差發電晶片組(八顆串並聯組合)+銅片包覆聚烯烴隔熱棉+溫差發電晶片冷面--

保冷凝膠敷墊散熱：

[表三]：溫差發電晶片組(八顆串並聯組合)

(60 分鐘)	開路電壓	電流
(1) 八串(聯)	588 mV	17 mA
(2) 兩並(聯)+四串(聯)	274 mV	31 mA
(3) 四並(聯)+兩串(聯)	151 mV	59 mA
(4) 八並(聯)	84 mV	114 mA

## 陸、討論

### 一、以往溫差發電晶片組架構：

過往實驗多半直接將溫差發電晶片組如貼磁磚般的一個一個排列好置放於熱源正上方。此架構最大的好處是熱源幾乎無耗損的直接供應給溫差發電晶片熱面，但是對應而來的缺點則是受限於熱源的面積大小，決定了溫差發電晶片組的數目。此外，溫差發電晶片的冷面降溫也會變得棘手，必須花費更多的心力(額外電力)來處理降溫以維持冷熱面的溫差。

否則就如同[圖三]量測曲線般，開路電壓在一開始的瞬間急速上升，然後隨著溫差的

逐漸縮小，開路電壓也呈現陡降的態勢。

## 二、溫差發電晶片組(四顆串聯)透過銅片搭配不同隔熱/散熱介質討論：

### (一) 對照組(橘色曲線)：銅片未包覆(裸銅)+溫差發電晶片冷面--環境溫度散熱

分析：由於銅片未進行包覆(裸銅)，熱源的溫度(約 98°C)，實際進到溫差發電晶片組的溫度不到 40°C，加上溫差發電晶片冷面是單純依靠環境自然散熱，整體溫差約 20°C 不到。雖然還是可以產生開路電壓/電流，但是數值並不理想。

### (二) 實驗組一(藍色曲線)：銅片包覆聚烯烴隔熱棉+溫差發電晶片冷面--環境溫度散熱

分析：銅片包覆聚烯烴隔熱棉，熱源的溫度(約 98°C)，實際進到溫差發電晶片組的溫度將近 58°C，雖然溫差發電晶片冷面還是單純依靠環境自然散熱，但溫差維持在 35°C 左右。開路電壓相較於對照組提升了 1.5 倍左右。

### (三) 實驗組二(粉色曲線)：銅片包覆聚烯烴隔熱棉+溫差發電晶片冷面--保冷凝膠敷墊散熱

分析：銅片包覆聚烯烴隔熱棉，熱源的溫度(約 98°C)，實際進到溫差發電晶片組的溫度將近 58°C 與實驗組一相同。另外溫差發電晶片的冷面以保冷凝膠墊敷住，開路電壓又比實驗組一往上提升了 52%。

## 綜合分析：

有溫差，溫差發電晶片就可以產生開路電壓/電流。溫差愈大，所產生的開路電壓/電流也會愈大。若是單單僅追求於此，意義並不太大。過往相關實驗遇到的最大瓶頸是窮盡一切努力要讓溫差發電晶片冷面降溫，其所採用的方式不外是加掛散熱風扇，用電驅動散熱風扇運轉將熱氣排出來進行降溫。抑或以水冷系統，利用水泵讓冷熱水循環帶走熱氣來做降溫，這些可以統稱為**主動式降溫**。**主動式降溫需要額外的電力消耗才能達成**，而且過往實驗中溫差發電晶片多直接位於熱源處上方，晶片周遭環境溫度高，更增加冷面散熱的困難度，很難維持長久穩定的發電效能。

從[圖四]量測數據及量測曲線上可明顯發現到，本科展專題所提出的架構，可以提供較穩定的開路電壓/電流(1 小時的觀測)。最大的原因是**溫差發電晶片組與熱源有一段距離**，只須採用簡單**被動式降溫**方式，即降溫只依靠環境溫度或是簡單的保冷凝膠敷墊甚或直接將溫差發電晶片組沉浸於冷水中(前提為須確實作好晶片組的防水能力)就能達

成，無須耗損額外的電力來對晶片冷面進行降溫。而能以被動式降溫來降低溫差發電晶片冷面的關鍵即“熱”是被引導出來的，晶片組與熱源間可以保持一定距離的話，降溫自然就相對容易許多了。

### 被動式降溫方法：

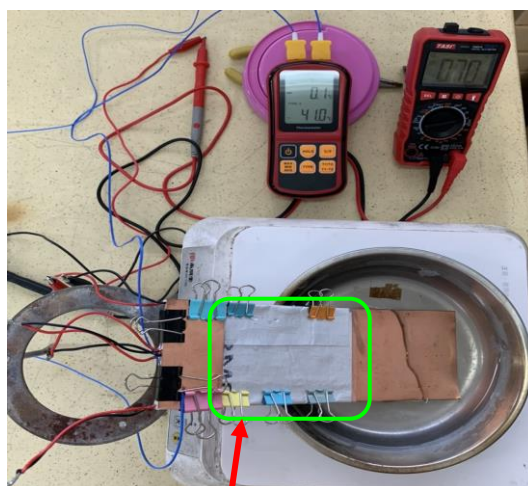
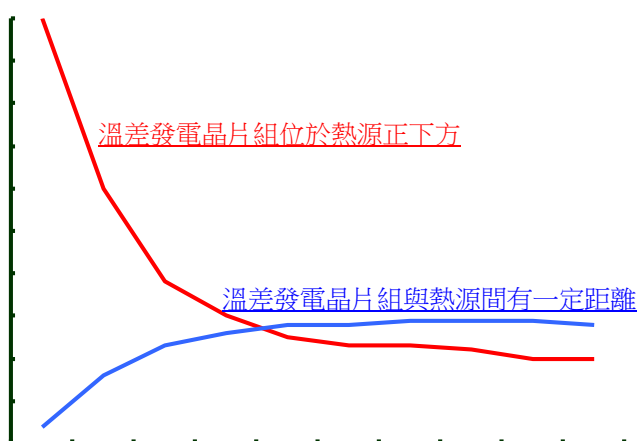
(1) 保冷凝膠敷墊降溫



(2) 冷水降溫(晶片組防水作業-周圍塗上矽利康)



[圖四]量測曲線上顯示約莫 25 分鐘之後，晶片組冷、熱面的溫差已達到接近平衡的狀態(即溫差維持定值)，所以發電所產生的開路電壓/電流也就能維持穩定輸出。至於一開始量測曲線的爬升速度較慢，是因為熱是漸漸的透過導熱介質(銅片)傳給晶片組的緣故。經過一段時間之後，銅片上的熱已經均勻傳遞至晶片的熱面後，曲線就快速上揚了。下圖兩條曲線的趨勢對照，可清楚說明本科展專題與過往相關實驗的最大差異之處。



要如何將熱傳導過程中耗損的熱能降到最低，提高溫差發電晶片的發電效率，除了導熱介質、隔熱保溫材質的選用外，“真空不會傳遞熱量”亦是未來要尋求改善方案之一。我們想到了或許在隔熱保溫材質外再包上一層 PET 熱收縮膜，抑或採用類似真空包裝機將隔熱保溫材質(上圖紅色箭頭所指區域-綠色框框範圍)當成食材般的抽真空包裝。若導熱介質與隔熱保溫材質間的空氣愈少，即多數的熱能都能經由導熱介質傳遞給溫差發電晶片熱面的話，有機會進一步提升溫差發電的效能。

## 柒、結論

綜合各項實驗數據與分析討論，對於此次科展專題提出的架構優缺點進行總結如下：

### 一、優點：

- (一) 溫差發電晶片兩兩熱面相對的架構，具有可快速擴充晶片組(模組化設計)的特點，不受熱源空間與面積大小的限制而侷限住擴充可能性。
- (二) 此架構所需熱源面積寬度小，對於日常生活中廢熱來源的選擇性增多、彈性度大。
- (三) 溫差發電晶片組熱面相對，熱對流效應在熱面內層展開，可增加熱面間溫度的均勻性及熱能充分利用。
- (四) 此架構是透過導熱介質(銅片)將廢熱傳導過來的，溫差發電晶片組與熱源位置有一定的距離存在，對於處理溫差發電晶片的冷面降溫相對簡單容易。(被動式降溫)

