

臺北市第 44 屆中小學科學展覽會

作品說明書封面

科 別：生活與應用科學

組 別：國 小 組

作品名稱：能源的再利用—溫差發電

關 鍵 詞：能源再利用、溫差發電、晶片

編 號：



摘 要

地球出現了暖化的現象，導致氣候異常而且難以預測，所以加速人類對環境的重視，節能減碳變成每個國家刻不容緩的課題，因而再生能源的利用更需被推廣-社區及家庭，便是最基本的執行單位，目前世界上的風力發電及太陽能發電的技術是比較成熟的，而溫差發電相關的技術就少了很多，現在大多還在發展階段。

本研究是有效利用目前社區及高樓大廈這些家庭的瓦斯熱水器之廢氣排放，及/或屋頂太陽熱能熱水器的再利用，以溫差晶片之發電方式來產生可利用的電力，雖然目前發電晶片之種類及效能不是很好，但若此能源再利用的發電方式是可行的，日後技術的精進就可以讓溫差發電在地球中發揚光大。

壹、研究動機

在四年級時，「食物與能源」的單元中，有提到因為地球的能源有限，所以要儘量將能源再生利用。五年級的「太陽」單元，有教到太陽能電池在生活中的應用，知道可以將光能轉化為電能。表示在日常生活中，有許多不同的能量是可以互相轉移的。讓我們想到在家庭生活中，也有許多熱能的無謂流失，造成能源的浪費。是否可以利用熱電轉換技術，進一步將大量廢熱回收轉為電能的方式，增加能源的利用率。

在我們尋找資料的過程中，找到目前學術界已經有很多的「溫差發電」研究相關報告發表，像炸雞廢熱發電、引擎廢熱回收發電、汽車餘熱發電等，然而如何有效的再利用家庭能源就較少了。本次研究主要在於：探討並有效利用一般家庭中瓦斯熱水器的廢氣熱能，以及如何搭配利用水冷卻系統來做溫差發電的可能性。希望未來更可以與太陽能發電結合，以達更有效的發電效益。利用大自然及現有環境，可取得的能源來做所謂的「環保發電」、「能源再利用」。

貳、研究目的

- 一、以 Seebeck 效應(熱生電現象，溫差發電晶片的基礎)，來探討不同導體材料的組合，因熱所產生的電流與電壓的反應和比較，於此以銅線、鋁線、鍍鋅鐵線、及白鐵線來做初步探討，再接續以溫差發電晶片來做實際的應用與觀察結果。
- 二、以 Peltier 效應(電製冷現象，致冷晶片的基礎)所製造的致冷晶片，此原理本為將晶片通電之後產生一面冷而另一面熱的現象(吸熱或放熱現象)，可做為散熱器、行動冷藏箱、冷卻器或小冰箱等。

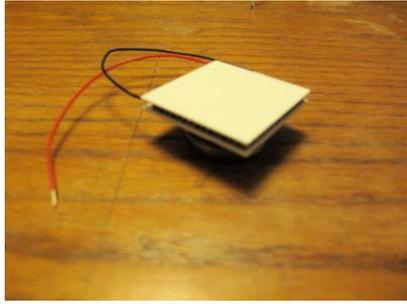
但其實 Peltier 效應與 Seebeck 效應皆為同一種物理現象，只是各從不同的角度來解釋罷了！Peltier 效應是以電流來產生溫差(是為致冷晶片的作用)，Seebeck 效應是以溫差來產生電流(是為發電晶片的作用)，本研究將混合使用此二種晶片在發熱體上，利用其兩面之溫度差來產生電流與電壓，而此發熱體即是利用現有的溫控瓦斯熱水器的廢熱排放氣源，由此來探討廢熱產生可利用的輔助電力資源的可行性。

三、利用目前市面上發電晶片，以家裡的熱水器作為溫差發電的基礎，看是否可以使用家庭的溫差發電，得到可利用的回收能源。瞭解串聯多片晶片，可以產生的電能是否有差異性。研究加上自製的水冷卻系統，增加溫差效應，是否能夠有效提升溫差發電的成功率。

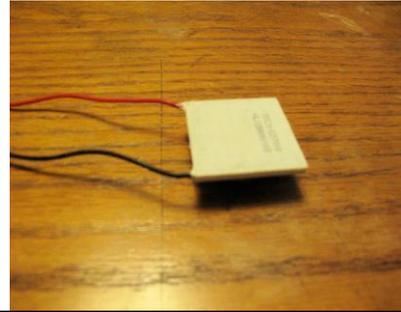
四、未來展望：目前市面上已經有利用太陽光能來發電，也有利用太陽熱能來做為太陽能熱水器，但若再有效利用太陽熱能來配合溫差發電，可以對能量更有效的利用，使它成為另一項環保發電的能量來源。

參、研究設備及器材

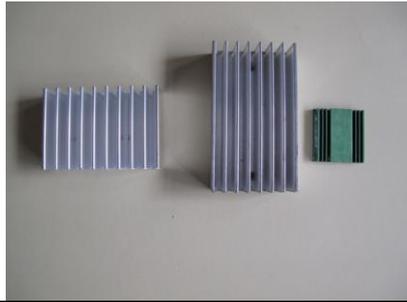
- 一、銅線、鋁線、鍍鋅鐵線、及白鐵線。
- 二、酒精燈。
- 三、木板片、固定夾。
- 四、三用電表或電壓/電流記錄器。
- 五、溫度量測儀器或溫度記錄器。
- 六、廢熱氣導熱排放管。(須特製詳相片)
- 七、致冷晶片：TEC1-127.09；電流 9Amax、電壓 15DCVmax、溫差 68°C max
- 八、發電晶片：TGM-127-1.4-2.5
- 九、連接電線
- 十、散熱歧片、固定器具 (裝於致冷/發電晶片上散熱用)
- 十一、強制排氣瓦斯熱水器
- 十二、照相機
- 十三、電腦 (計錄器之資料儲存)
- 十四、導熱膏 (增加熱傳導)
- 十五、冷卻風扇 (加強散熱歧片之降溫)
- 十六、蓄電池
- 十七、電源供應器 (做為與蓄電池充電用，目前尚未找到此小電壓之組合)
- 十八、薄白鐵板
- 十九、水管 (水冷卻系統裝置)



發電晶片



致冷晶片



散熱歧片



冷卻風扇



溫度量測儀器、電壓記錄器



兩點溫度量測器



蓄電池



三用電表



導熱膏與導熱貼紙

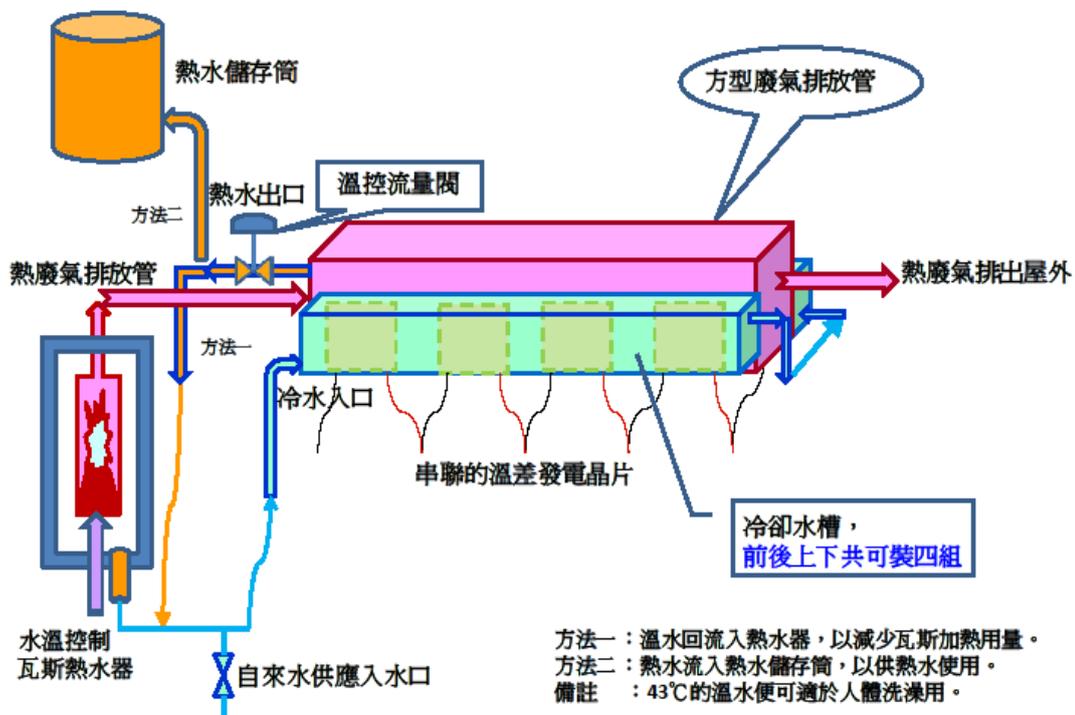


廢熱氣導熱排放管

肆、研究過程或方法

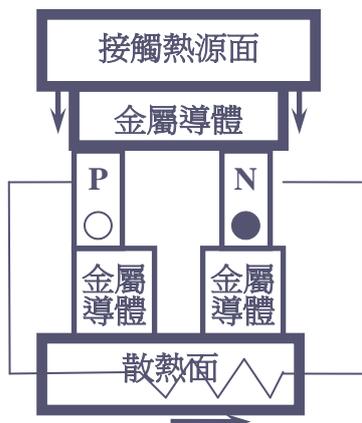
- 【實驗一】、先利用 Seebeck 效應(熱生電現象)，以銅線、鋁線、鍍鋅鐵線、及白鐵線來做實驗，來探討不同導體材料的組成因熱所產生的電流與電壓的反應與比較。
- 【實驗二】、再以 Peltier 效應(電製冷現象)所製造的致冷晶片或發電晶片，使用在發熱體上(如溫控瓦斯熱水器等)，利用晶片兩面溫度差所產生的電流與電壓，來探討此產生可利用的輔助電力資源的效能有多大。
- 【實驗三】、之後再經過我們小組組員的討論結果，認為以下述的方式不但可用於廢熱的發熱體上，也可推及用於太陽能熱水器兼發電的用途，因此決定改良我們的作品，改良方式如下：
1. 利用水冷的方式來增加溫差，並減少額外電力的消耗(如冷卻風扇)。
 2. 串聯更多的發電晶片，來增加發電電壓，以便儲存所得的電力。
 3. 可利用此冷卻後的水，來做為溫或熱水的使用，請詳下述之示意圖：

水冷卻溫差發電示意圖
(可比照用於太陽能熱水器兼溫差發電)

