

# 臺灣二〇〇七年國際科學展覽會

科 別：物理學

作 品 名 稱：冷熱生電－熱電效應之席貝克效應  
(Seebeck effect)

學校 / 作者：臺北市立第一女子高級中學 李欣瑜

## 作者簡介



我是李欣瑜，目前就讀北一女中高二，這是我第三次參加台灣國際科學展覽會，也是我從小學六年級以來，第六次參與科展比賽；雖然做科展實驗佔去了我絕大部分的課餘時間，但是在實驗過程中，發現新問題的衝擊、尋求解決問題時的腦力激盪、看到成果時的歡欣以及與來自不同學校的同學討論並觀摩他們的實驗成果，這些過程著實令我樂此不疲。

## 摘 要

席貝克效應〈Seebeck effect〉是熱能與電能之間的一種固態能量轉換方式，當兩種不同性質的金屬導線之端點連接形成封閉迴路時，若兩接點間有溫差，則兩接點間可測得電壓，而因單位溫差所產生的電壓差稱為席貝克係數〈Seebeck coefficient〉。

由本實驗的結果發現：溫差大小、導線特性〈熱電係數〉、導線表面有無氧化層是影響席貝克效應中電壓值及席貝克係數大小的原因。溫差越大，電壓值越大。鉑〈Pt〉與其他金屬的熱電偶導線組合之熱電轉換效能為  $\text{Pt-Fe} > \text{Pt-C} > \text{Pt-Al} > \text{Pt-Sn}$ ；導線的表層若有氧化層，會造成電壓在上升過程中穩定性不佳，產生高低起伏的跳動溫壓曲線，但在較高溫差時，溫壓曲線趨於穩定上升狀態。

## **Abstract**

The Seebeck effect is one of thermoelectric effect. A voltage existed between two ends of different metal wires when a temperature gradient existed between the two junctions. This means the conversion of temperature differences directly into electricity. The voltage induced was called electromotive force, EMF.

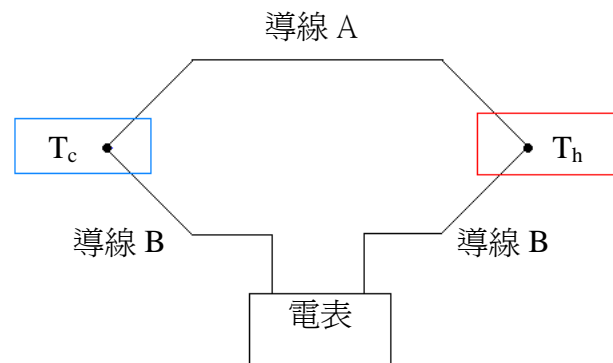
The EMF generated was dependent on the properties of the wires, which formed the thermocouple and the temperature difference between the junctions. This paper was to study the effect of variety of wire combinations and geomtric properties of wires in thermocouple on the Seebeck coefficient generated.

The results indicated that temperature difference, wire properties, and absence or presence of oxidative layer on the surface of wires were the factors to affect the magnitude of voltage and the Seebeck coefficient. As the temperature difference between the junctions was increased, the voltage increased. The combination efficiency of conversion of temperature difference into electricity of platinum was following :  $\text{Pt-Fe} > \text{Pt-C} > \text{Pt-Al} > \text{Pt-Sn}$ . The presence of oxidative layer on the surface of wires caused instability during the process of voltage increase. It made the temperature-voltage curve up and down. On the contrary, when the temperature difference was big, the temperature-voltage curve became increased stably. The temperature-voltage curve was independent of geomtric properties of wires.

## 前 言

熱電效應〈thermoelectric effect〉是指熱能與電能之間的一種固態能量轉換方式，包括「席貝克效應」〈Seebeck effect〉、「珀爾帖效應」〈Peltier effect〉及「湯姆遜效應」〈Thomson effect〉三種。其中席貝克效應於 1821 年由德國科學家席貝克〈Thomas Johann Seebeck, 1770 - 1831〉發現，其現象是當兩種不同性質的金屬導線之端點連接形成封閉迴路時，若兩接點間有溫差，即其中一接點之溫度高於另一接點者，則兩接點間會產生一微小的熱電電動勢〈electromotive force, EMF〉。在此迴路中的兩個接點稱為熱電偶〈thermocouple〉，溫度高的接點稱為「熱接點」〈hot junction〉，通常放在測溫處；溫度較低的則稱為「冷接點」〈cold junction〉，即熱電偶之輸出端，其輸出的訊號為直流電壓〈如圖一〉。而因單位溫差所產生的電壓差稱為「席貝克係數」〈Seebeck coefficient〉，或稱為「熱電力」〈thermoelectric power 或 thermopower〉。其公式如下：

$$S_{AB} = S_B - S_A = V / \Delta T$$



圖一 席貝克效應的基本裝置

一般金屬或導體之席貝克係數約為每一絕對溫差數個至數十個微伏特〈 $\mu V / K$ 〉，而半導體之席貝克係數則可高達數百至數千個微伏特。

熱電電動勢的值取決於所使用熱電偶導線的種類和連接點的溫差，因此，本實驗將探討在席貝克效應中影響電壓大小的原因，研究不同種類的熱電偶導線組合、導線材質的幾何特性〈如長短、粗細等〉對熱電轉換效能的影響，並研究席貝克效應中電壓異常跳動的原因。

