

熱電材料

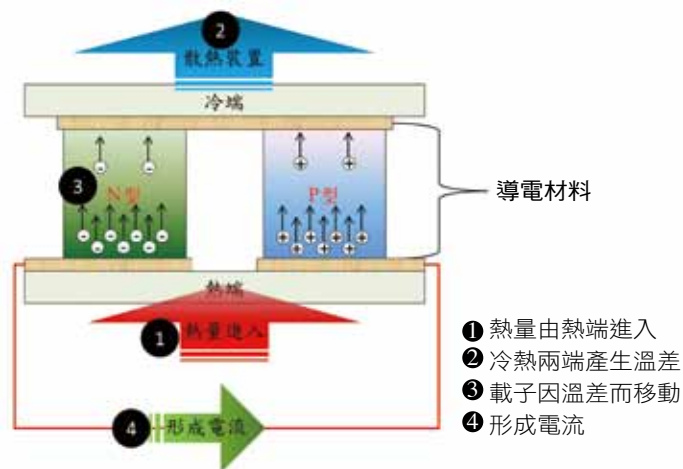
■ 黃振東、徐振庭

熱電材料是一種能夠在沒有其他特定外力或機件的協助下，使熱與電兩種不同型態的能量互相轉換的功能性半導體材料，其主要熱電轉換的模式包括發電效應和致冷效應。

熱電效應的發現

西元 1823 年，席貝克發現在銅及鉍兩種不同金屬相接合成的線路上，當兩接點之間的溫度不同時，會產生電位差而出現電流，引發磁場改變，使指南針偏轉，這就是「席貝克效應」，也是目前溫差發電的應用原理。發展至今，已開發出數十種適合做為溫差發電用途的半導體材料。

1834 年法國製表匠帕帖爾發現，在兩種不同金屬接合的線路上通入電流，其中一接點會因放熱而使溫度升高，另一接點則會因吸熱而使溫度降低，這種「帕帖爾效應」就是熱電致冷模組的工作原理。



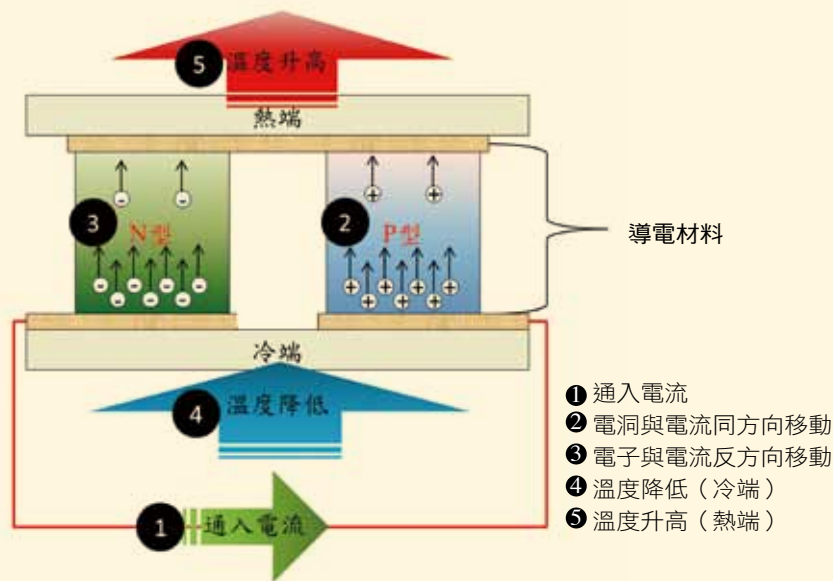
溫差發電原理示意圖

- ① 熱量由熱端進入
- ② 冷熱兩端產生溫差
- ③ 載子因溫差而移動
- ④ 形成電流

熱電發電與熱電致冷的原理

科技發展至今，數十種適合作為溫差發電用途的半導體材料已被開發出來。發電發電的原理可簡單說明如下：以 P 型半導體材料為例，在有溫差的狀態下，熱端的多數載子（電洞）有較大的機率由熱端往冷端移動，整體表現如同電流由熱端流向冷端；同理，N 型半導體上的多數載子（電子）也是一樣的狀況，當這一對 P 型及 N 型半導體材料以導電材料將其串接後，整體迴路形成電流。簡單來說：利用溫差控制電子及電洞移動的方向，進而形成電流，此即溫差發電原理。