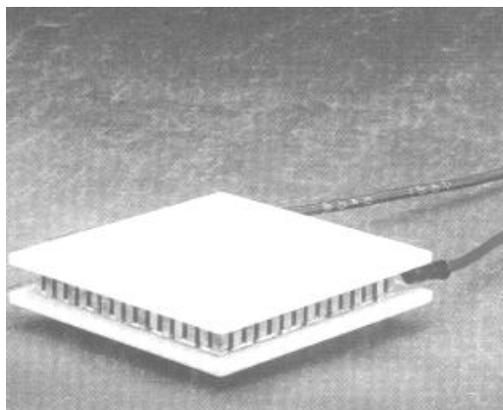


將上述研究過程及方法再詳述如下：

【實驗一】以 Seebeck 效應(熱生電現象)，來探討不同導體材料的組成，因熱所產生的電流與電壓是否有差異性？我們以市面上可以取得的銅線、鋁線、鍍鋅鐵線、及白鐵線來做實驗。

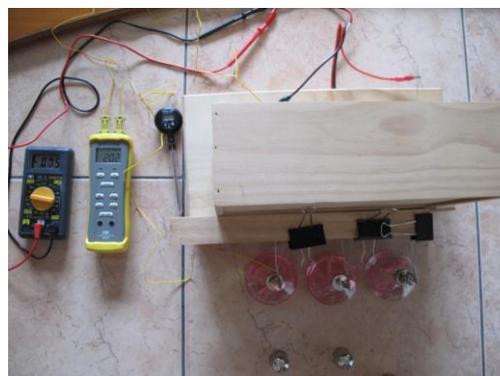


半導體發電晶片(原理圖示)



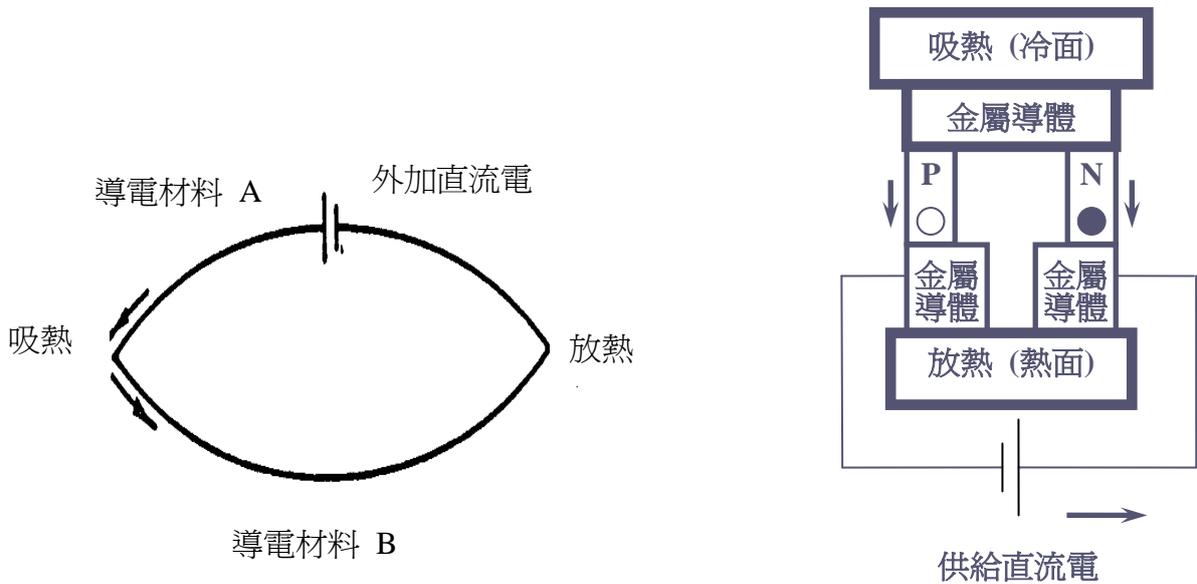
半導體發電晶片(實體圖示)

1. 分別選用銅線+鍍鋅鐵線、銅線+白鐵線、銅線+鋁線、鍍鋅鐵線+白鐵線、鍍鋅鐵線+鋁線、及白鐵線+鋁線等，將每兩種材料之兩端連接一起，並以 3 組串聯成一個迴路（例：銅線+鍍鋅鐵線+銅線+鍍鋅鐵線+銅線+鍍鋅鐵線）。
2. 前後兩端接到三用電表或電壓/電流記錄器，以記錄產生之電壓或電流。
3. 將此組線路固定在木板上，於每兩種材料連接的一端以酒精燈來加熱。
4. 將每兩種材料所產生之電壓或電流記錄下來，並相互比較之間的差異。
5. 其結果可以當做熱電材料(可將熱能與電能交互轉換的材料)之開發與應用，以提昇更佳的效率，目前市面上所使用之致冷晶片或發電晶片，是以半導體為主，致冷晶片之四周有以防水膠密封，以防冷凝水侵入，發電晶片則無密封，有些微之溫差便可發電。



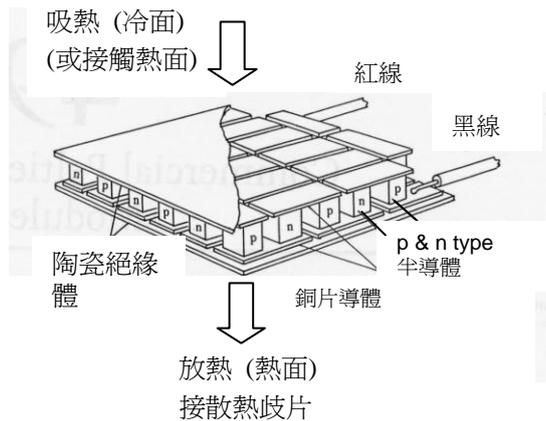
不同的導電材料及將兩種材料連接 實驗一的實驗裝置配置圖

【實驗二】以 Peltier 效應(電製冷現象)所產製的致冷晶片或發電晶片的研究過程及方法：



Peltier 效應原理

半導體致冷晶片 (原理圖示)



半導體致冷/發電晶片 (構造圖示)

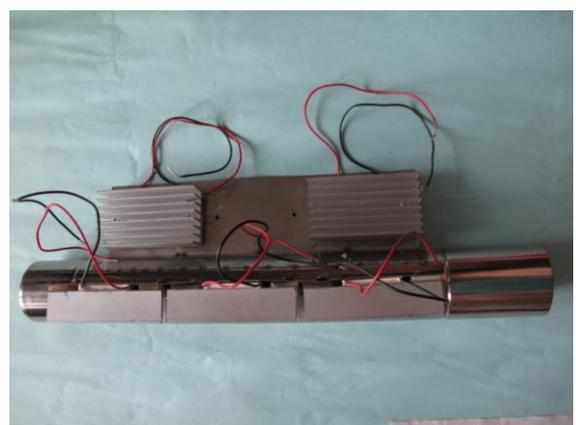
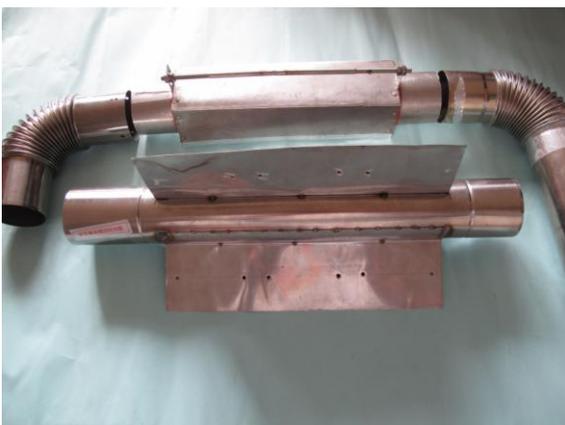
利用強制排氣瓦斯熱水器所排出的廢熱氣，配以致冷晶片及發電晶片及散熱歧片藉由溫度差獲得電力：

1. 將強制排氣瓦斯熱水器上的排放軟管改為白鐵硬管，如下圖示 1。
2. 廢氣排放管中間之圓管段亦要改成四方管或加上導熱片，如下圖示 2。
3. 將廢氣方型排放管或導熱片上及散熱歧片上塗抹導熱膏，以增加熱傳導如下圖示 3。
4. 分別將將數片致冷晶片及發電晶片與散熱歧片(散熱效果愈佳愈好)，一齊固定在廢氣方型排放管或導熱片上，再組裝於瓦斯熱水器的排氣管上如下圖示 4。
5. 如此只要使用瓦斯熱水器，發電晶片就會因其兩面不同的溫差而產生電力，而由此產生的是直流電壓或電流。

6. 可於散熱歧片上再加上冷卻風扇(須額外電力較不理想，目前國內有一廠商已研發成功高效率之散熱片，可不需借助風扇散熱，但只為外銷用)，如此可讓發電晶片兩面的溫差變大，提高發電效率。
7. 可將數片致冷晶片及發電晶片的正負極串聯方式串接，如此可獲得愈高的直流電壓，而若將正負極併接則可得愈高的直流電流。
8. 將溫度記錄器第一點置於廢氣方型排放管之最前出口端上，第二點置於廢氣排放管之最外出口端上，第三點置於散熱歧片上，以記錄其間之關係。
9. 另將電壓/電流記錄器連接於致冷晶片及發電晶片晶片的正負極上，以記錄其與溫度間之變化關係。
10. 最後可將此電力配合電源供應器組導入直流蓄電池內暫時儲存，再經由換流器轉為交流電，可供家庭使用。(因所導出之電壓是變動的，需尋找或研製合適之電源供應器組，目前仍未實際執行)



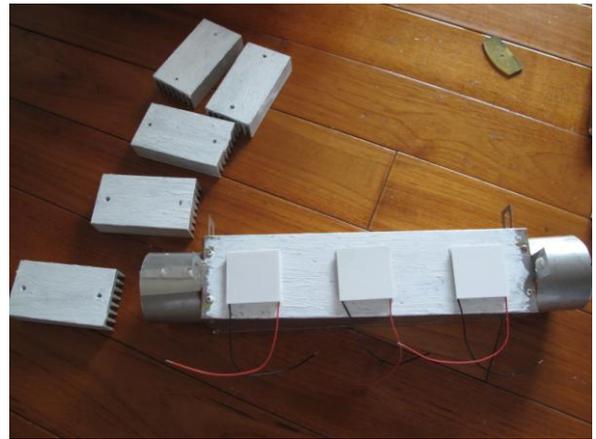
瓦斯排廢氣放軟管改成右圖之白鐵硬管 (圖 1) 目前市面上之排放管大部份如上圖示



中間圓管段改成四方管或加上導熱片 (圖 2) 加上致冷或發電晶片及散熱歧片之組裝



於散熱歧片及廢氣排放管上塗上導熱膏



(圖 3) 塗上導熱膏後再將發電晶片置於其間



廢氣排放管上加導熱片，試驗效果不理想 (圖 4)