# 研究設備與器材

## 一、導線材料

鉑線〈Pt，直徑 0.3mm〉、銅線〈Cu〉、鋁箔〈Al〉、碳棒〈C〉、鐵線〈Fe，24#、22#、20#〉、焊錫線〈Sn〉。

## 二、研究器材

數位溫度計〈附感溫棒〉、數位電錶、加熱板、酒精燈、燒杯、坩鍋、保麗龍盒、掃描式電子顯微鏡〈SEM，S-2400，HITACHI〉。

## 三、溫差介質

熱水—空氣、熱水—碎冰水、熱水—液態氮、熱葵花油—空氣、熱葵花油—碎冰水。

## 四、實驗步驟

### 實驗一：導線長短或粗細對電壓變化的影響

- 1、以常見的銅—鐵〈Cu-Fe〉做為熱電偶導線，將長短、粗細不等的鐵線〈如下表所示〉兩端點分別與固定長短、粗細的銅線互相纏繞，數位電表接於兩銅線端〈裝置如圖一〉。

鐵線長短不同、粗細同		鐵線長短同、粗細不同	
代號	條 件	代號	條 件
24L	24#，60cm	24S	24#，30cm
24M	24#，40cm	22S	22#，30cm
24S	24#，30cm	20S	20#，30cm

- 2、將糾結的兩端，一端置於水〈 $T_h$ 〉中，一端置於室溫〈 $T_c$ ，約 21°C〉中。
- 3、將水加熱，觀測並紀錄升溫過程中所產生的電壓變化。
- 4、實驗重覆進行三次，將測量值取平均值後做表、做圖。

### 實驗二：不同溫差介質對電壓變化的影響

- 1、以鉑—鋁箔條〈Pt-Al〉做為熱電偶導線，數位電表接於兩鋁箔條端〈裝置如圖一〉。
- 2、將糾結的兩端，一端置於葵花油〈 $T_h$ 〉中，一端置於碎冰水〈 $T_c$ ，0°C〉中。
- 3、將葵花油加熱，觀測並紀錄升溫過程中所產生的電壓變化。
- 4、實驗重覆進行三次，將測量值取平均值後做表、做圖。

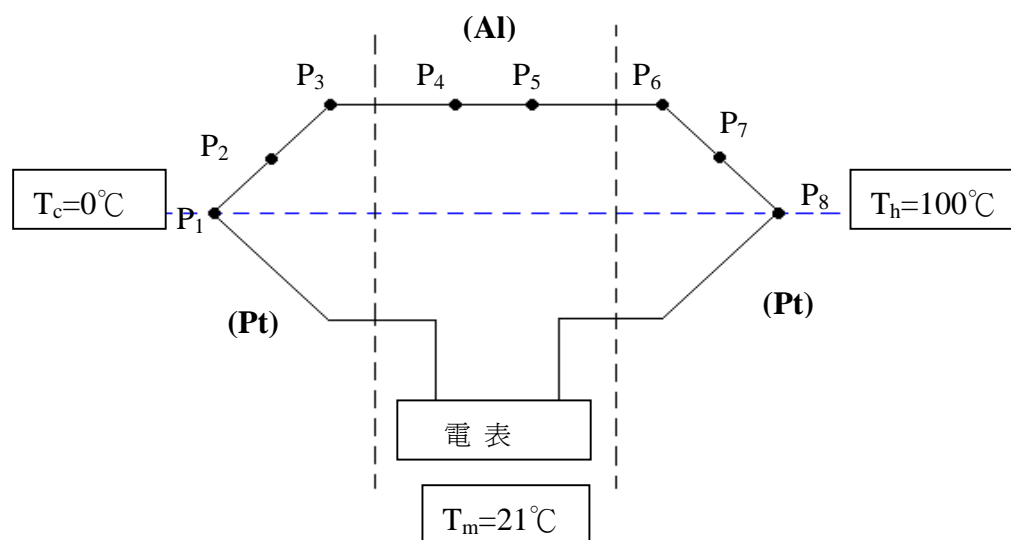
- 5、將溫差介質改為熱水—空氣（ $21^{\circ}\text{C}$ ），再重覆步驟 3、4。
- 6、將溫差介質改為熱水—液態氮（ $-196^{\circ}\text{C}$ ），再重覆步驟 3、4。

### 實驗三：鉑與不同導體間的電壓變化

- 1、以鉑—鐵（Pt-Fe）、鉑—錫（Pt-Sn）、鉑—碳棒（Pt-C）、鉑—鋁箔條（Pt-Al）做為熱電偶導線，數位電表分別接於兩鐵線、焊錫線、碳棒、鋁箔條端（裝置如圖一）。
- 2、將糾結的兩端，一端置於葵花油（ $T_h$ ）中，一端置於碎冰水（ $T_c, 0^{\circ}\text{C}$ ）中。
- 3、將葵花油加熱，觀測並紀錄升溫過程中所產生的電壓變化。
- 4、實驗重覆進行三次，將測量值取平均值後做表、做圖。

### 實驗四：兩種導線與三種導線組合對席貝克效應之影響

- 1、以鋁箔條—鉑（Al-Pt）做為熱電偶導線，並將鋁箔條依下圖（圖二）分段，分別做好結點，數位電表分別接於兩鉑線端（裝置如圖一）。



圖二 熱電偶導線接點圖

依圖二分類各結點所形成的線段如下表

不跨邊區	$P_1P_2$ 、 $P_2P_3$ 、 $P_4P_5$ 、 $P_6P_7$ 、 $P_7P_8$
跨一邊區	$P_5P_7$ 、 $P_5P_8$ 、 $P_2P_5$ 、 $P_1P_5$
跨二邊區	$P_1P_6$ 、 $P_2P_6$ 、 $P_1P_7$ 、 $P_2P_7$

- 2、將鉑與鋁箔條糾結的兩端，一端置於  $100^{\circ}\text{C}$  熱水（ $T_h$ ）中，一端置於碎冰水（ $T_c, 0^{\circ}\text{C}$ ）中，記錄電壓值。
- 3、將熱電偶導線組合改為鋁箔條—鐵—鉑〔（Al-Fe）-Pt〕，即依圖二分段方式，分別用鐵線取代再重覆進行步驟 2。