### 二、缺點：

此架構的最大缺點或需要改進之處為熱源是透過導熱介質經一定距離後傳導至溫差發電晶片熱面。雖然有加上隔熱材質避免熱源過度流失，但傳導過程中如何減少熱源溫度的耗損仍是個艱難課題待克服。

### 三、未來展望與應用：

石墨烯的問世引起了全世界的研究熱潮。隨著石墨烯(奈米材料)的漸漸普及，加上其導熱係數高達  $5300 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ (約為銅的 6~12 倍以上)，此架構若能實現以石墨烯板取代銅片成為導熱介質的話，就能減少傳遞過程中熱源的流失，大幅提升溫差發電的效率。且此架構具有可撓性、方便攜帶，增加其應用範圍與實用性。例如登山露營夜晚睡覺之時，利用營帳內睡袋中的體溫與高山夜晚外頭的低溫產生的溫差效應，就能在夜晚替手機、LED 露營燈進行充電。還有許多改進的空間與發展潛力可以繼續努力。

未來應用示意圖



## 捌、參考資料及其他

一、熱電效應- 維基百科，自由的百科全書

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%86%B1%E9%9B%BB%E6%95%88%E6%87%89>

二、賽貝克效應(Seebeck Effect)- 維基百科，自由的百科全書

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%B5%9B%E8%B4%9D%E5%85%8B%E6%95%88%E5%BA%94>

三、國立中興大學物理系 普物演示廳- 熱電效應裝置

<http://experiment.phys.nchu.edu.tw/device/exp44.html>

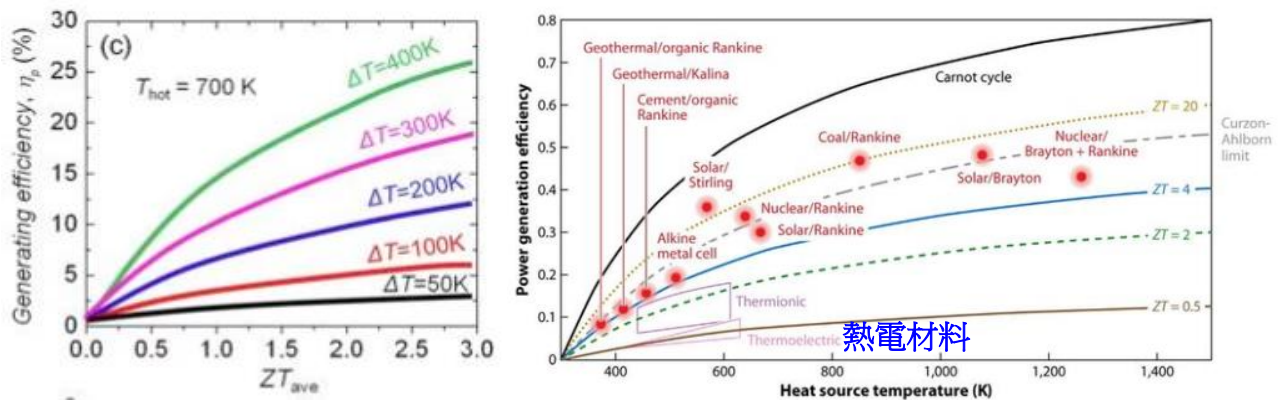
四、熱電材料、優質係數ZT、可以通過溫差發電的熱電材料(每日頭條)-

<https://kknews.cc/zh-tw/news/5l1bq82.html>

(一) Zhang X, Zhao L D. Thermoelectric materials: Energy conversion between heat and electricity[J]. Journal of Materiomics, 2015, 1(2): 92-105.

(二) He J, Tritt T M. Advances in thermoelectric materials research: Looking back and moving forward[J].

Science, 2017, 357(6358): eaak9997.



五、科技報橘TechOrange- 全新環保發電法：MIT 成功研發全新技術，靠日夜溫差就能發電  
- 永久免充電透過體溫發電

<https://buzzorange.com/techorange/2018/02/28/mit-heat-generate-power/>

六、科學月刊(1989、9)- 海洋溫差發電的過去、現在與未來----作者：梁乃匡

<http://lib.cysh.cy.edu.tw/science/content/1989/00090237/0010.htm>

七、經濟部能源局/再生能源資訊網- 想像不到的海洋溫差發電

<https://www.re.org.tw/media/more.aspx?cid=206&id=1052>

八、物理教育學刊- 太陽能及溫差發電示範實驗裝置 2008, 第九卷第二期, 27-34

<http://phys5.ncue.edu.tw/physedu/article/9-2/3.pdf>

九、熱導率(Thermal conductivity)- 維基百科，自由的百科全書

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%86%B1%E5%B0%8E%E7%8E%87>

**熱導率**(英語：Thermal conductivity) 其符號為 $k$ 、 $\lambda$ 或 $\kappa$ ，是指材料傳導熱能的能力，或稱**熱傳導率**。

單位為瓦·公尺<sup>-1</sup>克爾文<sup>-1</sup> ( $\frac{W}{mK}$ )

十、石墨烯- 維基百科，自由的百科全書

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%9F%B3%E5%A2%A8%E7%83%AF>

石墨烯目前是最薄卻也是最堅硬的奈米材料，它幾乎是完全透明的，只吸收2.3%的光[4]；導熱系數高達5300 W/m·K，高於奈米碳管和金剛石，常溫下其電子遷移率超過15000 cm<sup>2</sup>/V·s，又比奈米碳管或矽晶體（monocrystalline silicon）高，而電阻率只約10<sup>-6</sup> Ω·cm，比銅或銀更低，為目前世上電阻率最小的材料。

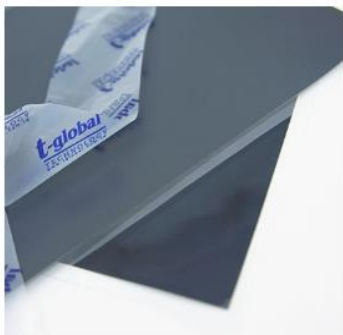
十一、 成功大學 微奈米科技研究中心- 二維材料-石墨烯

<http://cmnst.ncku.edu.tw/p/404-1006-156886.php>

十二、 科技新報TechNews- 彎曲 180 度也不影響性能，石墨烯超級電容有助穿戴式設備、  
電動車 <https://technews.tw/2020/02/19/graphene-supercapacitor/>

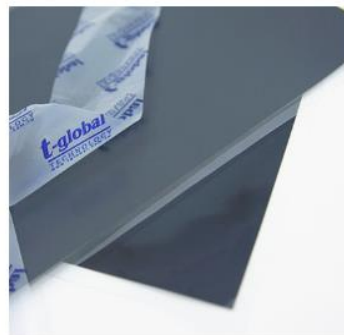
十三、 高柏科技 tglobal TECHNOLOGY- 導熱介面材料 石墨烯

<https://www.tglobalcorp.com/tw/product/thermal-interface-materials/graphene>



TG-P10050 石墨烯均溫片

- 導熱係數(XY軸): 1500~1800W/mk
- 導熱係數(Z軸): 12W/mk



TG-P10090 石墨烯均溫片

- 導熱係數(XY軸): 1500~1800W/mk
- 導熱係數(Z軸): 12W/mk



## 【評語】 082808

研究中提到石墨烯的高導電率，以及測試後的不使用理由。改以銅片作為導熱材料。利用熱電晶片作為發電的主體，所需要的主要是利用冷面以及熱面的溫度差異造成的席貝克效應發電。文中提到以往的作法會造成很快到達溫差變小的熱平衡狀態，造成因為溫差太小，產生的電壓微小，而無法達到需求的發電。改善方式以隔熱材料設法隔絕溫度保持溫差，然而以熱電晶片的不太厚的狀況，在固體的熱傳導部分如果沒有主動式的取熱系統造成溫差，不容易達成需求。