方型廢氣排放管之效果較佳

【實驗三】以強制排氣溫控瓦斯熱水器所排出的廢熱氣，配以致冷/發電晶片及冷卻水槽之較佳冷卻效果，得到較高之溫度差，以獲得較大之電力：

1. 其他做法皆同上述(一)項之說明，只是將用散熱歧片來散熱改為用 2~4 組之冷卻水槽來散熱，冷卻後的水還可做為溫或熱水的使用。
2. 一開始我們先將水管與冷卻水槽接合(本次實驗只先用 2 組)，並於所有與晶片組合之金屬面上塗上導熱膏，之後將冷卻水槽、發電晶片及致冷晶片發電/致冷晶片、及方型廢氣排放管以 3 組固定架平均固定在一起，如下圖示 1 所示。
3. 於溫控瓦斯熱水器啓動前須先將冷卻水槽注入水，以後便可設定冷卻水與瓦斯熱水器同時開啓，致於冷卻水流量可依發電或溫/熱水回收功能來做調整。整體組立後如下圖示 2 所示。
4. 如此方型廢氣排放管之熱傳到晶片，再藉由冷卻水槽的導熱，晶片上的熱便由冷卻水帶走，晶片上的溫差而產生電流/電壓，熱能轉移到冷卻水後，變成溫/熱水，此溫/熱水可回流入溫控瓦斯熱水器使用，可減少瓦斯使用量，或可收集到熱水筒內以供熱水使用，真是一舉兩得啊！可參考前述所附的水冷卻溫差發電示意圖。

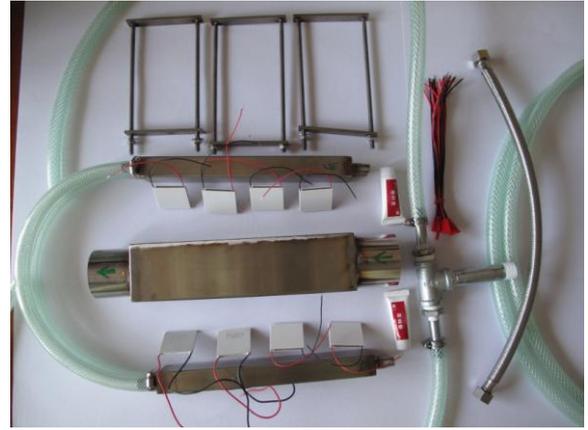
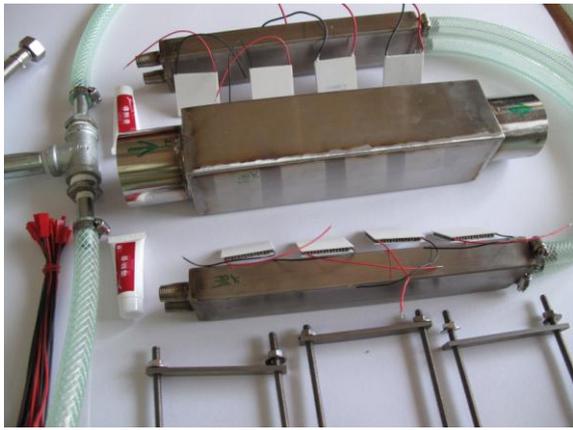


圖 1 : 2 組冷卻水槽、8 片發電/致冷晶片、方型廢氣排放管、3 組固定架、及軟水管

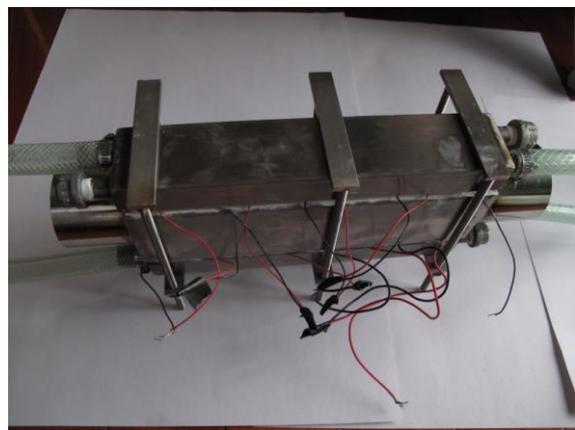
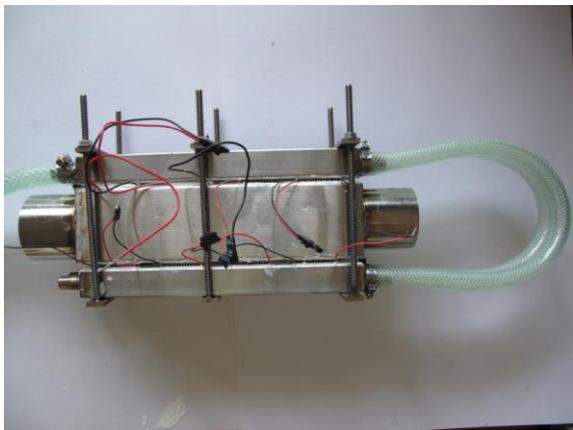


圖 1 : 組立後之情況



圖 2 : 整體組立之圖示

伍、研究結果

【實驗一】以不同材料探討 Seebeck 效應 (熱生電現象) 的研究結果：

1. **銅線+鋁線**：電壓一開始會到 0.03DCV，但持續加溫後反而急降至 0.003DCV 左右，之後便全處於極低之 DCV 甚至為 0，原因是銅線上之保護膜的關係，磨去保護膜重測後為電壓亦大約只到 0.003DCV。
2. **鍍鋅鐵線+鋁線**：電壓最高只到 0.005DCV。
3. **白鐵線+鋁線**：電壓大約只到 0.005DCV。
4. **銅線+白鐵線**：(以燒過之銅線再使用)結果測不到 DCV，原因是銅線上之保護膜的關係，磨去保護膜重測後為電壓亦大約只到 0.005DCV。
5. **銅線+鍍鋅鐵線**：電壓亦大約只到 0.003DCV。
6. **(鍍鋅鐵線+鋁線) + (白鐵線+鋁線)**：電壓可達到 0.052DCV。

※各種組合的熱生電結果並不理想，所測得電壓皆太低，但確實有電壓/電流的產生，因而熱電材料目前仍以半導體的效果最佳。

【實驗二】利用強制排氣溫控瓦斯熱水器所排出的廢熱氣，配以四片致冷及四片發電晶片及以散熱歧片散熱，藉由溫度差獲得電力的研究結果：

方式一：以廢熱氣排放管配合**導熱片**將熱傳遞至發電晶片來獲得電力。

實驗結果：因導熱片與廢氣排放管並非一體成型，所以傳熱效果並不佳，暫時放棄。

方式二：以**方型**廢熱氣排放管將熱傳遞至發電晶片，再由**散熱歧片**散熱來獲得電力：

實驗結果：

1. 請參閱**附件一**，散熱歧片系列的量測附表及曲線圖等的相互關係。
2. 溫差大約 33°C，單一發電晶片之電壓可達到 0.748DCV；串聯二片發電晶片之電壓可達到 1.427DCV；串聯三片發電晶片之電壓可達到 1.94DCV；串聯四片(此片為致冷晶片，效率差些)之電壓可達到 2.28DCV。
3. 再串聯四片發電晶片及四片致冷晶片的電壓可達到 4.694DCV。
4. 由量測曲線得知，當溫度才一開始加溫時(啓用瓦斯熱水器)，電壓便急速上升到最高，但之後便慢慢下降，即使溫度仍在上升，原因之一為溫度記錄器反應較慢，原因之二為散熱歧片的溫度上升，但溫度並未被帶走因而溫差變小(未裝風扇)，但經以噴水於散熱歧片上，產生之電壓有明顯提高。

5. 又當停止使用熱水器，溫度開始下降，則電壓亦急速下降，若其間再使用熱水器而溫度上升，但產生的電壓就沒有剛開始的高，原因也是溫差變小的關係。
6. 因為發電晶片與四方管及散熱歧片之固定不是很理想，且量測及記錄儀器將再加強，以得更準確之數據，或許在改善後將可獲得更準確的量測數據。
7. 待量測記錄儀器取得後將再統計電功率的情況。

【實驗三】利用強制排氣溫控瓦斯熱水器所排出的廢熱氣，配以二片致冷/發六片電晶片及冷卻水槽散熱，藉由溫度差獲得電力的研究結果：

1. 請參閱附件二，冷卻水槽系列的量測附表及曲線圖等的相互關係。
2. 串聯六片發電晶片及二片致冷晶片，並配合溫控瓦斯熱水器的溫度調整(43°C~48°C)，在使用小冷卻水量時，電壓可達到 8 DCV 左右，若調大冷卻水量時或增加發電晶片的數量，產出之電壓將會再更高。
3. 在使用小冷卻水量時，水溫可提高約 8°C(量測記錄儀器需再加強)。
4. 發電晶片的熱傳導(從一面傳到另一面)是快速的，兩面溫度幾乎略同，因此只要保持高溫差，便可產生高電壓。
5. 溫控熱水器、電壓、與冷卻水間之關係比較表，如下圖所示。
6. 待量測記錄儀器取得後將再統計電功率的情況。

溫控熱水器、電壓、與冷卻水間之關係表

使用條件		產出直流電壓	冷卻水出口溫度	備註
溫控熱水器之調節溫度	43°C	溫度愈高產出電壓愈大，亦會配合冷卻水量而變化。	溫度愈高冷卻水出口溫度愈高，但亦視冷卻水使用量而定。	溫度愈高瓦斯燃燒大且持續，故產出之廢熱氣溫度愈高。
	44°C			
	45°C			
	46°C			
	47°C			
	48°C			
溫控熱水器使用水量	小	小	低	使用水量愈小瓦斯燃燒少，產出之廢熱氣溫度較低。
	大	大	高	
冷卻水進水量	小	小	高	冷卻水進水少，則冷卻水溫度高，相對的晶片溫差變小，產出電壓小。
	大	大	低	

陸、討 論

一、將兩種不同的材料相連並加熱，所產生的熱電效應相同嗎？

答：根據【實驗一】結果以銅線、鋁線、鍍鋅鐵線、及白鐵線四種不同材料兩兩相接加熱測試大部分都能產生電壓效應符合 Seebeck 熱生電效應原理，但因為各種金屬材料的屬性及導熱效果不同，所以產生的電壓也不相同。而本次實驗所得到的電力都十分微弱，不足以使用，可能是因為加熱溫差不夠或是導體材料的熱電效能不佳(即熱電優質 Z T 過小)，故目前仍以市面上的以 P & N 型半導體之熱電材料為最佳的熱發電組合，但效能仍有待再提升