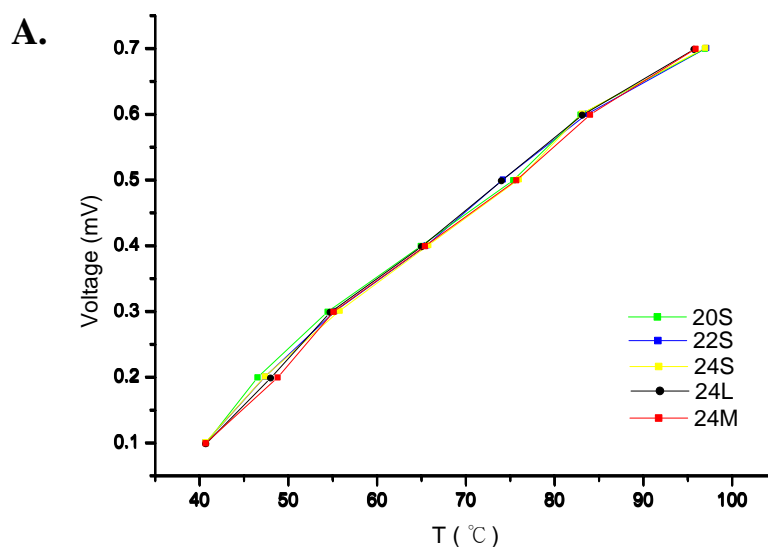
### 實驗五：導線氧化程度對電壓上升之影響

- 1、將四支等長鐵線的一端分別在酒精燈上烤 0、2、4、6 分鐘。
- 2、在坩鍋中注入葵花油 ( $T_h$ )，分別將鐵線燒烤過的一端輕輕放入，再將鉑線輕疊其上，並在其上放一小玻璃柱固定之，鐵線未燒烤之一端與另一條鉑線相纏繞，置於室溫 ( $T_c$ ,  $21^\circ\text{C}$ ) 中，數位電表接於兩鉑線端。
- 3、將葵花油加熱，觀測並紀錄升溫過程中所產生的電壓變化。
- 4、實驗重覆進行三次，將測量值取平均值後做表、做圖。
- 5、實驗結束後，分別將各組鐵線置於葵花油端剪下小段，輕輕擦拭、吸除油漬後放乾，再以 SEM 觀察其表面狀況。

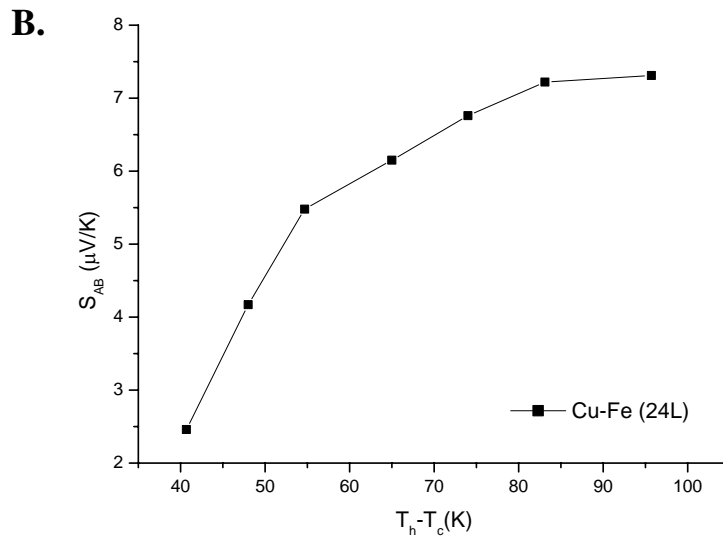
## 結 果

### 實驗一：導線長短或粗細對電壓變化的影響

隨著水的溫度升高，水溫和室溫的溫差漸增，銅線與不同長短或粗細的鐵線間所產生的電壓也逐漸升高，將實驗所得的數據列表如附表一，並作圖如下〈圖三〉，結果顯示各組間並無明顯差異。根據所測量到的電壓值與溫差值計算出塞貝克係數 ( $S_{AB}$ )，並以  $S_{AB}$  對應溫差做圖〈如圖四〉，可以發現在溫差較小時， $S_{AB}$  值逐漸增大；但溫差變大之後， $S_{AB}$  值變化較小。