同樣地，熱電致冷原理可簡單說明如下：當一對 P 型及 N 型熱電材料串接後，



致冷晶片原理示意圖

通入一直流電，當電流經過 P 型半導體材料時（此時電流方向朝上），其內的多數載子（電洞）移動的方向與電流同向，故 P 型半導體材料內的多數載子等效上如同往上方移動；接下來，當電流經過 N 型半導體材料時（此時電流方向朝下），其內的多數載子（電子）移動的方向與電流反向，故 N 型半導體材料內的多數載子亦等效上如同往上方移動。總而言之，通入一電流後，P 型及 N 型半導體材料內帶有能量的載子（電子及電洞）均由下往上移動，此帶有能量的載子累積在上端面，致使上端面溫度升高，即所謂的熱端；反之，帶有能量的載子（電子及電洞）均遠離下端面，致使下端面溫度降低，即所謂的冷端。簡單來說：通入一直流電控制電子及電洞移動的方向，進而形成溫差，此即熱電致冷原理。

由鑽木取火到溫差發電

原始時代人類祖先懂得靠鑽木取火，至 19 世紀科學家才發現其實靠火也可以發

電。如前所述，熱電材料是靠溫度差來發電，但由於以往熱電材料所做成的模組的熱電轉換效率較低，僅約 5%，且模組製造成本高，因此應用領域多限於軍事、航太等特定用途上。

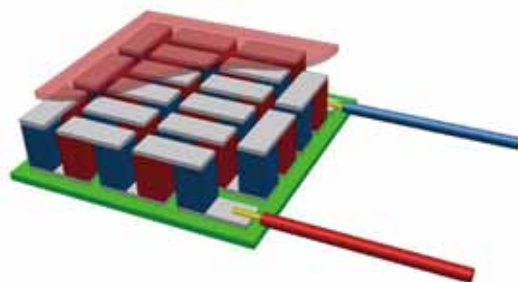
近年來由於地球暖化所造成的極端氣候變遷日益嚴重，世界主要國家無不關心節能減碳議題。從京都議定書由 36 個國家共同訂定規範約束溫室氣體的排放量，到 2009 年哥本哈根會議達成對地球暖化溫度控制在不能高於 2°C 的最大共識，揭示了節能減碳不再是個口號，而要確實付諸行動。

欲達到這一目標，則 2050 年全球 CO₂ 排放量需要比 2000 年至少削減一半以上，其成功關鍵在各國政府需增加投入的資金以支持低碳能源研發、制定更有效的能源政策、設立國家減排目標來支持哥本哈根協定。在這時空背景下，美國、日本、歐盟等先進國家都積極投入熱電發電技術的開發，由原先局限於軍事航太等用途，逐漸轉移到民生、工業等領域的廢熱回收應用。

台灣雖非京都議定書的協議國，但身為地球村的一員，對地球暖化及氣候變遷的議題不可置身事外。因此行政院已宣示全國二氧化碳排放減量目標，於 2016 年至 2020 年間須回到 2008 年的排放量（估計是 2.94 億公噸），並於 2025 年回到 2000 年排放量（2.21 億公噸）。另外，發電系統中低碳能源所占比率要由 40% 增加至 2025 年的 55% 以上。

台灣以製造起家，許多傳統產業在製造過程中需耗費大量能源及產生可觀的熱，然而這些廢熱的回收比率偏低，造成大量的能源浪費及 CO₂ 排放。熱電發電是利用溫差來發電，能 24 小時不斷地擷取廢熱，只要有溫差便能發電。而且所占空間不大，維修成本又不高，因此很適合用來回收產業界攝氏 300 度以下的中低溫廢熱來發電，恰能彌補現有廢熱回收技術的不足，是一種小而美及分散式的發電系統。

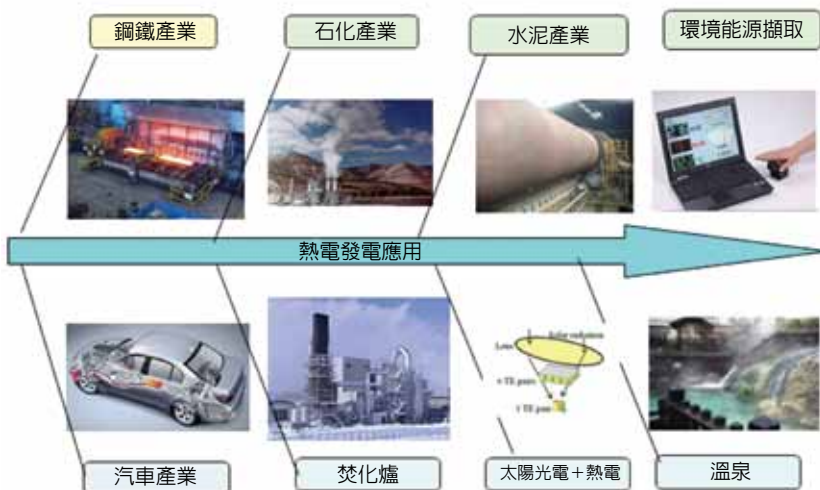
目前溫差發電模組的潛在應用甚多，可擷取包括在鋼鐵、石化、水泥等產業，或汽車、焚化爐、溫泉、太陽能等的廢熱或環境的能源發電。它的發電方式相當簡