二、以一般家庭的瓦斯熱水器所產生的廢熱氣進行溫差發電可行嗎？

答：根據【實驗二】結果是可以的，但是其發電效能不佳，且需注意以下幾點：

1. 應使用**強制排氣**的瓦斯熱水器，因為熱水器所排放的廢熱氣較易聚集，熱度也會較高。
2. 需將原來的廢熱氣排放軟管改為**白鐵硬管**，以加強排放管的堅固度，才能附著支撐其他器具。
3. 需將廢熱氣排放管的四周完全密封，以減少廢熱氣的熱量自然散失，才能獲得較明顯的熱電效能。

三、如何改善並增加一般瓦斯熱水器的廢熱氣溫差發電的效能？

答：只要在原型（實驗二）的散熱歧片安裝位置安裝上固定器（實驗三），並導入冷水至水管內以吸收廢熱氣的溫度，以得到的更大的溫差（水冷式），那就可以做出比散熱歧片（氣冷式）更有用的冷卻效果（水冷式），而我們已經在研究結果中驗證：氣冷式對水冷式來說根本就微不足道！！！！

四、以目前市面上的熱電材料設備，應用在一般家庭的熱水器上，進行溫差發電符合經濟效益嗎？

答：以目前市面上的發電晶片、散熱歧片等**熱電材料**，每片動輒一兩千元，且需數片串連使用，而產生的電壓也不過只有數伏特而已，故現今以家庭熱水器的廢熱氣進行溫差發電的經濟效益顯然並不划算，所以目前並無一般家庭實際使用的情形。

五、能源再利用-溫差發電如何有效的推廣應用？

答：依據本次實驗的結果，以家庭熱水器的廢熱氣進行**溫差發電**，目前似乎仍無法有效的應用，畢竟一般家庭熱水器所排放的廢熱氣量較小，溫度也不高，加上目前熱電材料的效能還是太低;但若是應用在排放廢熱氣量較大、溫度較高的**工廠**，或是對於廢熱氣有統整規劃設計的整個**社區**，或許以廢熱氣來進行**溫差發電**是可行的。另目前市面上已有利用太陽光能來發電，也有利用太陽熱能來做為太陽能熱水器，但若能再有效利用太陽熱能來配合**溫差發電**，相信其發電的效能會是更顯著的。

六、還有那些地方可利用到溫差發電，有多少利用價值？

答：目前排放廢熱氣的來源及廢熱回收系統皆很多，如汽/機車及工廠皆有，更可利用用之不歇的太陽的熱能，因此目前最重要的是如何提高發電晶片的效能或熱電與散熱材料之研發，如此對以後用於家庭或工業上的溫差發電，將會有很大的影響，應可成立研究小組，加以探討、改進、並加以推廣執行。

柒、結 論

- 一、使用不同的金屬來進行 Seebeck 效應(熱生電現象)的測試，因為各種金屬的熱傳導係數不同，所以會有高低溫的溫差現象，因而產生了電流與電壓，故利用溫差現象是可以用來發電的，但是以此種方式所產生的電壓非常的小，所以需以多組串聯的方式才能有較顯著的電壓產生。另外現今熱電材料的效能仍是過低不足，若能研發出更有效能的熱電晶片，相信此種溫差發電的環保電能是相當值得推廣利用的。
- 二、在家中也能自己用熱水器進行溫差發電，但是一定要有足夠的熱源及良好的冷卻系統，才可以讓發出來的電力達到最高點；而以目前的熱電材料及技術層面，所能產生的電能仍是不足太小，且因熱電材料成本過高，不符合經濟效益，所以目前在一般家庭中尚無法實際的進行使用。
- 三、在現有的熱電材料下，若能確實做到以下幾點，相信會得到更大的電能；
(1) 發電晶片串聯越多效果越好，所產生的電能也越多。(2) 熱原面需確實密封，以減少熱量自然的散失，才能有較大的溫差，產生較高的電能。(3) 導入冷水來降溫，以獲得更大的溫差，所產生的電能自然會增加，而之後的熱水更可以儲存再使用，一舉兩得。
- 四、每一個家庭都有瓦斯熱水器，應該要好好利用此廢熱氣來發電，目前中山科學研究院剛剛發表經由發電晶片的熱電轉換科技，可將炸雞排的廢油高溫，轉化供攤車使用於電風扇、照明設備等電力，因此可知利用家庭瓦斯熱水器來發電亦是可行的，只要能將排氣管、四方管、發電晶片、散熱歧片及輔助散熱風扇(可用先進的散熱片取代)間的組合做為改善，效能必能再提昇，若能再與太陽熱能熱水器搭配發電晶片的溫差來發電，所獲得的效益更大，希望得以推廣。
- 五、目前研究溫差發電的人員愈來愈多，但要有具體的研究成果，得需有企業界與學術業間相互的配合研究，譬如溫差發電可配合實際商品的需求，做成一體成型的形狀，並提昇熱電晶片的效能，改善散熱效果，以達到更大的溫差效果，相對的致冷效率就會提昇，有助於冷卻器、冰箱等的應用，此溫差發電的應用未來應有很大發展的空間。

捌、參考資料及其他

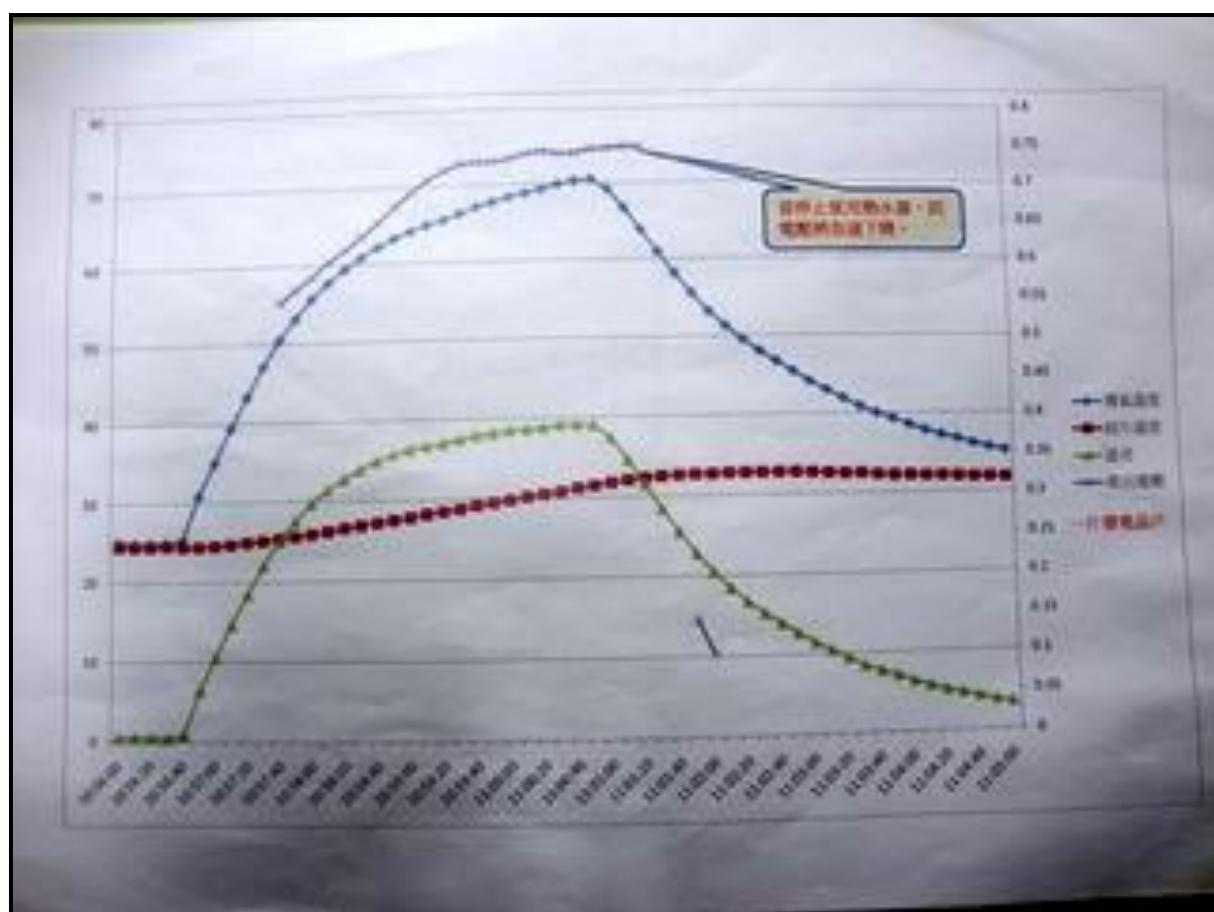
- 一、伽利略工房的科學實驗(全集)
- 二、天地能源暨溫控器材行 (<http://www.tande.com.tw/>)。
- 三、http://www.comd.stu.edu.tw/project/UploadFiles/D_016.pdf (樹德科技大學電腦與通訊 畢業專題)
- 四、<http://bmeweb.niu.edu.tw/pcwu/BUO/BUO-VI-C.ppt#256,1,Michael Faraday> 固體吸收式冷凍
- 五、<http://www.tsint.edu.tw/academics/fuelcell/doc/11.pdf>(10W 熱電發電移動式電源之研製)
- 六、<http://www.phys.sinica.edu.tw/~lowtemp/research.htm> 奈米材料與低溫物理實驗室
- 七、成大能源研究中心 http://solar.rsh.ncku.edu.tw/t01_structure.php

- 八、附件圖表：
 - (一) 以散熱歧片方式發電之圖表。(實驗二)
 - (二). 以冷卻水方式發電之圖表。(實驗三)