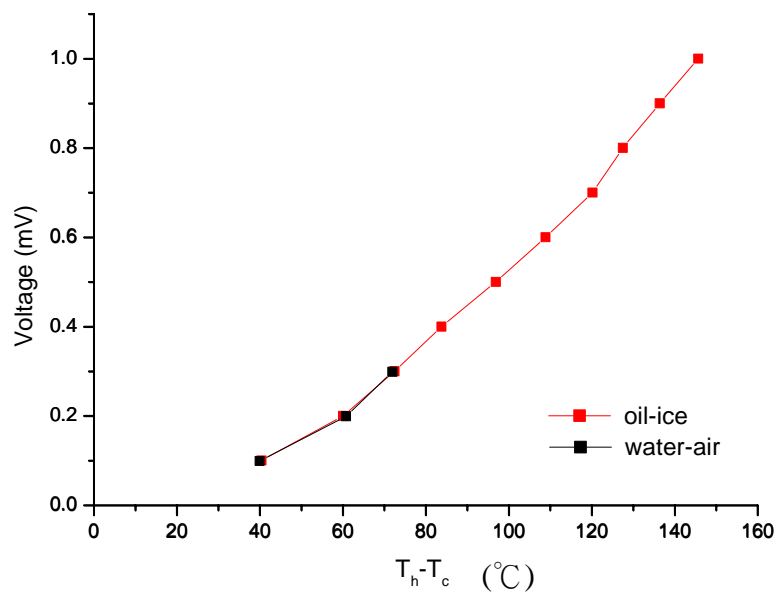




圖三 Cu-Fe 熱電偶導線中，A. 分別使用不同長短、粗細的鐵線，在不同溫度下所產生的電壓變化。B. 席貝克係數  $S_{AB}$  隨溫差變化情形。

#### 實驗二：不同溫差介質對電壓變化的影響

隨著油或水的溫度升高，溫差介質的溫差漸增，Pt-Al 所產生的電壓也逐漸升高，將實驗所得的數據列表如附表二，並作圖如下〈圖四〉，結果顯示熱水—室溫組的 Pt-Al 溫壓曲線和葵花油—碎冰水組的 Pt-Al 溫壓曲線之前段無明顯差異。但溫差介質為熱水—液態氮〈 $-196^\circ\text{C}$ 〉組則無電壓產生。

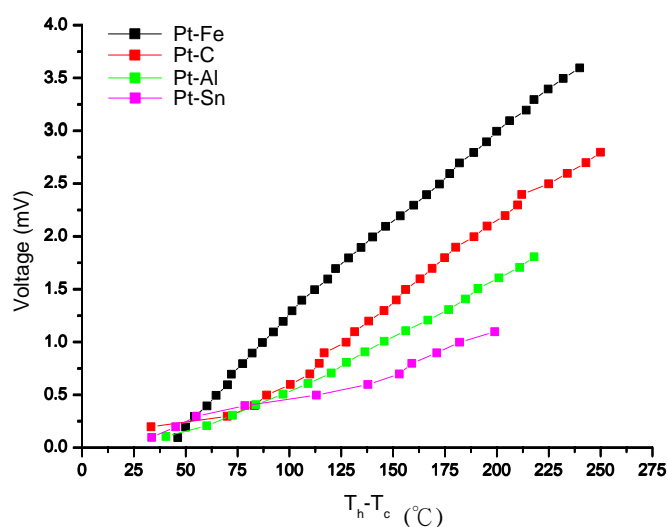


圖四 溫差介質分別為葵花油—碎冰水與水—空氣時，電壓之變化。

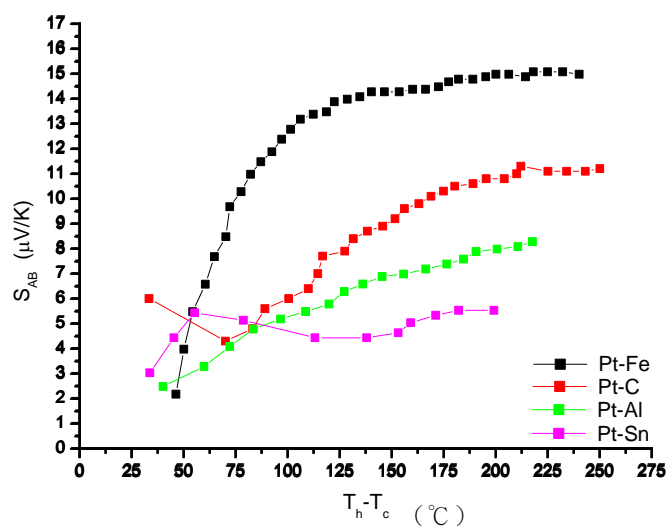
### 實驗三：鉑與不同導體間的電壓變化

隨著葵花油的溫度升高，油溫和碎冰水溫的溫差漸增，鉑與不同導體間所產生的電壓也逐漸升高，Pt-C 及 Pt-Sn 在溫差較小時即可觀測到電壓升高至 0.2mV，但之後電壓的增高以 Pt-Fe 最快速，效應大小依序為 Pt-Fe > Pt-C > Pt-Al > Pt-Sn (如圖五)。此外，焊錫線在油溫 199.6°C 時發生熔解現象，無法繼續測量。

根據所測量到的電壓值與溫差值計算出席貝克係數  $\langle S_{AB} \rangle$ ，如附表三，並以  $S_{AB}$  對應溫差做圖 (如圖六)，可以發現在溫差較小時， $S_{AB}$  值逐漸增大；但溫差變大之後，同一熱電偶導線組合的  $S_{AB}$  值變化不大，曲線趨向水平。