## 摘要

利用溫差發電晶片(SP1848-27145)的特性，將日常生活中額外產生的熱能轉化成電能，為環保盡一份心意。藉此希望能達到持續的“溫差”發電，提供源源不絕的綠色能源。

此研究與傳統溫差發電實驗最大的不同之處在於

🔥 熱源:透過導熱介質將“廢熱”引導出來

❄️ 冷面:透過環境溫度或加保冷凝膠墊的簡單方式來降溫

## 研究動機

### 傳統溫差發電實驗



📍 缺點：

1. 銅片易溢散熱能:良好導熱介質，亦是絕佳的散熱材質。
2. 空間要求易受侷限:生活中的廢熱面積並非是理想的大平面尺寸，此排列方式的彈性靈活度較差。
3. 溫差逐漸縮小:熱面的溫度上升，經過中間的熱電元件傳遞，冷面的溫度也會隨著時間增加而升高須利用主動式降溫才能有效降溫，但需額外耗電。例如利用散熱模組、散熱鰭片/冷凝管、散熱風扇/水冷頭

📍 熱源在正下方  
熱面均朝向熱源側，冷面則朝另一相反方向

📍 優點：  
將大面積銅片接觸在熱源之上，熱源的溫度可以直接地供應給溫差發電晶片的熱面進行吸收。

### 本次實驗



銅片



石墨烯



⚡ 熱源與溫差發電晶片有距離

⚡ 冷面依靠環境溫度來降溫即可，無須耗損額外的電力，稱之為被動式降溫

如何做到呢?

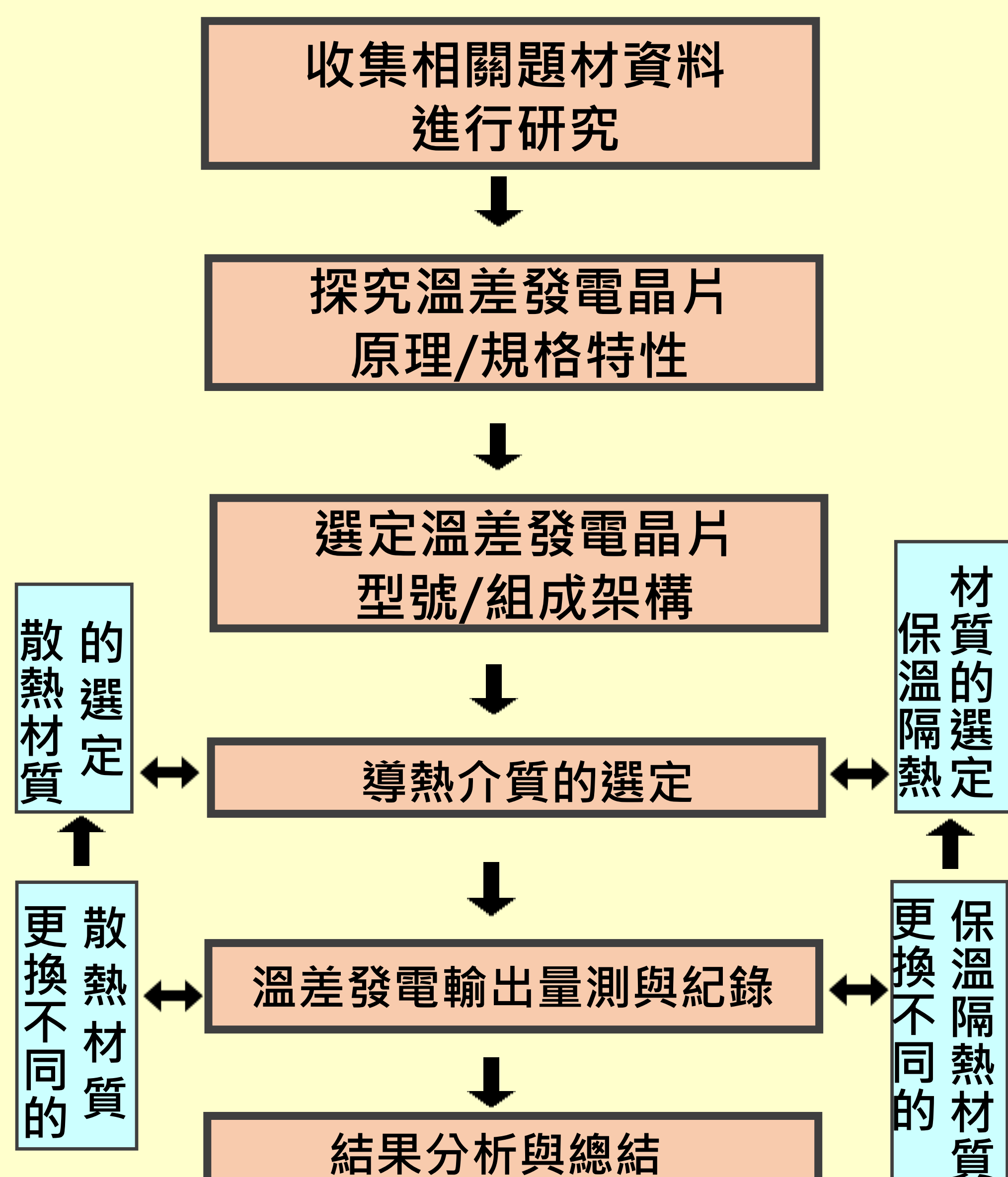
1. 利用導熱介質將熱傳導過來
2. 尋找適合的保溫隔熱材料，避免熱傳導的過程中，造成熱能大量流失

本次實驗結合自然與生活科技課程中所學到的能源與生活及熱對流、熱傳導、保溫的觀念，學以致用。

## 研究目的

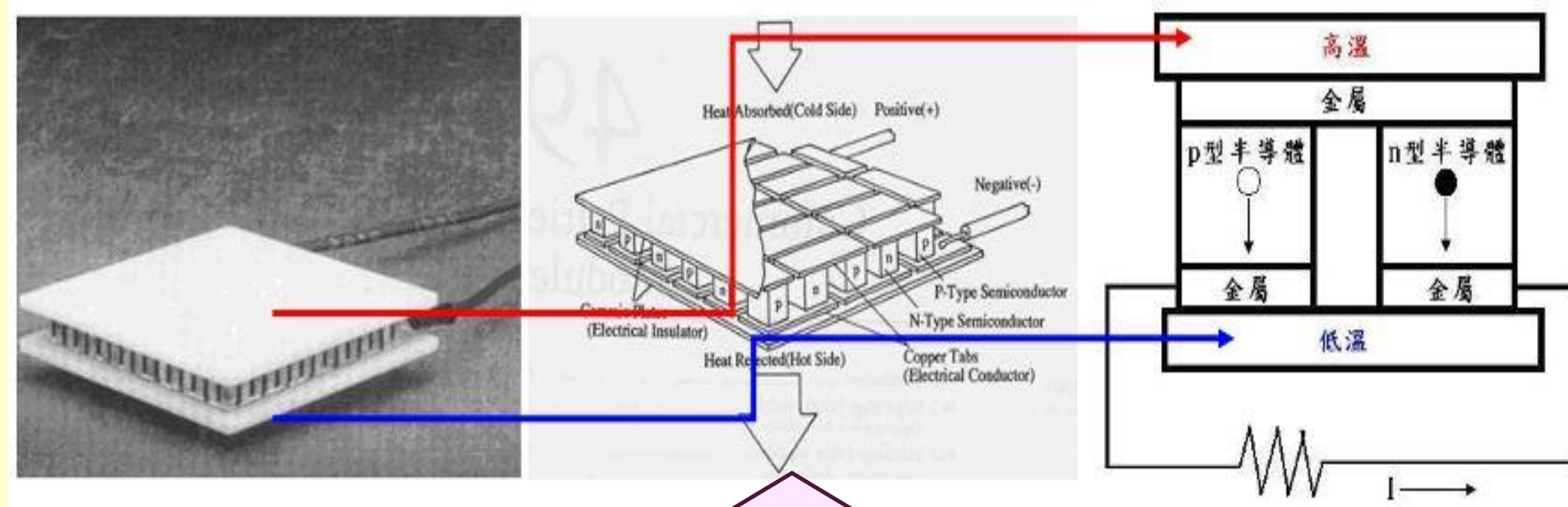
- 從實驗中認識溫差發電晶片的原理及相關特性
- 導熱、隔熱、散熱材料的選用(考量因素：導熱係數、可撓度、取得的普及性等)
- 如何有效地將“熱”保存並且傳送一定距離
- 如何持續有效維持溫差發電晶片(SP1848-27145)的熱面與冷面溫差