※ 附件資料 ※

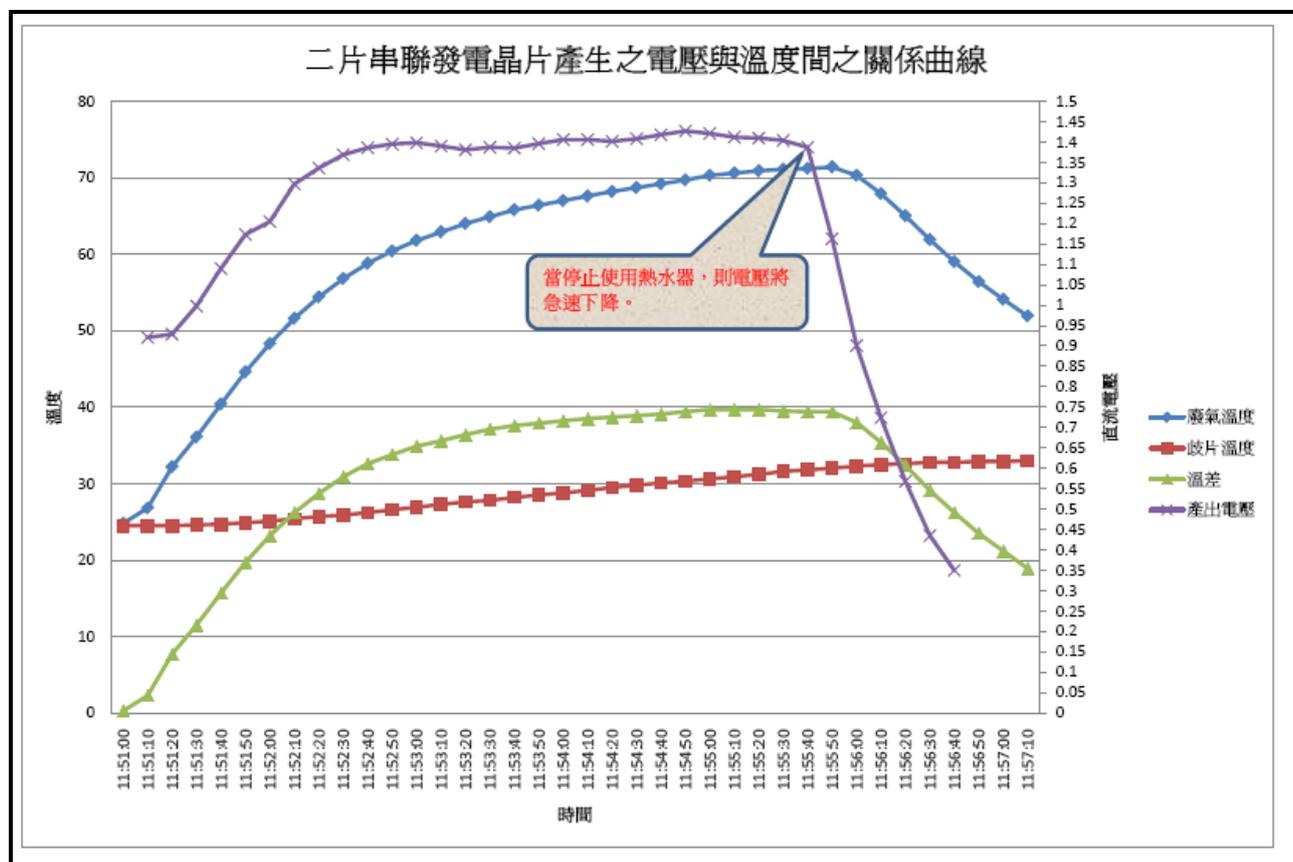
【實驗二：一片發電晶片串聯】

時間	廢氣溫度	歧片溫度	溫差	產出電壓	時間	廢氣溫度	歧片溫度	溫差	產出電壓
10:56:00	25.0	24.5	0.5		11:01:00	69.2	31.8	37.4	0.746
10:56:20	24.9	24.4	0.5		11:01:10	66.7	32.1	34.6	0.748
10:56:40	25.2	24.4	0.8		11:01:20	63.8	32.3	31.5	0.747
10:57:00	35.0	24.5	10.5		11:01:40	58.1	32.6	25.5	
10:57:20	43.3	24.9	18.4		11:02:00	53.1	32.7	20.4	0.103
10:57:40	50.4	25.4	25.0	0.551	11:02:20	49.5	32.8	16.7	
10:58:00	55.6	25.9	29.7	0.584	11:02:40	46.7	32.8	13.9	
10:58:20	59.3	26.6	32.7	0.618	11:03:00	44.1	32.7	11.4	
10:58:40	62.1	27.2	34.9	0.653	11:03:20	41.9	32.5	9.4	
10:59:00	64.9	27.8	36.3	0.691	11:03:40	40.0	32.3	7.7	
10:59:20	65.5	28.5	37.0	0.719	11:04:00	38.5	32.2	6.3	
10:59:40	67.1	29.2	37.9	0.730	11:04:20	37.2	32.1	5.1	
11:00:00	68.3	29.8	38.5	0.733	11:04:40	36.1	31.9	4.2	
11:00:20	69.3	30.5	38.8	0.743	11:05:00	35.2	31.8	3.4	
11:00:40	70.3	31.2	39.1	0.740					



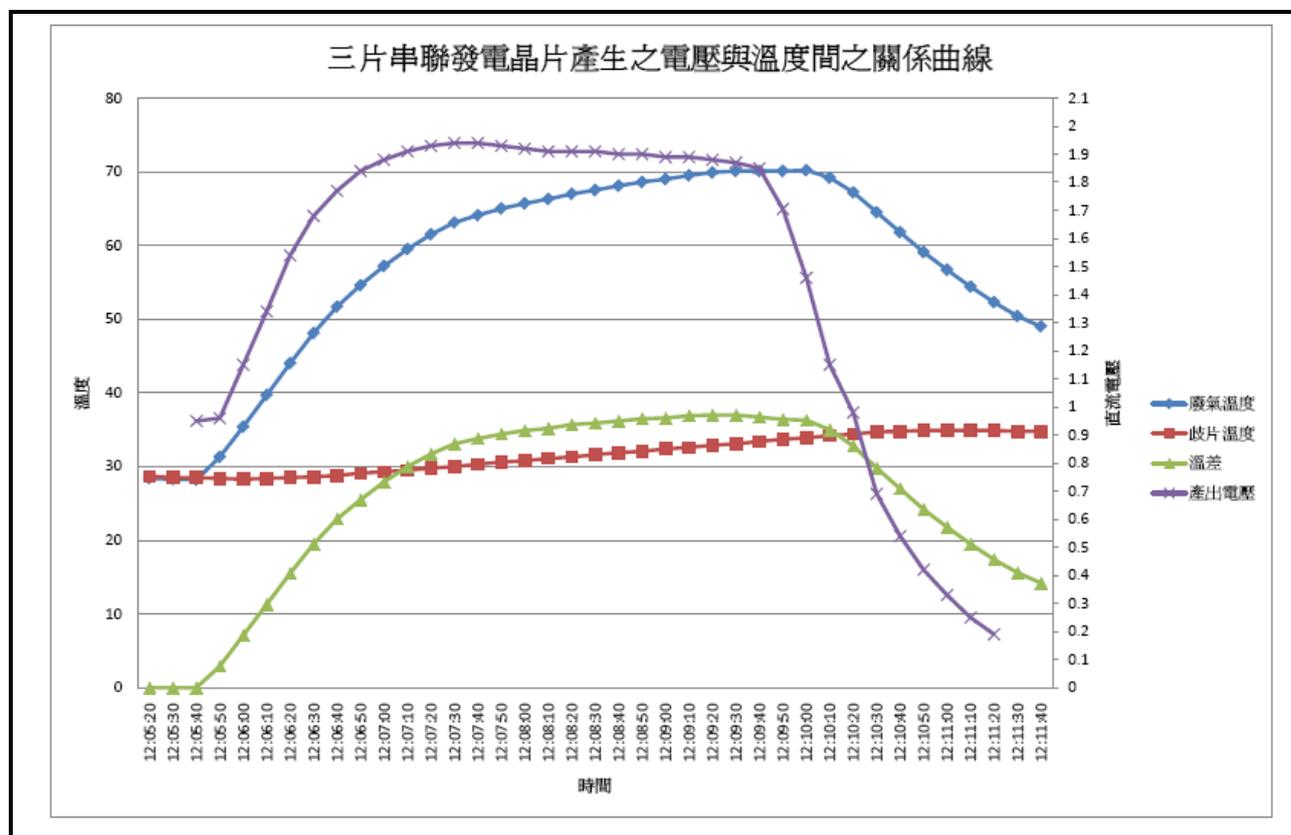
【實驗二：二片發電晶片串聯】

時間	廢氣溫度	歧片溫度	溫差	產出電壓	時間	廢氣溫度	歧片溫度	溫差	產出電壓
11:51:00	24.8	24.5	0.3		11:54:10	67.6	29.1	38.5	1.406
11:51:10	26.8	24.5	2.3	0.921	11:54:20	68.2	29.5	38.7	1.402
11:51:20	32.2	24.5	7.7	0.929	11:54:30	68.7	29.8	38.9	1.408
11:51:30	36.1	24.6	11.5	0.998	11:54:40	69.2	30.1	39.1	1.418
11:51:40	40.4	24.7	15.7	1.09	11:54:50	69.7	30.3	39.4	1.427
11:51:50	44.6	24.9	19.7	1.173	11:55:00	70.3	30.6	39.7	1.421
11:52:00	48.3	25.1	23.2	1.205	11:55:10	70.6	30.9	39.7	1.412
11:52:10	51.6	25.4	26.2	1.297	11:55:20	70.9	31.2	39.7	1.41
11:52:20	54.4	25.7	28.7	1.336	11:55:30	71.1	31.6	39.5	1.404
11:52:30	56.8	25.9	30.9	1.369	11:55:40	71.2	31.8	39.4	1.387
11:52:40	58.8	26.2	32.6	1.386	11:55:50	71.4	32.0	39.4	1.163
11:52:50	60.4	26.6	33.8	1.395	11:56:00	70.3	32.3	38.0	0.901
11:53:00	61.8	26.9	34.9	1.398	11:56:10	67.9	32.5	35.4	0.724
11:53:10	62.9	27.3	35.6	1.39	11:56:20	65.0	32.6	32.4	0.568
11:53:20	64.0	27.6	36.4	1.381	11:56:30	61.9	32.8	29.1	0.435
11:53:30	64.9	27.8	37.1	1.387	11:56:40	59.0	32.8	26.2	0.35
11:53:40	65.8	28.2	37.6	1.385	11:56:50	56.4	32.9	23.5	
11:53:50	66.4	28.5	37.9	1.396	11:57:00	54.1	32.9	21.2	
11:54:00	67.0	28.8	38.2	1.406	11:57:10	51.9	33.0	18.9	