圖五 Pt-Sn、Pt-Al、Pt-C、Pt-Fe 的電壓變化



圖六 鉑 (Pt) 與不同金屬的熱電偶導線組合中，席貝克係數  $S_{AB}$  隨溫差變化情形。

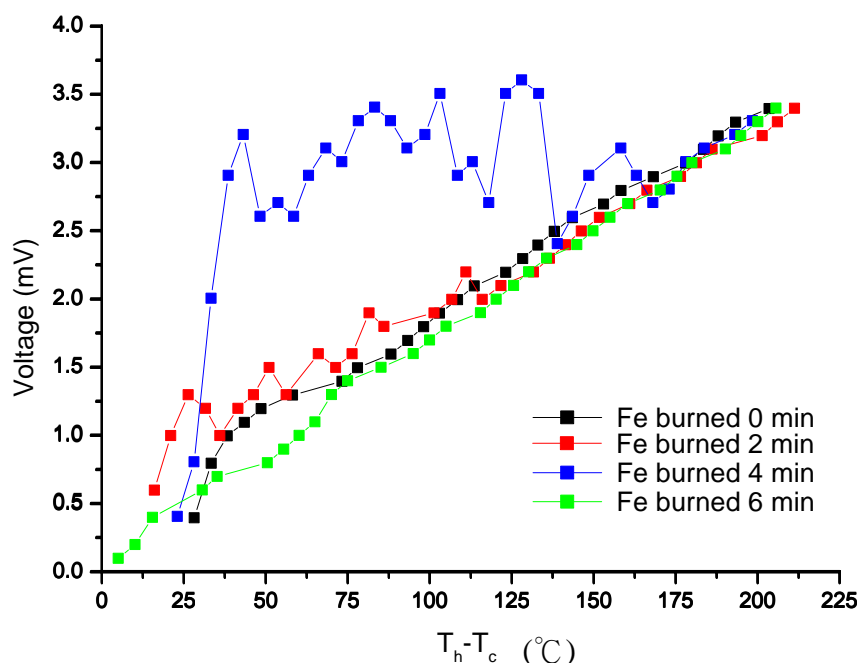
#### 實驗四：兩種導線與三種導線組合對席貝克效應之影響

由實驗三結果可知：當熱電偶導線組合為 Al-Pt，溫差約 100°C 時，測得的電壓為 0.3mV，而當熱電偶導線組合改為 Fe-Pt 時則測得的電壓約 1.3mV，而以鐵線取代不同線段的鋁箔條所量測到的電壓列表如下，可知：以鐵線取代的線段若跨越的邊區越多，溫差會越大，則其產生的電壓也越大。但以鐵線取代的線段不論靠近高溫區或低溫區，只要其跨越的邊區數相同，則電壓值不變。

不跨邊區	取代線段	P <sub>1</sub> P <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub> P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub> P <sub>7</sub>	P <sub>7</sub> P <sub>8</sub>
	電 壓	0.3mV	0.3mV	0.3mV	0.3mV	0.3mV
跨一邊區	取代線段	P <sub>5</sub> P <sub>7</sub>	P <sub>5</sub> P <sub>8</sub>	P <sub>2</sub> P <sub>5</sub>	P <sub>1</sub> P <sub>5</sub>	
	電 壓	1.1mV	1.1mV	1.1mV	1.1mV	
跨二邊區	取代線段	P <sub>1</sub> P <sub>6</sub>	P <sub>2</sub> P <sub>6</sub>	P <sub>1</sub> P <sub>7</sub>	P <sub>2</sub> P <sub>7</sub>	
	電 壓	1.5mV	1.5mV	1.5mV	1.5mV	

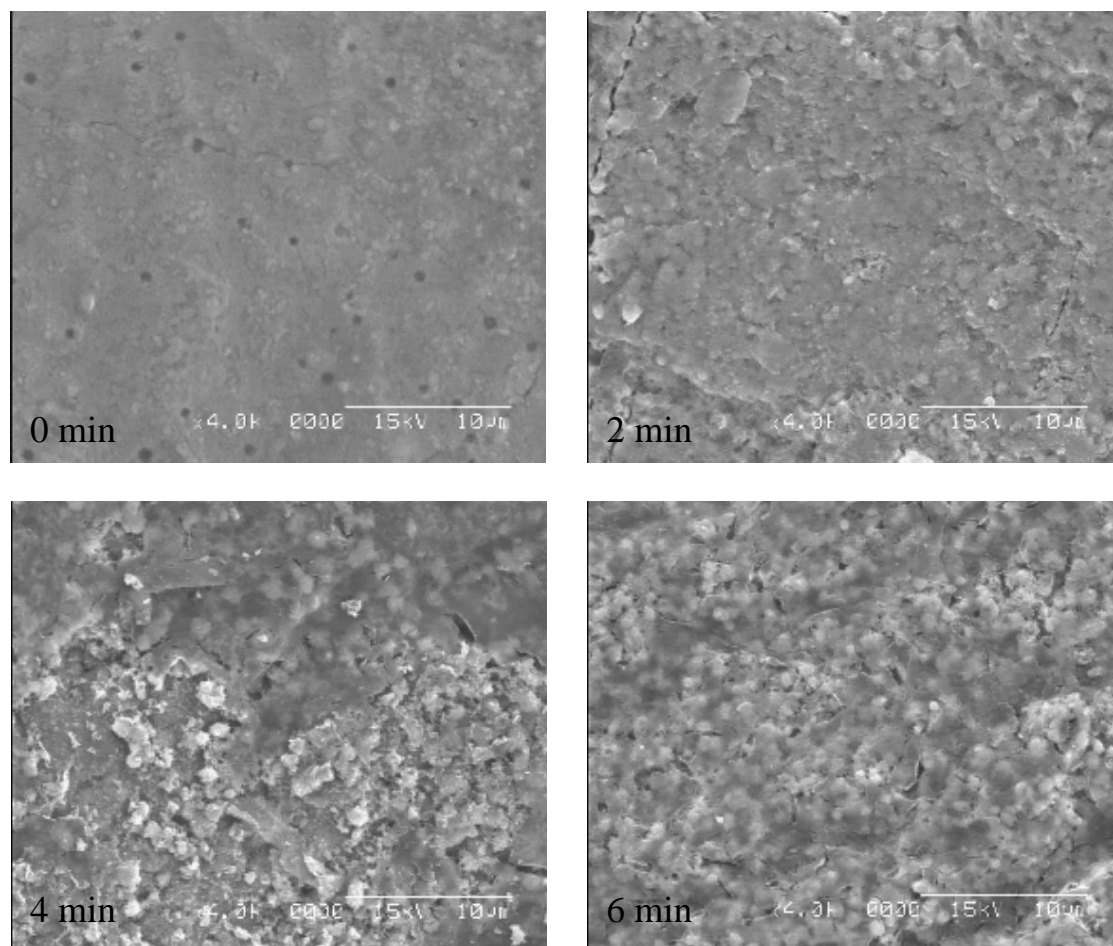
#### 實驗五：導線氧化程度對電壓上升之影響

使用火烤 2 分鐘及 4 分鐘的鐵線置於 T<sub>h</sub> 端，電壓上升較快，但升壓過程較不穩定，電壓值出現高低起伏狀況，尤以使用火烤 4 分鐘鐵線組差異最為明顯，但溫差大於 160°C 後，高低起伏的狀況趨於平緩。而使用火烤 6 分鐘鐵線組的結果則與使用未烤鐵線組的結果相似。將實驗結果列表如附表四，並作圖如下〈圖七〉。