## 研究流程



## 研究設備及器材

⚡ 溫差發電晶片的原理與規格



將二種不同金屬/半導體各自二端分別連接構成的迴路，如果兩種金屬/半導體的兩個節點處溫度不同，就會在線路內產生電流。這種現象稱為賽貝克效應(Seebeck Effect)。

溫差(°C)	20/24.3	40/40.4	60/46.7	80/75.8
開路電壓(V)	0.97/0.08	1.8/0.13	2.4/0.15	3.6/0.22

規格值與實際量測值差距的原因：

1. 要扣掉晶片陶瓷表面的溫差遞減效應
2. 受熱均勻度與否
3. 瞬間量測所得，造成的誤差

# 研究過程與方法

## 導熱介質的比較與選定 石墨烯VS銅

物質	物質狀態	導熱率 $Wm^{-1}K^{-1}$	價格 30*30cm
石墨烯	固態	(4840±440) ~ (5300±480)	800元
金剛石	固態	900 ~ 2320	
銀	固態	420	
銅	固態	401	220元
黃金	固態	318	
鋁	固態	237	

### 石墨烯鍍膜貼片



從表中可知**石墨烯**材料的熱傳導效率最高(約為銅的6~12倍以上)·但**石墨烯**材料取得不易·且價格約為銅的四倍·我們從網路上找到一款**石墨烯鍍膜貼片**(供手機散熱用·石墨烯鍍膜厚度為0.025mm)來測試看看其效果。

### 銅片



就日常生活中**可方便取得**·耐用度及形塑容易(尺寸裁切)等相關條件考量下·"**銅**"材料仍為本次實驗中**導熱介質的主要角色**

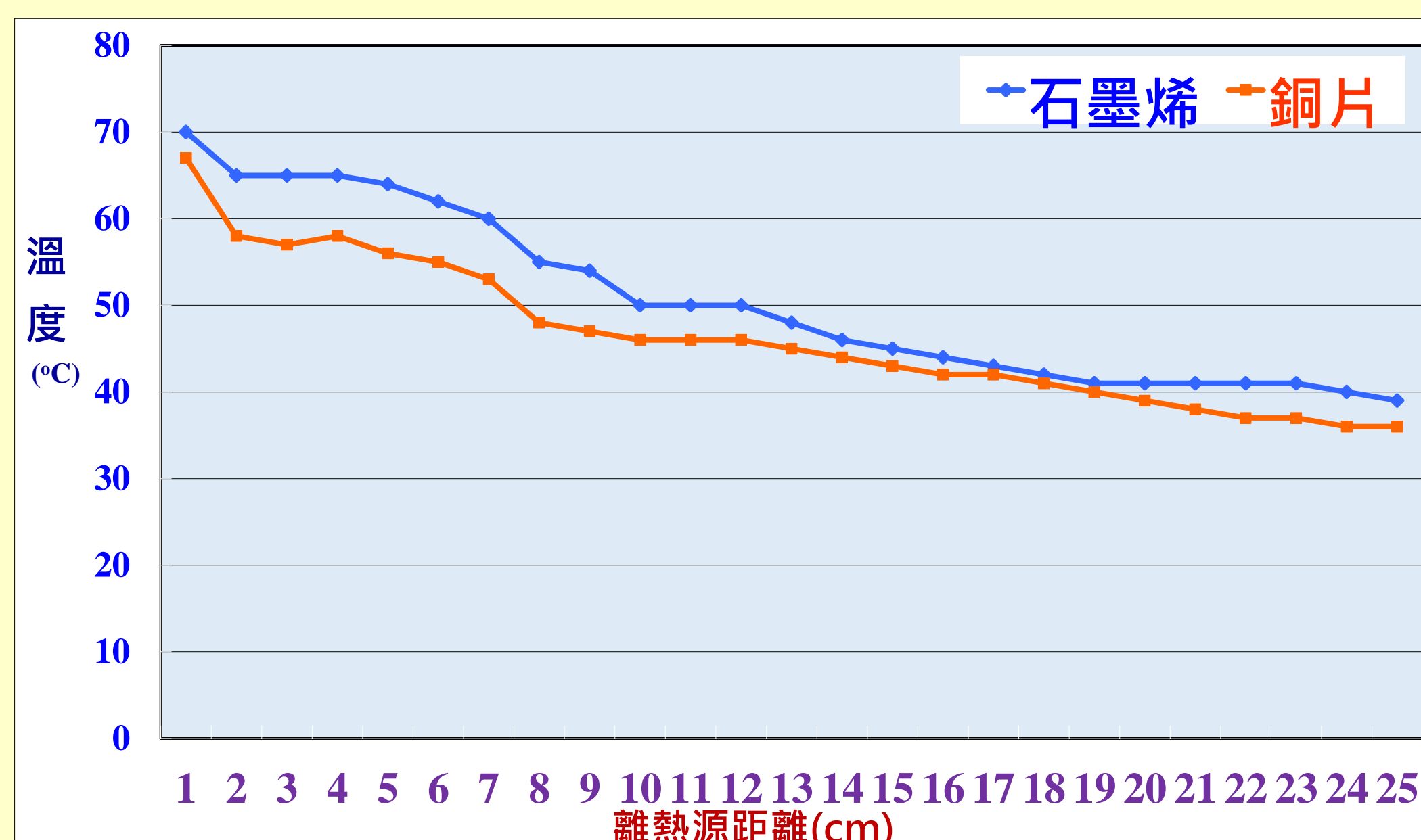
## 石墨烯鍍膜貼片vs銅片的導熱效果量測 使用工具:(熱電偶接觸式測溫儀: GM1312)

### 石墨烯鍍膜貼片 距離量測溫度變化紀錄

距離 (cm)	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25
溫度 (°C)	70	65	64	60	54	50	48	45	43	41	41	41	39

### 銅片 距離量測溫度變化紀錄

距離 (cm)	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25
溫度 (°C)	67	57	56	53	47	46	45	43	42	40	38	37	36



- 1.無論是**石墨烯鍍膜貼片**或者**銅片**·隨著離熱源的距離愈遠·溫度掉得愈快·兩者間無明顯的差異·量測結果與導熱係數[石墨烯: 導熱率 $Wm^{-1}K^{-1}$ : 2400, 銅: 導熱率  $Wm^{-1}K^{-1}$ : 401]不符。
- 2.細探究其原因·我們發現**石墨烯鍍膜貼片**只是**鍍上一層厚度0.025mm的石墨烯粉**·一開始測試還有些效果·但經過多次高溫測試後·此**石墨烯鍍膜貼片**已經**變質焦黑無法使用**。
- 3.銅片的厚度為0.3mm·耐用性強·因此**後續的相關實驗量測數據**·**導熱介質均以銅片為主要參考**。

## 五種不同保溫隔熱材料的導熱效果量測記錄

增加保溫隔熱材料只大約增加5°C~8°C左右



保溫隔熱材料	PVC保溫膠布	冷氣冷媒管包覆材	萊卡布+發泡橡膠(潛水衣材質)	鋁箔片	聚烯烴隔熱棉
0 cm	88.3	87.9	90.4	91.2	89
20 cm	34.7	39.3	36.7	31.4	57.6
距離/溫度流失	-53.6	-48.6	-53.7	-59.8	-31.4
	溫度(°C)				

原理

- 保溫瓶**: 真空不會傳遞熱量·就相當於切斷熱溢散的途徑·外殼採用**聚乙烯(PE)**及**矽利康**來增加密合度及防止對流。
- 採取**聚烯烴隔熱棉**以上下緊密夾住銅片·讓夾層中的**空氣量減少**·**熱不會溢散**·這樣的保溫方式效果較好。
- 選用**聚烯烴隔熱棉**應用在接下來的**溫差發電實驗上**。