熱電模組結構與發電示意圖

單，只要把熱電模組貼在熱源表面，像貼磁磚一樣，或使熱廢氣流經熱電模組的熱端，形成溫差後就可生電，發電系統相當輕便。國內已有部分鋼鐵廠、石化廠及水泥廠把溫差發電技術應用在工業廢熱回收上，凸顯熱電材料在節能、減碳、減廢熱等領域的貢獻。

美國各大車廠也研發了把溫差發電系統裝置於汽車排氣管做廢熱發電的應用，發電量達 500 ~ 600 瓦，可節省油耗 3 ~ 5 %。BMW 已規劃於 X5 大型休旅車上安裝這系統，目前已進入實車測試階段。



熱電發電用於工業廢熱回收的潛力

國內已有部分鋼鐵廠、石化廠及水泥廠把溫差發電技術應用在工業廢熱回收上，凸顯熱電材料在節能、減碳、減廢熱等領域的貢獻。

除此之外，熱電發電技術也能應用在民生用途上，如手表內裝熱電元件，利用體溫與環境溫度的些微差異，就可產出幾個毫瓦的電量，藉以取代手表中的電池。因此這款手表不需要電池，只要配戴在身就可以了。又如野外求生發電烤爐，於升火煮水熟食之際，利用柴火的熱能轉換成電能，其發電量約 2 ~ 5 瓦，可提供 USB、手機、GPS 定位器等電子產品即時充電，甚至能點亮 LED 燈做夜間照明及位置顯示，是野外求生的利器。

熱電發電的應用實例不勝枚舉，隨著技術不斷精進及廣為人知，許多具創意的應用陸續開發出來，確是一項值得期待的綠能科技。

由電致冷到溫度控制

由於熱電材料可使熱與電兩種能量互相轉換，除了上述溫差發電的用途外，另可應用於冷卻 / 控溫領域。溫差發電的應用是在熱電元件兩端製造溫差，就可產生電流。熱電致冷 / 溫控則是對熱電元件通入電流，使其產生熱輸送的效應，把冷端貼在欲散熱的晶片或元件上，而熱端再連接至散熱器或導熱片把熱傳出。

熱電致冷晶片的應用已有數十年歷史，在市場上有其獨特的定位，目前應用最普遍的產品包括小冰箱、化妝品保存櫃、紅酒櫃、小型冷藏櫃、防潮箱、飲水機等。

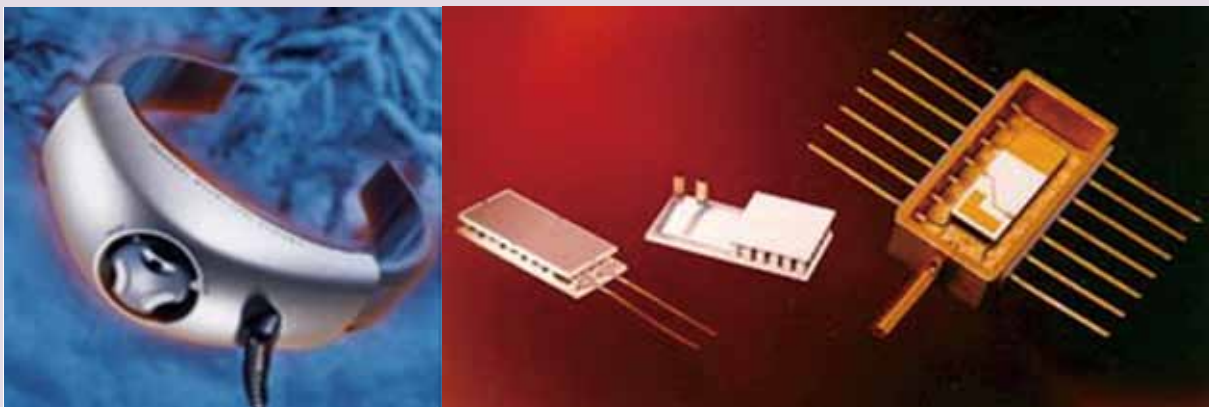
手表內裝熱電元件，利用體溫與環境溫度的些微差異，就可產出幾個毫瓦的電量，藉以取代手表中的電池。