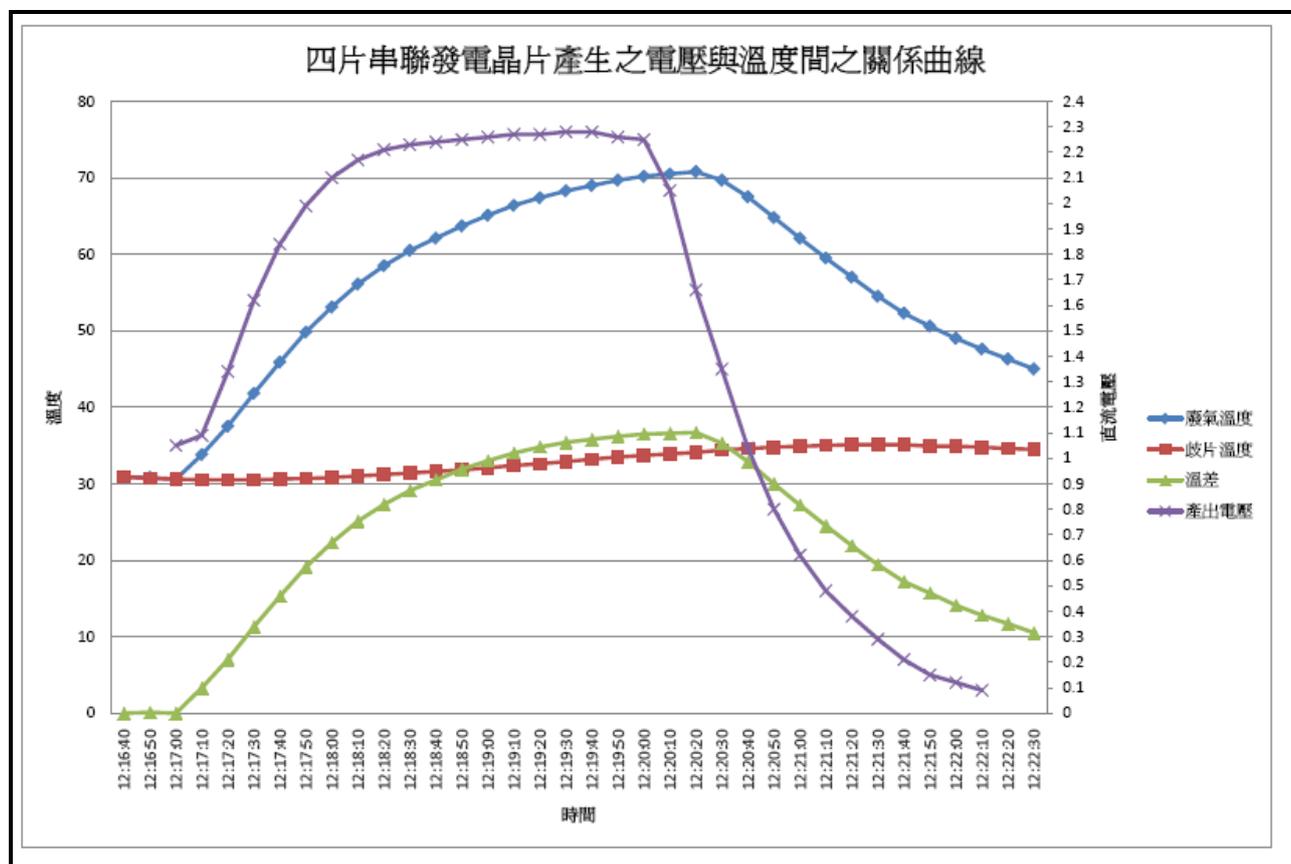
【實驗二：三片發電晶片串聯】

時間	廢氣溫度	歧片溫度	溫差	產出電壓	時間	廢氣溫度	歧片溫度	溫差	產出電壓
12:05:20	28.4	28.7	0.0		12:08:40	68.1	31.9	36.2	1.90
12:05:30	28.3	28.5	0.0		12:08:50	68.6	32.1	36.5	1.90
12:05:40	28.2	28.5	0.0	0.95	12:09:00	69.0	32.4	36.6	1.89
12:05:50	31.3	28.4	2.9	0.96	12:09:10	69.5	32.6	36.9	1.89
12:06:00	35.4	28.3	7.1	1.15	12:09:20	69.9	32.9	37.0	1.88
12:06:10	39.7	28.4	11.3	1.34	12:09:30	70.1	33.1	37.0	1.87
12:06:20	44.0	28.5	15.5	1.54	12:09:40	70.1	33.4	36.7	1.85
12:06:30	48.1	28.6	19.5	1.68	12:09:50	70.1	33.7	36.4	1.705
12:06:40	51.7	28.8	22.9	1.77	12:10:00	70.2	33.9	36.3	1.46
12:06:50	54.6	29.1	25.5	1.84	12:10:10	69.2	34.2	35.0	1.15
12:07:00	57.2	29.3	27.9	1.88	12:10:20	67.2	34.4	32.8	0.98
12:07:10	59.5	29.5	30.0	1.91	12:10:30	64.5	34.7	29.8	0.69
12:07:20	61.5	29.8	31.7	1.93	12:10:40	61.8	34.8	27.0	0.54
12:07:30	63.1	30.0	33.1	1.94	12:10:50	59.1	34.9	24.2	0.42
12:07:40	64.1	30.3	33.8	1.94	12:11:00	56.7	34.9	21.8	0.33
12:07:50	65.0	30.6	34.4	1.93	12:11:10	54.4	34.9	19.5	0.25
12:08:00	65.7	30.8	34.9	1.92	12:11:20	52.3	34.9	17.4	0.19
12:08:10	66.3	31.1	35.2	1.91	12:11:30	50.4	34.8	15.6	
12:08:20	67.0	31.3	35.7	1.91	12:11:40	49.0	34.8	14.2	
12:08:30	67.5	31.6	35.9	1.91					



【實驗二：四片發電晶片串聯】

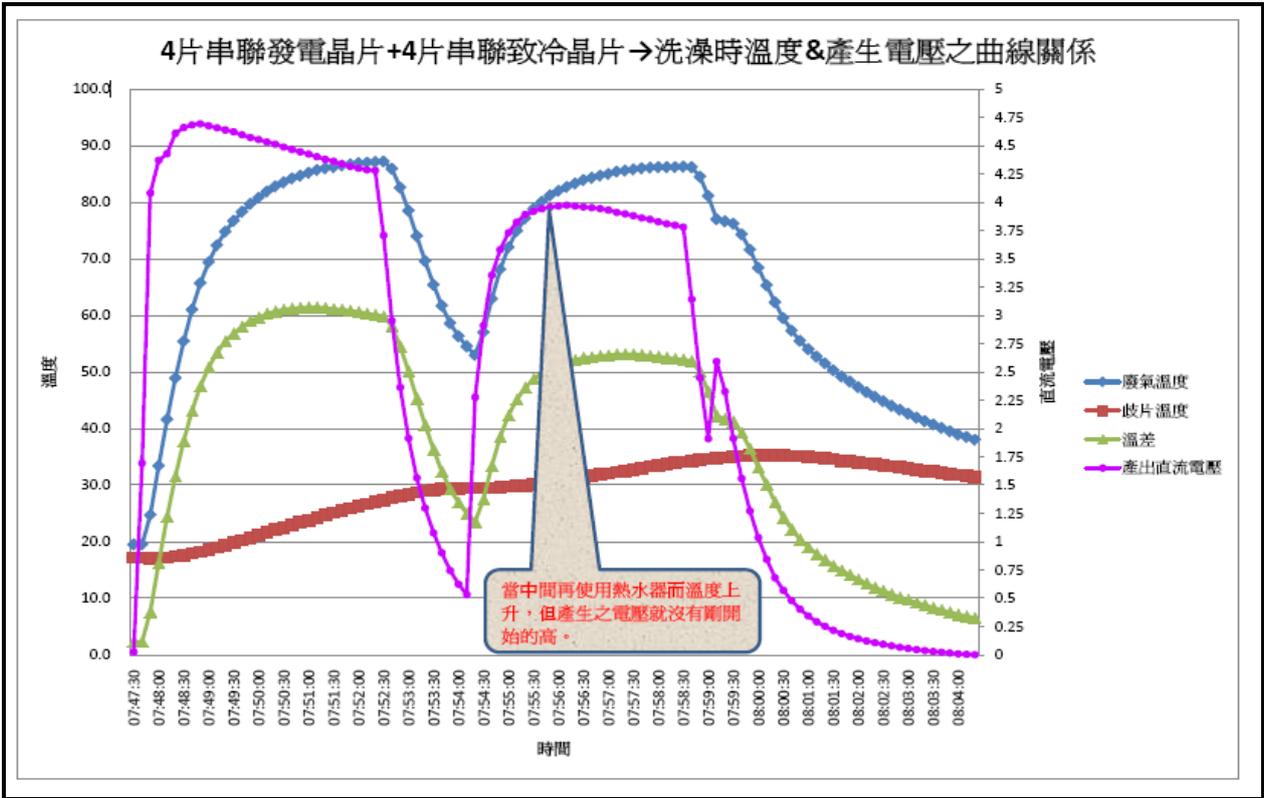
時間	廢氣溫度	歧片溫度	溫差	產出電壓	時間	廢氣溫度	歧片溫度	溫差	產出電壓
12:16:40	30.9	30.9	0.0		12:19:40	69.0	33.2	35.8	2.28
12:16:50	30.8	30.7	0.1		12:19:50	69.7	33.5	36.2	2.26
12:17:00	30.6	30.6	0.0	1.05	12:20:00	70.2	33.7	36.5	2.26
12:17:10	33.8	30.5	3.3	1.09	12:20:10	70.5	33.9	36.6	2.05
12:17:20	37.5	30.5	7.0	1.34	12:20:20	70.8	34.1	36.7	1.66
12:17:30	41.8	30.5	11.3	1.62	12:20:30	69.7	34.4	35.3	1.35
12:17:40	45.9	30.6	15.3	1.84	12:20:40	67.5	34.6	32.9	1.04
12:17:50	49.8	30.7	19.1	1.99	12:20:50	64.8	34.8	30.0	0.80
12:18:00	53.1	30.8	22.3	2.10	12:21:00	62.1	34.9	27.2	0.62
12:18:10	56.1	31.0	25.1	2.17	12:21:10	59.5	35.0	24.5	0.48
12:18:20	68.5	31.2	27.3	2.21	12:21:20	57.0	35.1	21.9	0.38
12:18:30	60.5	31.4	29.1	2.23	12:21:30	54.5	35.1	19.4	0.29
12:18:40	62.1	31.6	30.5	2.24	12:21:40	52.3	35.1	17.2	0.21
12:18:50	63.7	31.8	31.9	2.25	12:21:50	50.6	34.9	15.7	0.15
12:19:00	65.1	32.1	33.0	2.26	12:22:00	49.0	34.9	14.1	0.12
12:19:10	66.4	32.4	34.0	2.27	12:22:10	47.6	34.8	12.8	0.09
12:19:20	67.4	32.6	34.8	2.27	12:22:20	46.3	34.6	11.7	
12:19:30	68.3	32.9	35.4	2.28	12:22:30	45.0	34.5	10.5	