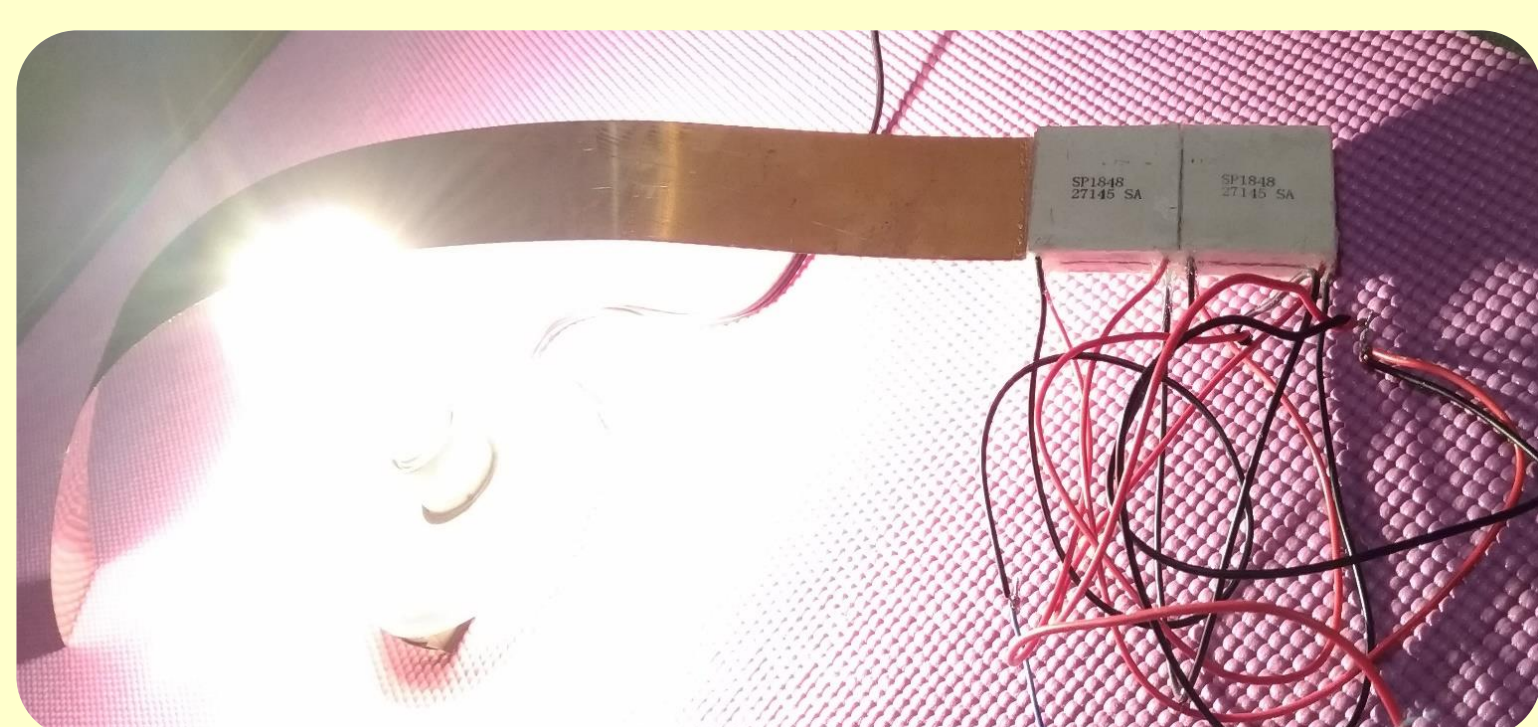
可增加約28°C左右的熱能·為五種材料中保溫效果最好的。

## 本次科展專題所提出的溫差發電晶片排列架構



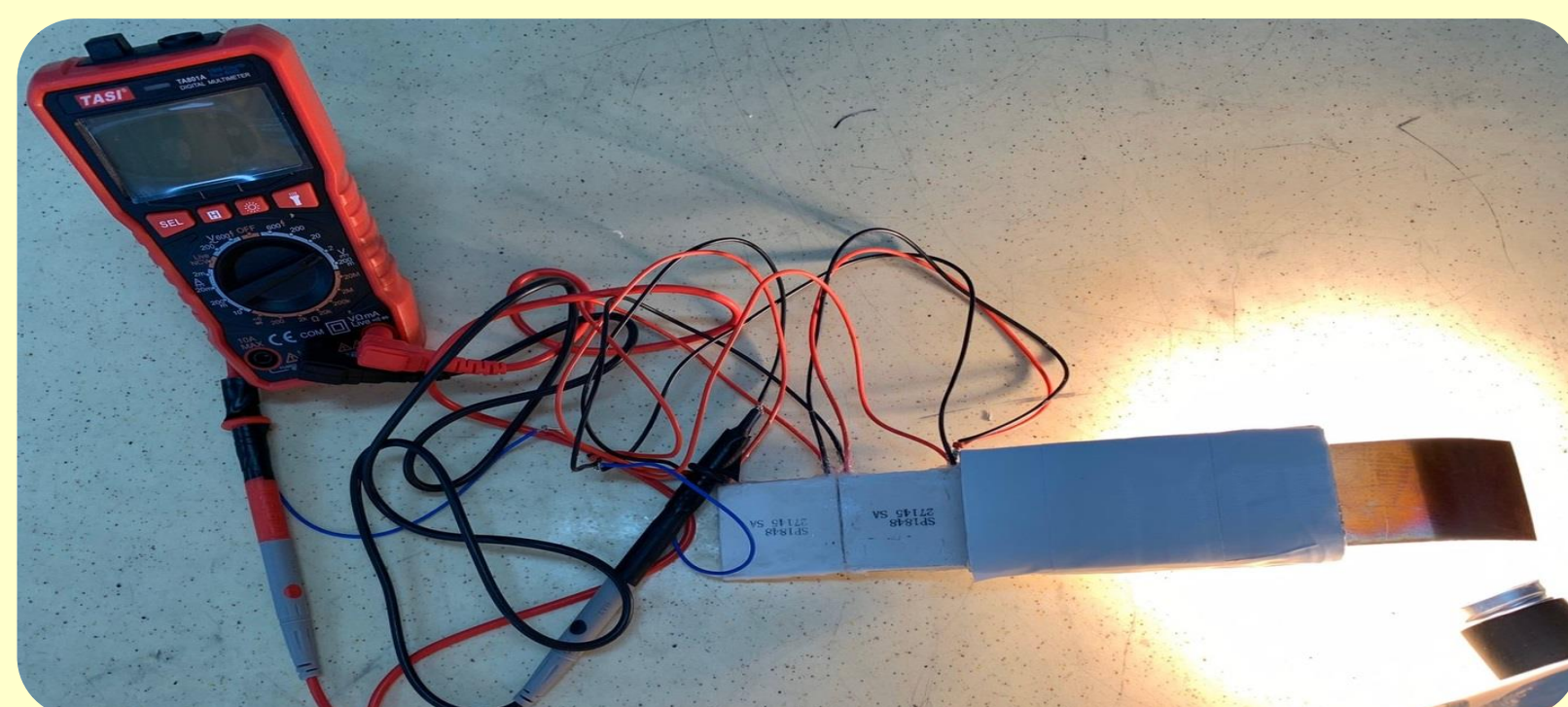
提出新的排列方式為**兩兩晶片的熱面相對**·**中間夾以銅片作為熱傳導介質**·此排列方式為**兩兩一組**·可重複依序排列無數量上的限制(本例為四顆(兩組)溫差發電晶片組)·晶片組邊緣塗上**矽利康(Silicone)**做好密合度工作·除了可以將內層銅片上的熱保存住外·也同時具有**防水**的功能。