汽車排氣管廢熱發電系統



擷取環境能量的熱電發電應用：（上）體溫發電手表、（下）野外求生發電烤爐。



致冷晶片的應用：（左）冷熱敷按摩頭套、（右）光通訊放大器中雷射二極體的控溫。

熱電致冷晶片也已應用在血液透析、神經刺激等生物醫療器材上，如冷熱敷兩用按摩頭套。

此外，在光通訊放大器中雷射二極體的控溫上也可見其形影。由於雷射二極體對於溫度穩定度要求非常敏感，若溫度有所變化，則發射的雷射光波長會隨著波動，而熱電致冷晶片可把溫度控制在 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 以內。再者，因光通訊放大器體積相當小，

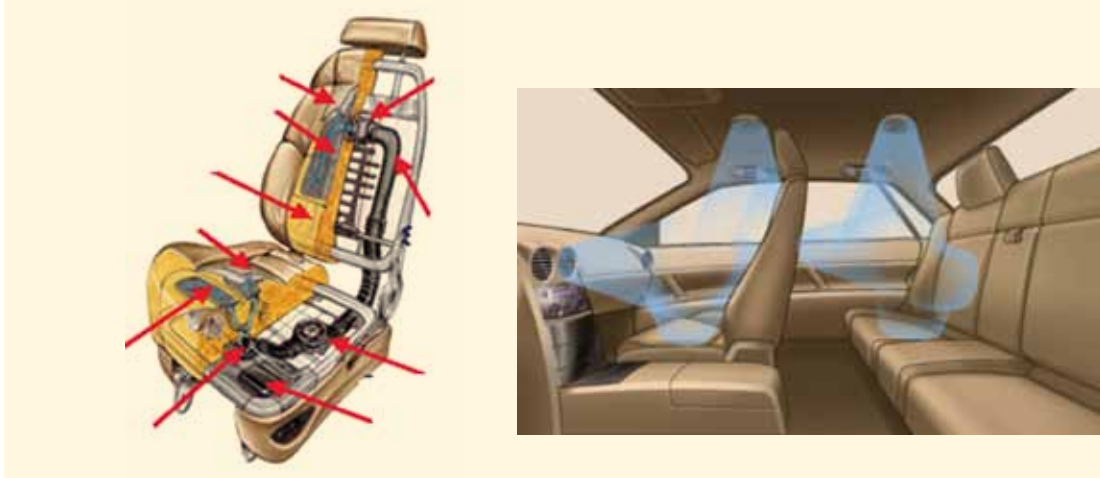
也僅熱電致冷晶片可符合這項需求。

在車用方面，美國 Amerigon 把熱電致冷晶片用在汽車椅墊上，夏天時維持椅墊在涼爽狀態而不致出汗，冬天則使致冷晶片的電流反向吹出熱風，一體兩用。國外生產的高級車駕駛椅座通常有這種配備，很得消費者喜愛。最近幾年，美國能源部也提供經費給通用汽車、福特汽車等車廠，開發熱電致冷 / 致暖的空調系統以取代傳



琳瑯滿目的熱電致冷產品

利用熱電發電技術回收工業廢熱是一值得嘗試的方向，不但可協助國內企業減少廢熱及 CO₂ 排放，還可產電節能並提升企業的環保形象。



熱電致冷晶片在汽車中的應用：（左）汽車椅座、（右）熱電空調系統

統壓縮機，其優點是不需使用冷媒，且每位乘客都有獨立的熱電空調系統，可依個人需要調整空調溫度。

熱電致冷晶片的另一主流應用是溫控裝置，很多精密量測設備及半導體設備的加熱器中都可見到它的影子，而且非它不可，這就是它獨特的地方。

本文介紹熱電技術的基本原理，以及其在溫差發電及熱電致冷的兩個應用方向。事實上，熱電應用並非只局限在上文所提及的，諸如軍用野戰、飛彈導航、太空船電源等非民生領域，熱電技術也已運用甚久，並證實確是穩定可靠的技術。目前高性能熱電材料的研究已成為國際注目的焦點，若在材料特性上能有所突破，未來在經濟價值及對節能減碳的貢獻必然不可忽視。

國內主要耗能及 CO₂ 排放大多集中於鋼鐵、石化、水泥、汽車、紡織、基本化工、造紙等傳統產業，這些產業雖已盡力進行

廢熱回收，然而仍有相當高比率的廢熱被浪費。因此利用熱電發電技術回收工業廢熱是一值得嘗試的方向，也有其發展利基，不但可協助國內企業減少廢熱及 CO₂ 排放，還可產電節能並提升企業的環保形象，一舉多得。

當然，台灣在發展熱電發電技術及應用時也會面臨許多挑戰及全球競爭，但如能在政府持續支持下，結合產學研的技術能量及人才，發揮在地優勢，應該很有機會建立這一新興的綠能產業。

黃振東、徐振庭
工業技術研究院材料與化工研究所