圖七 Pt-Fe 中，鐵線氧化程度不同時的電壓變化

以 SEM 觀察、拍照之結果如圖八所示，發現未經火烤過的鐵線表面最平順，但有一些小洞；火烤 2 分鐘的鐵線表面變得較粗糙。火烤 4 分鐘的鐵線表面出現許多明顯的顆粒，但有些位置則在顆粒區上覆著一層薄膜，因而形成兩種明顯不同的表面型態。火烤 6 分鐘的鐵線表面的顆粒則較緻密且其上覆蓋的薄膜分布較均勻。



圖八 以 SEM 觀察未經火烤及火烤 2、4、6 分鐘的鐵線表面構造。

## 討 論

由本實驗的各項結果中發現：在席貝克效應中，影響電壓大小的原因有三種：熱電偶溫差大小、導線材質、導體表層氧化程度，其他如導線的長短、粗細則不會影響電壓大小。

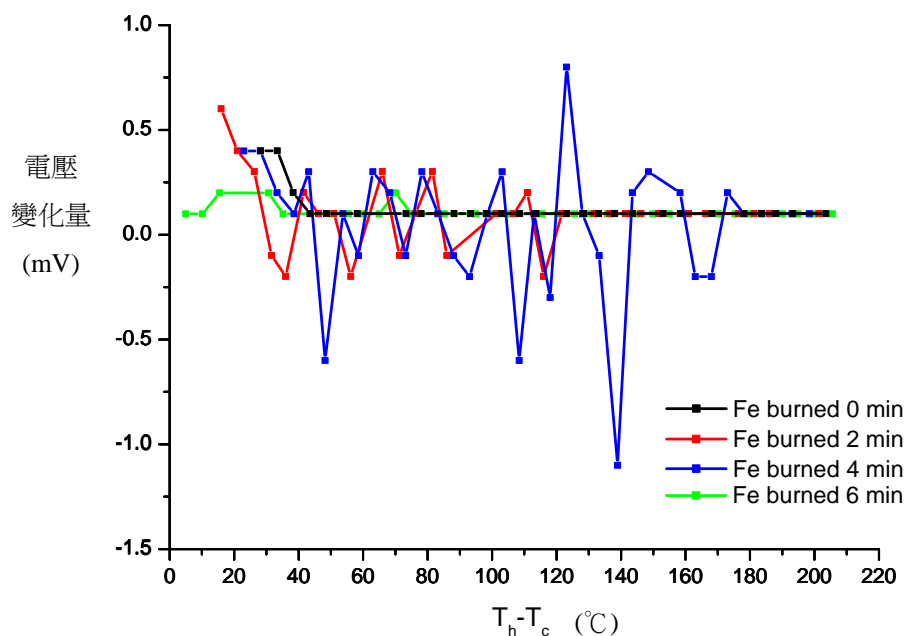
在本實驗中所使用的溫差介質有葵花油〈200-300℃〉、水〈100℃〉、空氣〈21℃〉、碎冰水〈0℃〉、液態氮〈-196℃〉，由實驗二的結果〈附表二及圖四〉可知：良好的介質基本上僅提供系統所需的溫度變化，並不會與導線起反應。但在加熱

或降溫過程中須考慮導線材質本身的耐熱或抗凍性，例如鉚錫線加熱至約 200℃ 及熔解，而使用液態氮則會使導線因嚴重冷縮而使纏結的導線鬆脫，無法進行測量。

導線的熱電效率可用熱電優值〈thermoelectric figure-of-merit,  $Z$ 〉來評估，其公式為  $Z = S^2 \sigma / \lambda$ ，熱電優值和導線熱電係數的平方及電導率〈electrical conductivity,  $\sigma$ 〉成正比，和熱傳導係數〈thermal conductivity,  $\lambda$ 〉成反比。良好的熱電材料需具有高電導率和低熱傳導係數的特性。

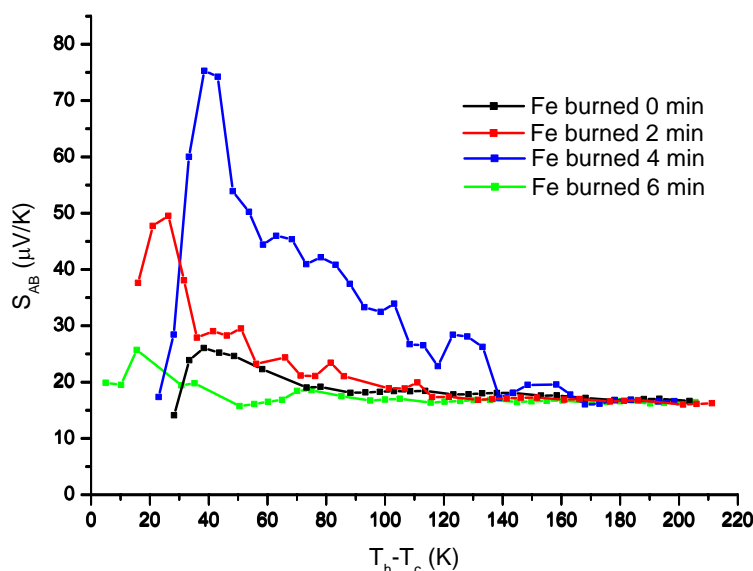
鉑〈Pt〉與其他金屬的熱電偶導線組合中，熱電轉換效能為  $\text{Pt-Fe} > \text{Pt-C} > \text{Pt-Al} > \text{Pt-Sn}$ 。而根據所測量到的電壓值與溫差值計算出塞貝克係數〈 $S_{AB}$ ，見附表三〉，並以  $S_{AB}$  對應溫差做圖如下〈圖六〉，可以發現在溫差較小時， $S_{AB}$  值逐漸增大；但溫差變大之後，同一熱電偶導線組合的  $S_{AB}$  值變化不大，曲線趨向水平。