**銅片** + **聚烯烴隔熱棉** 保溫隔熱·可以讓溫差發電晶片組**遠離熱源端**。



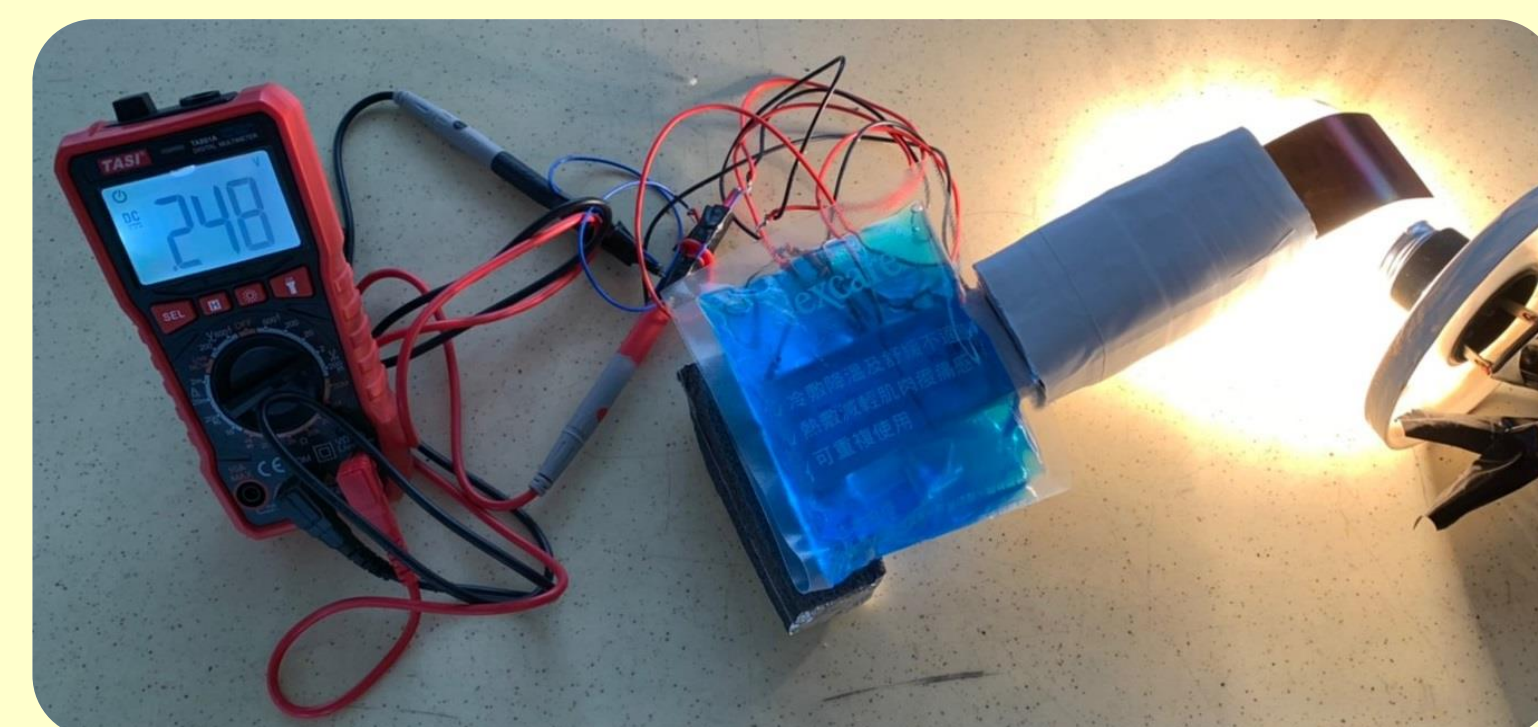
### 對照組

溫差發電晶片+銅片未包覆(裸銅)  
冷面散熱: 環境溫度



### 實驗組一

溫差發電晶片+銅片包覆**聚烯烴隔熱棉**  
冷面散熱: 環境溫度



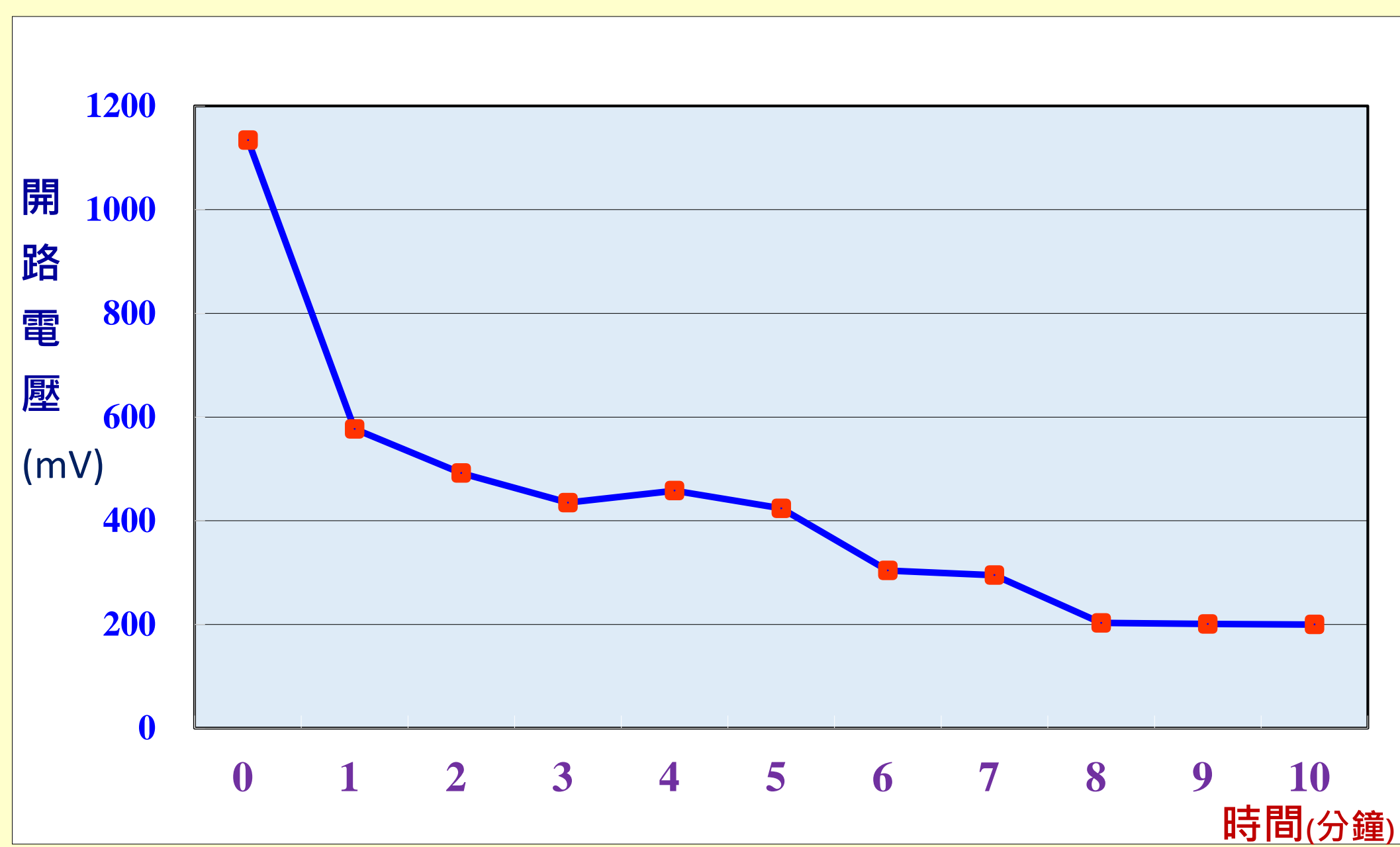
### 實驗組二

溫差發電晶片+銅片包覆**聚烯烴隔熱棉**  
冷面散熱: **保冷凝膠敷墊**

# 研究結果與討論

## 傳統溫差發電實驗: 溫差發電晶片組的開路電壓vs時間曲線

分鐘	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
開路電壓 (V)	1.13	0.58	0.492	0.435	0.458	0.424	0.304	0.295	0.203	0.201	0.2
冷熱面溫差 (°C)	-	12.5	12.2	9.4	8.5	6.9	4.6	3.4	2.1	2.1	2