【實驗二：4 串聯發電晶片 + 4 片串聯致冷晶片】

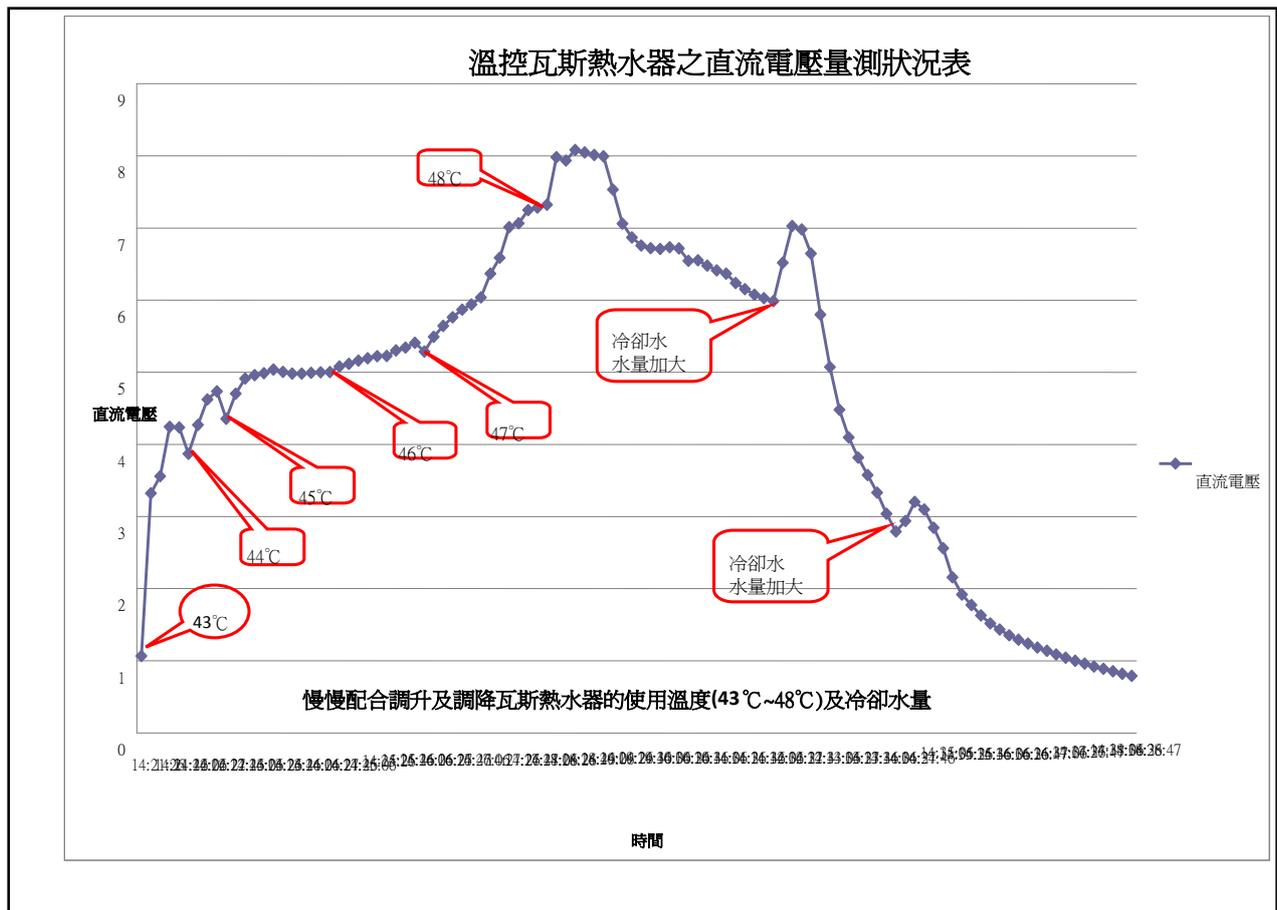
時 間	廢氣溫度	歧片溫度	溫差	產出直流電壓	
07:47:30	19.5	17.2	2.3	0.024	洗-1
07:48:00	33.4	17.2	16.2	4.371	
07:48:30	55.4	17.6	37.8	4.66	
07:48:50	65.7	18.2	47.5	4.694	
07:49:00	69.4	18.6	50.8	4.676	
07:49:30	76.7	19.9	56.8	4.623	
07:50:00	80.8	21.2	59.6	4.554	
07:50:30	83.5	22.5	61.0	4.489	
07:51:00	85.2	23.8	61.4	4.427	
07:51:30	86.2	25.1	61.1	4.362	
07:52:00	86.9	26.3	60.6	4.3	
07:52:30	87.2	27.4	59.8	3.707	
07:53:00	78.5	28.4	50.1	1.913	
07:53:30	65.4	29.1	36.3	1.078	
07:54:00	56.3	29.4	26.9	0.624	
07:54:30	57.0	29.5	27.5	2.91	洗-2
07:55:00	72.0	29.7	42.3	3.73	
07:55:30	78.8	30.1	48.7	3.921	
07:56:00	82.0	30.7	51.3	3.967	
07:56:30	83.9	31.4	52.5	3.959	
07:57:00	85.0	32.1	52.9	3.931	
07:57:30	85.8	32.7	53.1	3.881	
07:58:00	86.2	33.5	52.7	3.827	
07:58:30	86.3	34.1	52.2	3.78	
07:59:00	81.1	34.6	46.5	1.91	
07:59:30	76.2	35.0	41.2	1.911	
08:00:00	68.4	35.3	33.1	1.035	
08:00:30	59.5	35.2	24.3	0.57	
08:01:00	54.0	35.0	19.0	0.343	
08:01:30	50.3	34.6	15.7	0.216	
08:02:00	47.3	34.0	13.3	0.141	
08:02:30	44.8	33.5	11.3	0.092	
08:03:00	42.6	32.9	9.7	0.055	
08:03:30	40.7	32.4	8.3	0.029	

08:04:00	38.9	31.8	7.1	0.009
----------	------	------	-----	-------



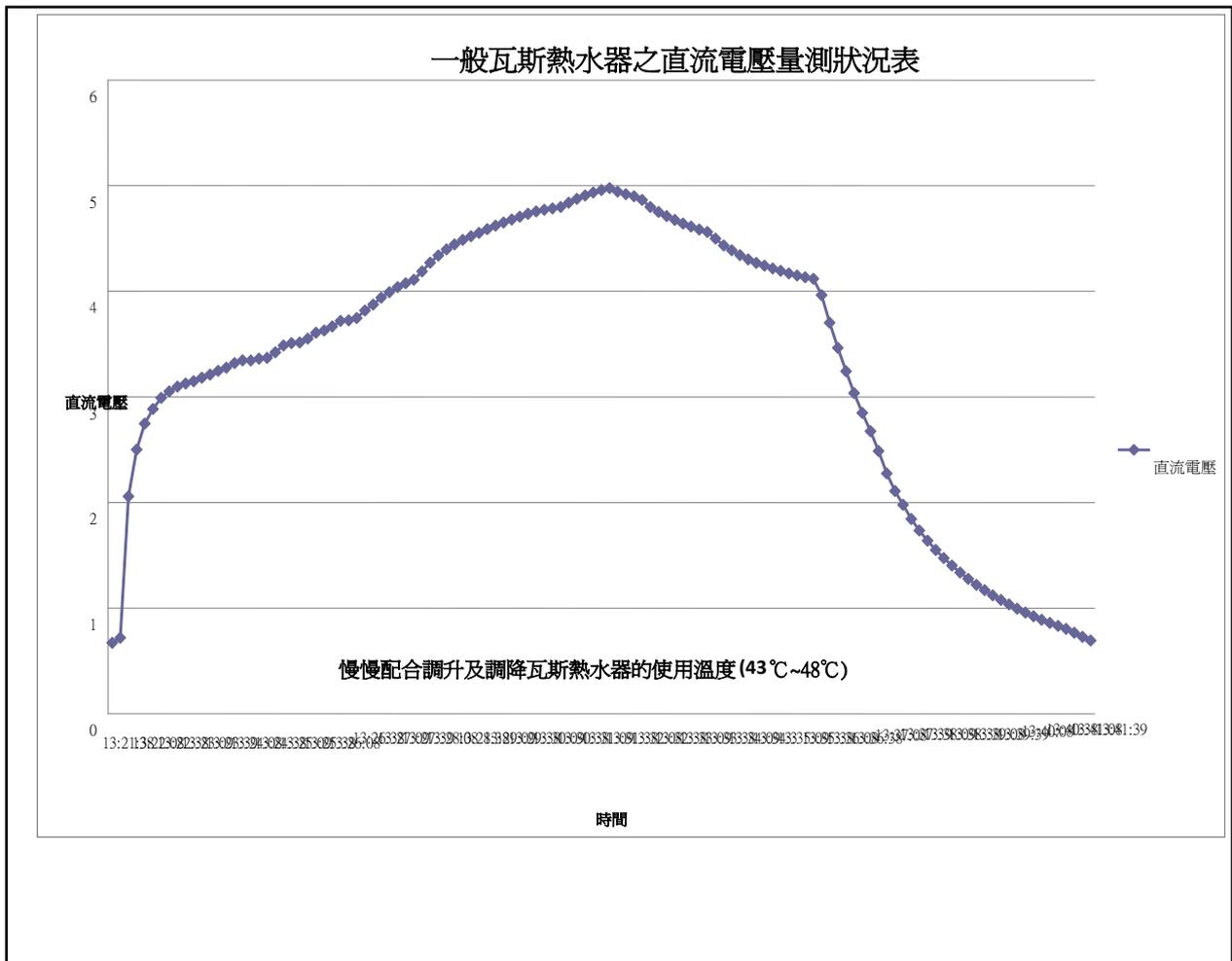
【實驗三：溫控瓦斯熱水器之直流電壓量測狀況表】

時間	直流電壓	冷卻水溫度	時間	直流電壓	冷卻水溫度	時間	直流電壓	冷卻水溫度
14:21:26	1.066	43°C	14:27:26	6.039		14:33:27	5.8	
14:21:46	3.56		14:27:47	6.587		14:33:46	4.48	
14:22:06	4.235		14:28:06	7.066		14:34:06	3.817	
14:22:27	4.271	44°C	14:28:26	7.282		14:34:27	3.332	
14:22:46	4.735		14:28:46	7.982	48°C	14:34:46	2.791	
14:23:06	4.704	45°C	14:29:06	8.083	48°C	14:35:06	3.203	冷卻水調大
14:23:26	4.961		14:29:26	8.012		14:35:26	2.846	
14:23:46	5.038		14:29:46	7.531		14:35:46	2.157	
14:24:06	4.981		14:30:06	6.868		14:36:06	1.772	
14:24:27	4.992		14:30:26	6.72		14:36:26	1.518	
14:24:46	5.004	46°C	14:30:46	6.734		14:36:47	1.353	
14:25:06	5.116		14:31:06	6.544		14:37:06	1.239	
14:25:26	5.193		14:31:26	6.478		14:37:26	1.138	
14:25:46	5.225		14:31:46	6.366		14:37:47	1.042	
14:26:06	5.342		14:32:06	6.151		14:38:06	0.961	
14:26:27	5.286		14:32:27	6.027		14:38:26	0.889	
14:26:46	5.643	47°C	14:32:46	6.518	冷卻水調大	14:38:47	0.819	
14:27:06	5.867		14:33:06	6.98		※實測日期：100.3.18※		