熱電偶導線 Pt-Fe 表面若有氧化層，則導線交界處會出現不規則的間隙，造成電壓上升情形異常，如圖七所示，在 Pt-Fe 熱電偶導線組合中，火烤四分鐘的鐵線表面出現許多明顯的顆粒，間隙較大，但有些位置則在顆粒區上覆蓋著一層薄膜，形成兩種不同間隙大小的表面型態，因此其溫壓曲線上升時的穩定度最差〈如圖九〉，電壓值高低起伏非常明顯。而火烤二分鐘及六分鐘的鐵線表層雖然也有間隙，但緻密度較高，因此溫壓曲線較穩定。推測此異常電壓起伏是因為導線氧化程度不同時，電導率與熱傳導係數也隨之產生不同的變化所致。



圖九 Pt-Fe 中，鐵線氧化程度不同時的電壓變化量。

由實驗觀測到的電壓值及溫差值計算得知：席貝克係數並非常數，同一熱電偶導線組合在溫差值低於某一「臨界溫差值」時，席貝克係數隨溫差增加而增大，當溫差高於此臨界溫差值後，席貝克係數的變化不大(如圖六)。若導線表面有氧化層存在，則席貝克係數的變化趨勢為：先升後降，再趨於穩定，且因導線氧化程度不同，相同溫差下，席貝克係數的大小也不同(如圖十)。



圖十 Pt-Fe 中，鐵線氧化程度不同時，席貝克係數  $S_{AB}$  隨溫差變化情形。

雖然一般金屬導線的席貝克係數偏低，單位溫度只有數個至數十個微伏特 ( $\mu V/K$ )，亦即用一般金屬熱電偶直接把熱能轉變為電能是種低效率的過程，但隨著材料科學的發展，具有高席貝克係數、高電導率及低熱傳導係數的良好熱電材料如碲化鉍 (bismuth telluride) 及其合金、碲化鉛 (lead telluride) 及其合金、矽鍺合金 (silicon germanium) 等陸續被開發應用，發展出更高效能的供電設備。藉由這次的實驗，我對席貝克效應有了初步的了解，我將以此為基礎繼續研究，希望能對熱電效應有更深入的了解。

## 結 論

- 一、在席貝克效應中，導線材質、熱電偶溫差大小、導體表層氧化程度，會影響所產生的電壓大小。而導線的長短、粗細則無影響。
- 二、鉑 (Pt) 與其他金屬的熱電偶導線組合中，熱電轉換效能為  $Pt-Fe > Pt-C > Pt-Al > Pt-Sn$ 。

- 三、 熱電偶導線 Pt-Fe 表面若有氧化層，則導線交界處會出現不規則的間隙，造成電壓上升情形異常。
- 四、 席貝克係數並非常數，會因熱電偶導線種類不同、導線表層有無氧化層、溫差大小等因素而異。

## 參考資料

- 一、 廖建能，2003，熱電效應之原理與應用介紹，電子月刊，第九卷第四期，160-167。
- 二、 莊明賢，基本電學，初版，台北，儒林圖書有限公司，324-327，1994。
- 三、 劉一貫等譯，高級物理〈上〉，一版，台北，導師出版社，106-107，1993。
- 四、 The New Illustrated Science and Invention Encyclopedia, H. S. Stuttman Inc. Publishers. vol. 21, 2814-2818, 1987.
- 五、 D.M. Rowe. CRC Handbook of Thermoelectrics. CRC Press LLC. 1995.

## 附 表

表一 鐵線長短或粗細對電壓變化的影響

溫度(°C) (Fe-Cu) 電壓(mV)	Fe-24L	Fe-24M	Fe-24S	Fe-22S	Fe-20S
0.1	40.7	40.7	40.7	40.7	40.7
0.2	48.0	48.8	47.4	47.4	46.5
0.3	54.7	55.1	55.8	55.3	54.4
0.4	65.0	65.4	65.8	65.6	64.9
0.5	74.0	75.7	76.0	74.2	75.3
0.6	83.1	84.0	83.1	83.7	82.9
0.7	95.7	95.9	97.0	97.1	96.9

表二 不同溫差介質對電壓變化的影響

Pt-Al 電 壓 (mV)	葵花油—碎冰水(0°C)		熱水—室溫(21°C)	
	油溫(°C)	溫差(°C)	水溫(°C)	溫差(°C)
0.1	40.4	40.4	60.9	39.9
0.2	60.1	60.1	81.7	60.7
0.3	72.5	72.5	92.9	71.9
0.4	83.8	83.8		
0.5	96.9	96.9		
0.6	108.9	108.9		
0.7	120.2	120.2		
0.8	127.5	127.5		
0.9	136.4	136.4		
1.0	145.7	145.7		