- 溫差發電晶片組放在熱源正上方時，**瞬間的開路電壓值最大**。
- 隨著時間的增加，冷面的溫度也開始快速上揚，兩端的溫差大幅縮小，開路電壓也就**一路陡降**。

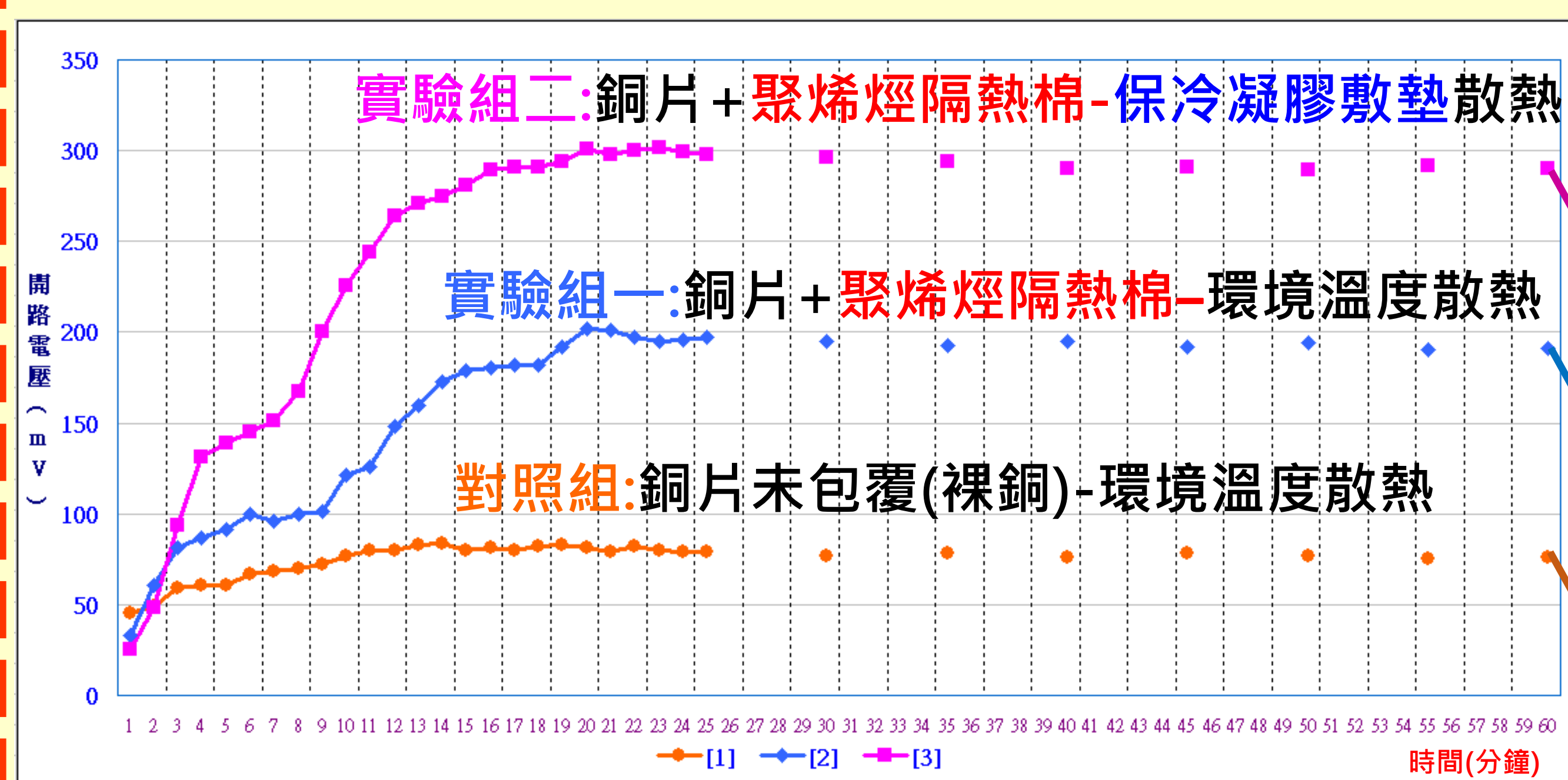
### 缺點

- 受限於熱源的面積大小，決定了溫差發電晶片組的數目
  - 必須**花費更多的心力(額外電力)**來處理降溫以維持冷熱面的溫差
- 主動式降溫需要額外的電力消耗才能達成**

## 本次實驗

前25分鐘採每分鐘記錄一次溫差發電晶片組的開路電壓值，後35分鐘則為每5分鐘記錄一次

分鐘	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	30	35	40	45	50	55	60
開路電壓	45	49	59	61	61	67	68	70	72	77	80	80	83	84	80	81	80	82	83	81	79	82	80	79	79	77	78	76	78	77	75	76
實驗組一	33	61	81	87	91	100	96	100	101	121	126	148	160	173	179	180	182	182	192	202	201	197	195	196	197	195	193	195	192	194	190	191
實驗組二	25	48	94	131	139	145	151	167	200	226	244	264	271	275	281	289	291	291	294	301	298	300	302	299	298	296	294	290	291	289	292	290



(熱源產生的溫度:約98°C)

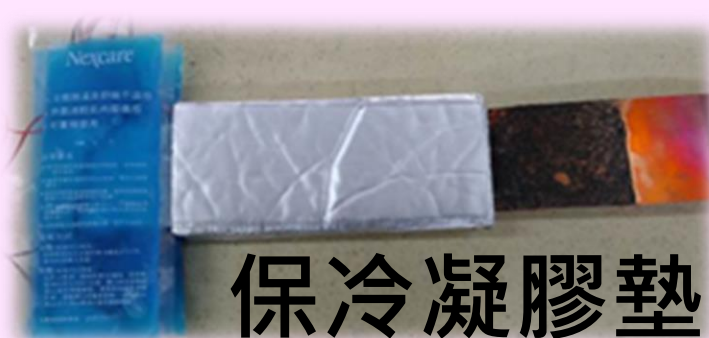
進入溫差發電晶片組:58°C  
冷面再以保冷凝膠墊敷住後  
開路電壓再提升了52%