【實驗三：一般瓦斯熱水器之直流電壓量測狀況表】

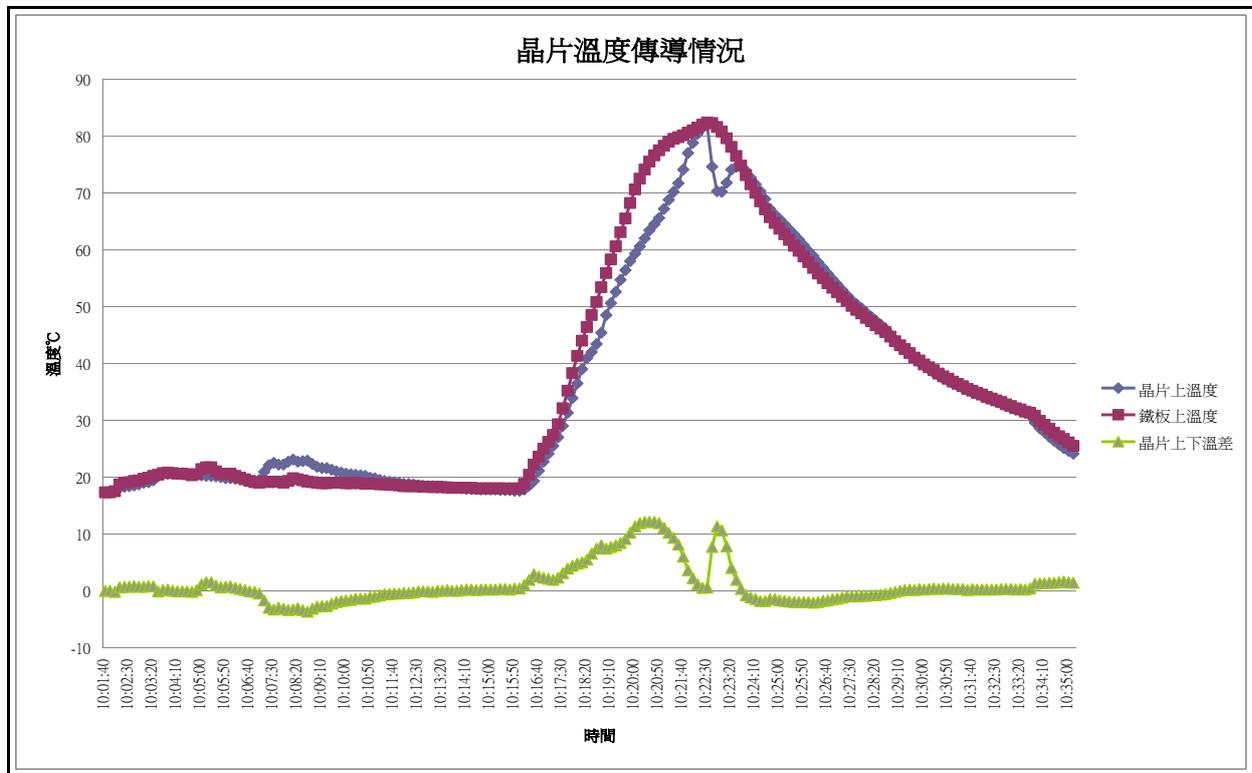
時間	直流電壓	冷卻水溫度	時間	直流電壓	冷卻水溫度	時間	直流電壓	冷卻水溫度
13:21:38	0.672	18	13:28:38	4.445	21.5	13:35:38	4.149	24.4
13:22:08	2.501	19.1	13:29:09	4.553	21.7	13:36:08	3.963	24.5
13:22:38	2.991	19.7	13:29:38	4.652	22	13:36:38	3.243	24.7
13:23:09	3.127	19.8	13:30:09	4.733	22.3	13:37:08	2.674	24.8
13:23:39	3.212	20	13:30:38	4.785	22.6	13:37:39	2.108	24.8
13:24:08	3.32	20.2	13:31:09	4.876	22.9	13:38:09	1.735	24.9
13:24:38	3.362	20.4	13:31:38	4.959	23.1	13:38:38	1.474	24.8
13:25:09	3.487	20.3	13:32:08	4.919	23.4	13:39:08	1.276	24.7
13:25:38	3.552	20.4	13:32:38	4.798	23.6	13:39:39	1.121	24.6
13:26:08	3.668	20.5	13:33:09	4.675	23.7	13:40:08	0.994	24.3
13:26:38	3.746	20.5	13:33:38	4.585	24	13:40:38	0.89	24.2
13:27:09	3.939	20.5	13:34:09	4.434	24.2	13:41:08	0.804	
13:27:39	4.076	20.9	13:34:38	4.302	24.3	13:41:39	0.693	
13:28:08	4.271	21.1	13:35:09	4.216	24.3	※實測日期：100.3.18※		



【實驗三：晶片溫度傳導狀況表】

時間	晶片上溫度	鐵板上溫度	晶片上下溫差	時間	晶片上溫度	鐵板上溫度	晶片上下溫差
10:01:40	17.3	17.3	0	10:19:10	50.6	58.3	7.7
10:02:30	18.4	19.1	0.7	10:20:00	59.3	70.6	11.3
10:03:20	19.4	20.2	0.8	10:20:50	65.6	77.5	11.9
10:04:10	20.7	20.6	-0.1	10:21:40	74.1	80.1	6
10:05:00	20.3	21.4	1.1	10:22:30	81.8	82.4	0.6
10:05:50	19.8	20.5	0.7	10:23:20	74.1	78.1	4
10:06:40	19.4	19.3	-0.1	10:24:10	71.5	70	-1.5
10:07:30	22.5	19.2	-3.3	10:25:00	65.4	63.7	-1.7
10:08:20	22.7	19.6	-3.1	10:25:50	60.8	58.8	-2
10:09:10	21.6	18.9	-2.7	10:26:40	55.8	54.1	-1.7
10:10:00	20.6	18.9	-1.7	10:27:30	51.1	50.1	-1
10:10:50	19.9	18.8	-1.1	10:28:20	47.5	46.7	-0.8
10:11:40	19.1	18.6	-0.5	10:29:10	43.2	43.2	0
10:12:30	18.5	18.4	-0.1	10:30:00	39.6	39.8	0.2
10:13:20	18.2	18.2	0	10:30:50	36.9	37.3	0.4
10:14:10	17.9	18.1	0.2	10:31:40	34.9	35.2	0.3
10:15:00	17.8	18	0.2	10:32:30	33.3	33.5	0.2

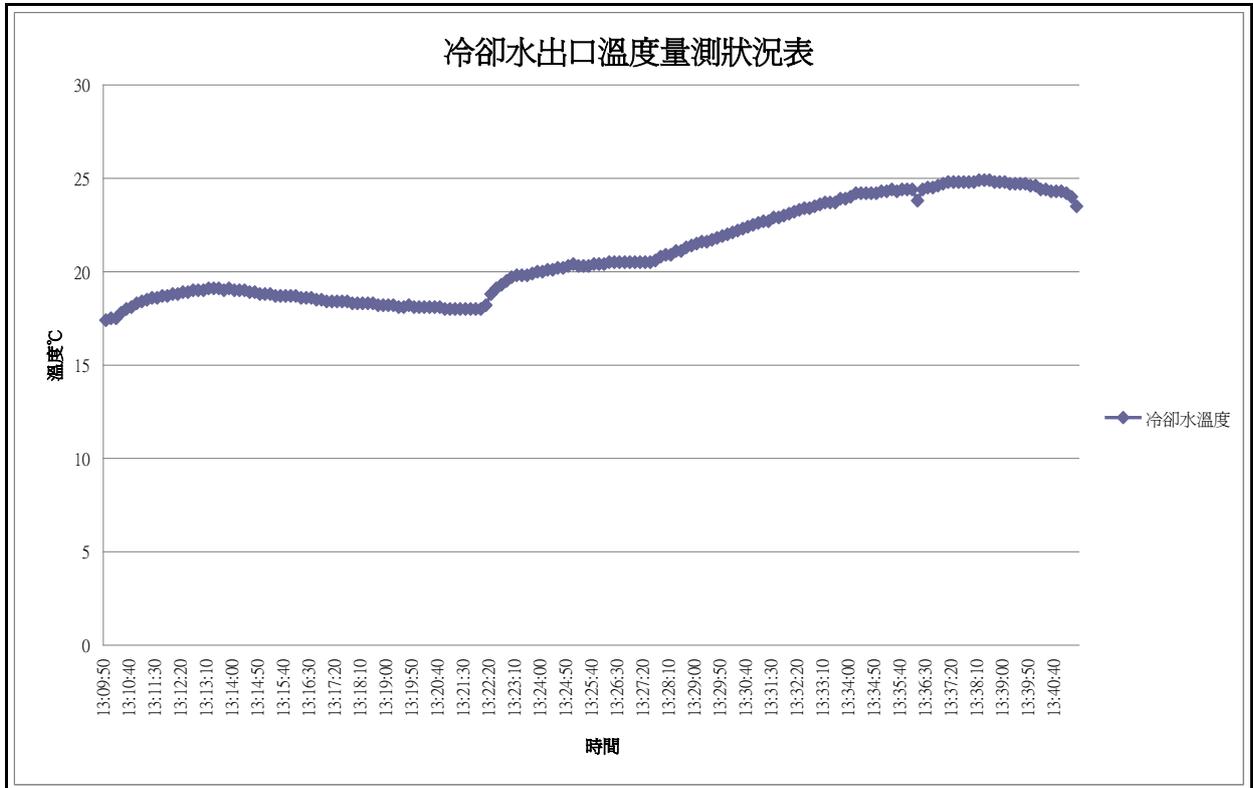
10:15:50	17.6	18	0.4	10:33:20	31.6	31.9	0.3
10:16:40	21.1	23.6	2.5	10:34:10	27.9	29.2	1.3
10:17:30	29	32.1	3.1	10:35:00	24.6	26.1	1.5
10:18:20	40.9	46.4	5.5	※實測日期：100.3.18※			



【實驗三：冷卻水溫度量測狀況表】

時間	冷卻水溫度	時間	冷卻水溫度
13:09:50	17.4	13:25:40	20.4
13:10:40	18.1	13:26:30	20.5
13:11:30	18.6	13:27:20	20.5
13:12:20	18.9	13:28:10	20.9
13:13:10	19.1	13:29:00	21.5
13:14:00	19	13:29:50	21.9
13:14:50	18.8	13:30:40	22.4
13:15:40	18.7	13:31:30	22.9
13:16:30	18.6	13:32:20	23.3
13:17:20	18.4	13:33:10	23.7
13:18:10	18.3	13:34:00	24
13:19:00	18.2	13:34:50	24.2
13:19:50	18.1	13:35:40	24.4
13:20:40	18.1	13:36:30	24.5
13:21:30	18	13:37:20	24.8
13:22:20	18.8	13:38:10	24.9
13:23:10	19.8	13:39:00	24.8

13:24:00	20	13:39:50	24.6
13:24:50	20.3	13:40:40	24.3
實測日期：100.3.18			



直流電壓與冷卻水出口溫度參考表