表三 鉑與不同導體間的電壓與席貝克係數  $\langle S_{AB} \rangle$  的變化

電壓 (mV)	Pt-Fe		Pt-C		Pt-Al		Pt-Sn	
	溫差 (°C)	$S_{Pt-Fe}$ ( $\mu V/K$ )	溫差 (°C)	$S_{Pt-C}$ ( $\mu V/K$ )	溫差 (°C)	$S_{Pt-Al}$ ( $\mu V/K$ )	溫差 (°C)	$S_{Pt-Sn}$ ( $\mu V/K$ )
0.1	46.2	2.2	/	/	40.4	2.5	33.6	3.0
0.2	50.0	4.0	33.3	6.0	60.1	3.3	45.2	4.4
0.3	54.2	5.5	70.0	4.3	72.5	4.1	55.1	5.4
0.4	60.3	6.6	83.1	4.8	83.8	4.8	78.5	5.1
0.5	64.7	7.7	89.0	5.6	96.9	5.2	113.0	4.4
0.6	70.2	8.5	100.4	6.0	108.9	5.5	137.8	4.4
0.7	72.1	9.7	109.8	6.4	120.2	5.8	153.0	4.6
0.8	77.5	10.3	114.4	7.0	127.5	6.3	159.0	5.0
0.9	82.1	11.0	116.7	7.7	136.4	6.6	171.0	5.3
1.0	87.0	11.5	127.3	7.9	145.7	6.9	182.0	5.5
1.1	92.3	11.9	131.4	8.4	156.1	7.0	199.0	5.5
1.2	97.0	12.4	138.2	8.7	166.7	7.2		
1.3	101.3	12.8	145.6	8.9	176.8	7.4		
1.4	106.0	13.2	151.5	9.2	184.9	7.6		
1.5	112.2	13.4	156.0	9.6	190.9	7.9		
1.6	118.5	13.5	163.0	9.8	201.0	8.0		
1.7	122.3	13.9	168.8	10.1	211.0	8.1		
1.8	128.6	14.0	174.8	10.3	218.0	8.3		
1.9	134.6	14.1	180.2	10.5				
2.0	140.2	14.3	189.0	10.6				
2.1	146.4	14.3	195.3	10.8				
2.2	153.5	14.3	204.0	10.8				
2.3	160.0	14.4	210.0	11.0				
2.4	166.2	14.4	212.0	11.3				
2.5	172.4	14.5	225.0	11.1				
2.6	177.3	14.7	234.0	11.1				
2.7	182.0	14.8	243.0	11.1				
2.8	188.9	14.8	250.0	11.2				
2.9	195.1	14.9						
3.0	200.0	15.0						
3.1	206.2	15.0						

3.2	214.2	14.9						
3.3	218.0	15.1						
3.4	224.8	15.1						
3.5	232.1	15.1						
3.6	240.0	15.0						

表四 鐵線氧化程度對電壓上升之影響

鐵線烤 0 分鐘		鐵線烤 2 分鐘		鐵線烤 4 分鐘		鐵線烤 6 分鐘	
溫差 〈℃〉	Pt-Fe 電壓 〈mV〉	溫差 〈℃〉	Pt-Fe 電壓 〈mV〉	溫差 〈℃〉	Pt-Fe 電壓 〈mV〉	溫差 〈℃〉	Pt-Fe 電壓 〈mV〉
28.2	0.4	16.0	0.6	23.0	0.4	5.0	0.1
33.4	0.8	21.0	1.0	28.1	0.8	10.2	0.2
38.3	1.0	26.3	1.3	33.3	2.0	15.5	0.4
43.5	1.1	31.6	1.2	38.5	2.9	30.7	0.6
48.6	1.2	36.0	1.0	43.1	3.2	35.2	0.7
58.2	1.3	41.5	1.2	48.2	2.6	50.5	0.8
73.3	1.4	46.2	1.3	53.7	2.7	55.5	0.9
78.0	1.5	51.0	1.5	58.5	2.6	60.2	1.0
88.2	1.6	56.2	1.3	63.0	2.9	65.0	1.1
93.3	1.7	66.0	1.6	68.3	3.1	70.1	1.3
98.2	1.8	71.3	1.5	73.2	3.0	75.0	1.4
103.0	1.9	76.3	1.6	78.2	3.3	85.2	1.5
108.5	2.0	81.5	1.9	83.2	3.4	95.0	1.6
113.6	2.1	86.0	1.8	88.0	3.3	100.0	1.7
123.2	2.2	101.3	1.9	93.0	3.1	105.0	1.8
128.4	2.3	106.7	2.0	98.5	3.2	115.5	1.9
133.0	2.4	111.0	2.2	103.1	3.5	120.3	2.0
138.0	2.5	116.0	2.0	108.4	2.9	125.6	2.1
143.5	2.6	121.7	2.1	113.0	3.0	130.2	2.2
153.0	2.7	131.6	2.2	118.0	2.7	135.7	2.3
158.4	2.8	136.5	2.3	123.1	3.5	144.9	2.4
168.2	2.9	141.4	2.4	128.0	3.6	149.8	2.5
178.1	3.0	146.2	2.5	133.2	3.5	155.0	2.6
183.5	3.1	151.7	2.6	138.9	2.4	160.4	2.7

188.0	3.2	161.0	2.7	143.5	2.6	170.3	2.8
193.3	3.3	166.2	2.8	148.5	2.9	175.4	2.9
203.5	3.4	176.5	2.9	158.3	3.1	180.0	3.0
		181.3	3.0	163.0	2.9	190.2	3.1
		186.1	3.1	168.0	2.7	194.9	3.2
		201.4	3.2	173.0	2.8	200.1	3.3
		206.0	3.3	178.1	3.0	205.6	3.4
		211.2	3.4	183.7	3.1		
				193.0	3.2		
				198.4	3.3		

## 評語

本實驗研究熱電效應的現象，比較新的現象是導線氧化程度對電壓上升的影響。令人困惑的是火烤 4 分鐘的結果與火烤 2 分鐘和火烤 6 分鐘的結果明顯不同，作者如能對此作更深入的探討，本實驗的研究價值會好很多。