進入溫差發電晶片組:58°C  
冷面(自然散熱)約:23°C  
開路電壓提升1.5倍

進入溫差發電晶片組:不到40°C  
冷面(自然散熱)約:23°C  
溫差:約20°C不到

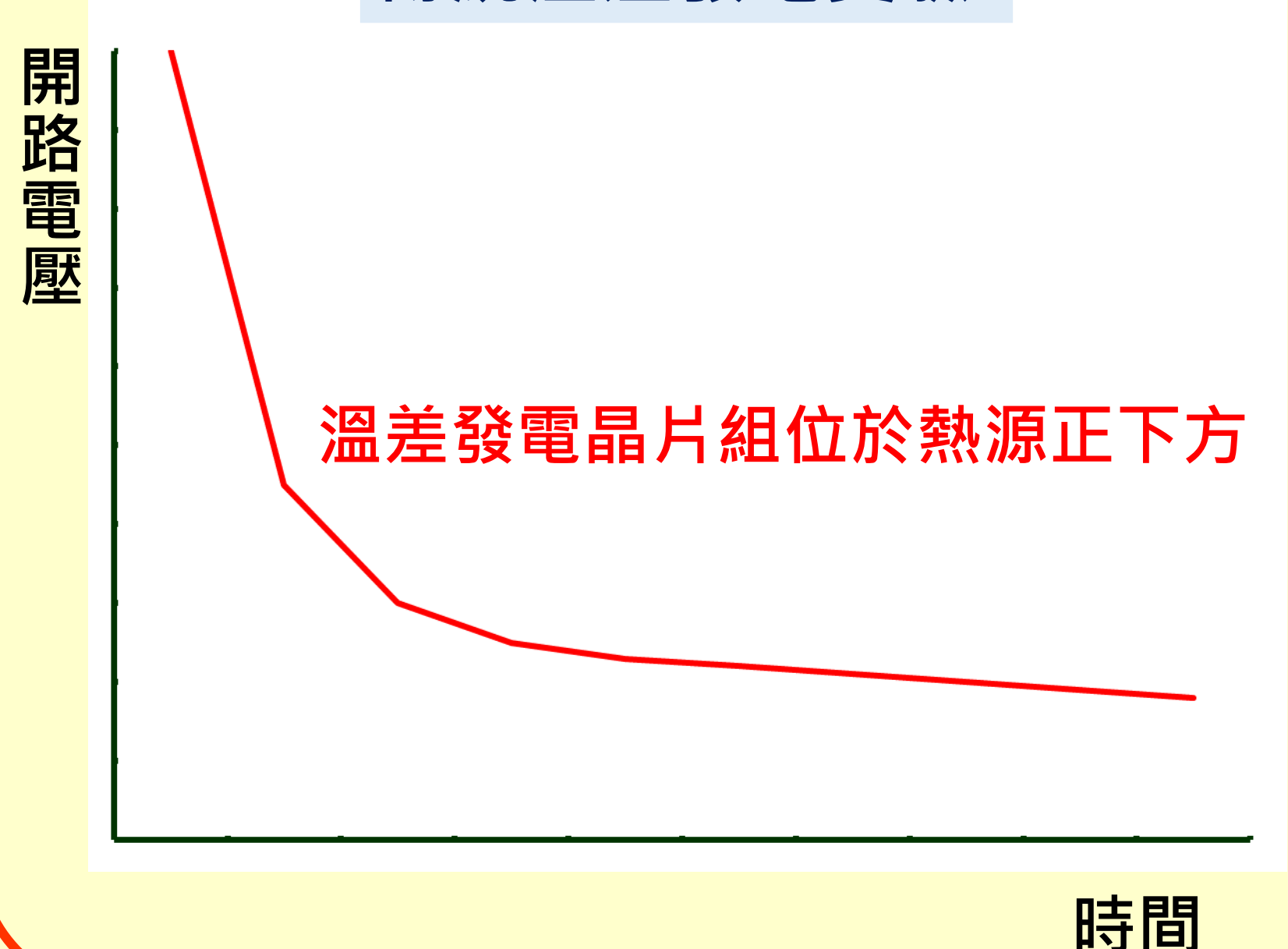
## 本次實驗結果

- 一開始量測曲線的爬升速度較慢，是因為**熱是透過導熱介質慢慢的傳給晶片組的緣故**，約十分鐘之後就快速上揚了!
- 約莫25分鐘之後，晶片組冷、熱面的溫差已達成**平衡狀態**(即溫差維持定值)。
- 採用**被動式降溫**，只需靠**環境溫度**或**保冷凝膠墊**就能達成，無須耗損額外的電力。

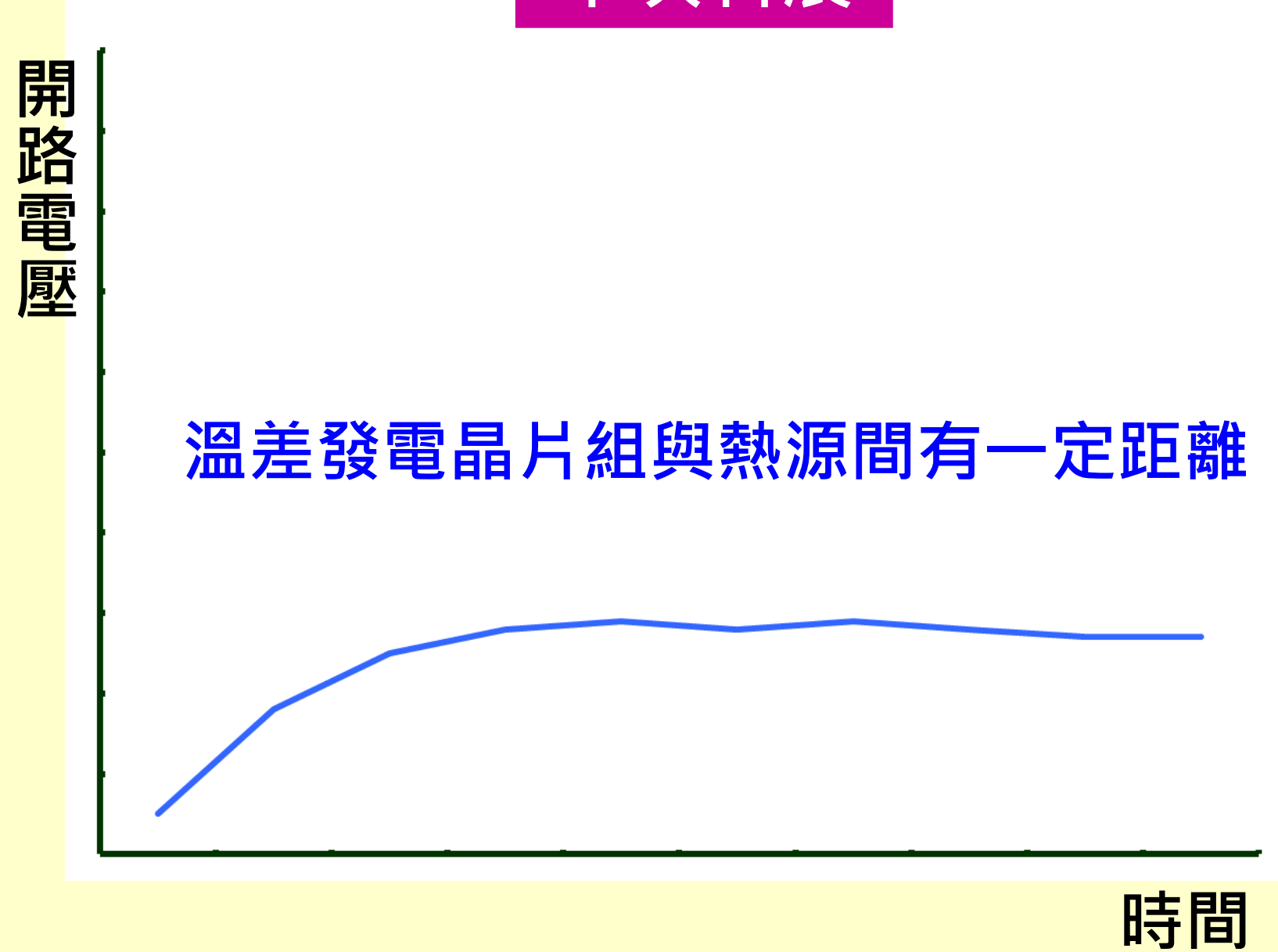


兩圖曲線的趨勢對照，可說明本科展專題與傳統溫差發電實驗的最大差異之處

### 傳統溫差發電實驗:



### 本次科展



## 真空不會傳遞熱量

保溫隔熱材料外再包上一層**PET熱收縮膜**，抑或採用類似**真空包裝機**將保溫隔熱材料抽真空。

若導熱介質與保溫隔熱材料間的空氣越少，即多數熱能都能經由導熱介質傳遞給溫差發電晶片熱面的話，有機會進一步提升溫差發電的效能。

## 結論

### 優點

- ✓ 溫差發電晶片兩兩熱面相對的架構，具有可快速擴充晶片組(**模組化設計**)的特點，並具**可撓性**、**方便攜帶**，可增加其應用範圍與實用性。
- ✓ 溫差發電晶片組熱面相對，可增加熱面間溫度的**均勻性及熱能充分利用**。
- ✓ 透過導熱介質(銅片)將廢熱傳導過來的，處理溫差發電晶片的冷面降溫相對簡單容易(**被動式降溫**)

### 待克服

熱源是透過導熱介質經一定距離後傳導至溫差發電晶片熱面，過程中如何**減少熱源溫度的耗損**仍是個艱難課題。

### 未來展望與應用

- 以**石墨烯板**取代銅片成為導熱介質的話，減少傳遞過程中熱源的流失，大幅提升溫差發電的效率。
- 登山露營夜晚睡覺之時，利用營帳內睡袋中的**體溫**與高山夜晚外頭的低溫產生的**溫差效應**，就能在夜晚替手機、LED露營燈進行充電。

