

# 常溫紅外線感測器(uncooled infrared sensor)

目錄

前言-----	2
PIR 感測器:-----	6
THERMOPILE 感測器:-----	8
BOLOMETER 感測器:-----	12
結論:-----	13
參考資料-----	14

前言:

依紅外線的波長範圍和紅外線輻射源可區分為  
 近紅外線(Near Infra-red, NIR)；780~2,000nm。  
 中紅外線(Middle Infra-red, MIR)；2,000~6,000nm。  
 遠紅外線(Far Infra-red, FIR)；6,000~14,000nm。

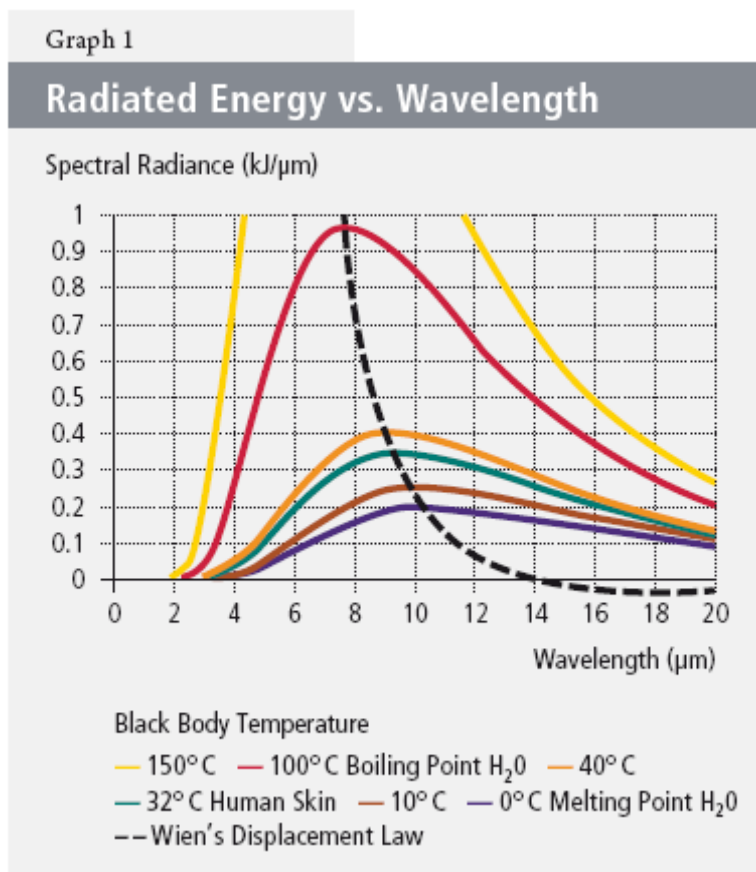
物體只要高於絕對零度(攝氏-273.15K)，即會產生黑體輻射其輻射波峰可以用下列式子表示：

$$\lambda_{\max} = 2898/T。$$

T=表示絕對溫度。

$\lambda$  = 表示波長(單位 $\mu\text{m}$ )。

我們用此公式，可以計算人體表面溫度近似  $35^{\circ}\text{C}$  or  $308\text{K}$  波峰在  $9.4\mu\text{m}$ ，從圖一我們知之知道一個發熱體  $2000\text{K}$ ，我們可能看到發可見光，一個發熱體  $500\text{K}$ ，我們不可能看到發可見光，確能感到其產生熱氣。



圖一:黑體輻射曲線，在不同溫度時產生不同曲線

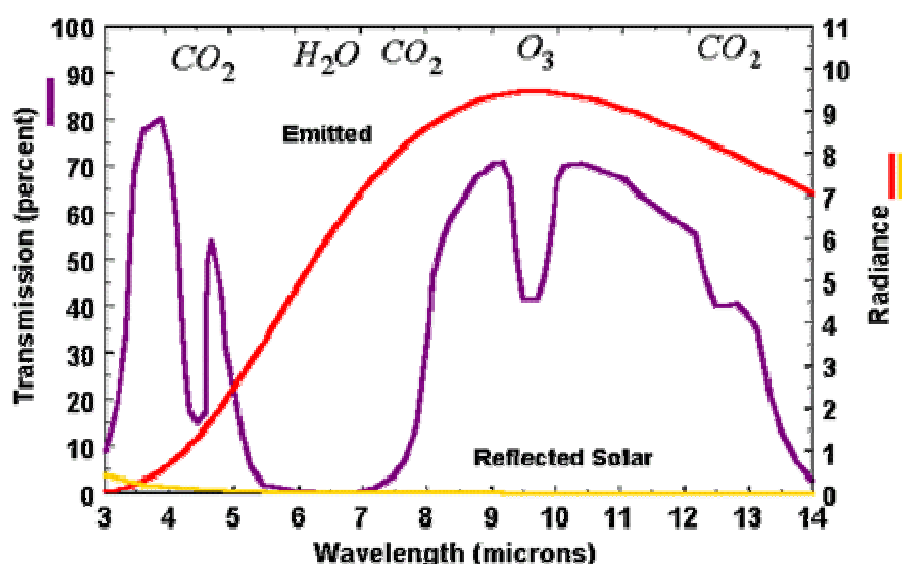
常溫紅外線感測器，目前室溫產品因壽命較不受溫度限制，主要有三種，包括電阻式的 VOx Bolometer 與壓電感應式的 BST Pyroelectric (PIR)，感應電壓金屬熱電堆方式，是一種量度溫差或熱輻射變化的裝置，感應電壓式材料 (THERMOPILE)，以下將分別介紹其特性及工作原理，在此之前先介紹光學及

波長過濾窗部分。

光學

一般在熱紅外線 (thermal infrared) 3 ~15 $\mu\text{m}$  能感之的影像系統稱為熱影像儀。在這波段內的電磁輻射主要來自物體本身熱輻射，換句話說，熱影像儀輸出的影像是物體表面各點等效溫度 (effective temperature) 的分佈狀況。大氣衰減效應在大氣層內，物體表面所發出的熱輻射在到達熱影像儀前，先要穿過大氣；所以在討論景物的熱輻射性質前我們必須瞭解大氣所造成的影響。大氣中的氣體分子和微粒如雨、雪、煙、霧等懸浮物的吸收、散射效應會衰減通過其中的紅外線。地表附近尤以水氣、二氧化碳、臭氧對紅外線輻射衰減最多。

雖然大氣透射率隨著氣候變化而異，但藉此圖二可概略的瞭解到透射與波長關係的一般情形。在圖中可看出在紅外線的範圍中有兩個高透射率的波段，稱為透射窗 (transmittance window) 分別是 3 ~5 $\mu\text{m}$  及 8 ~14 $\mu\text{m}$ 。



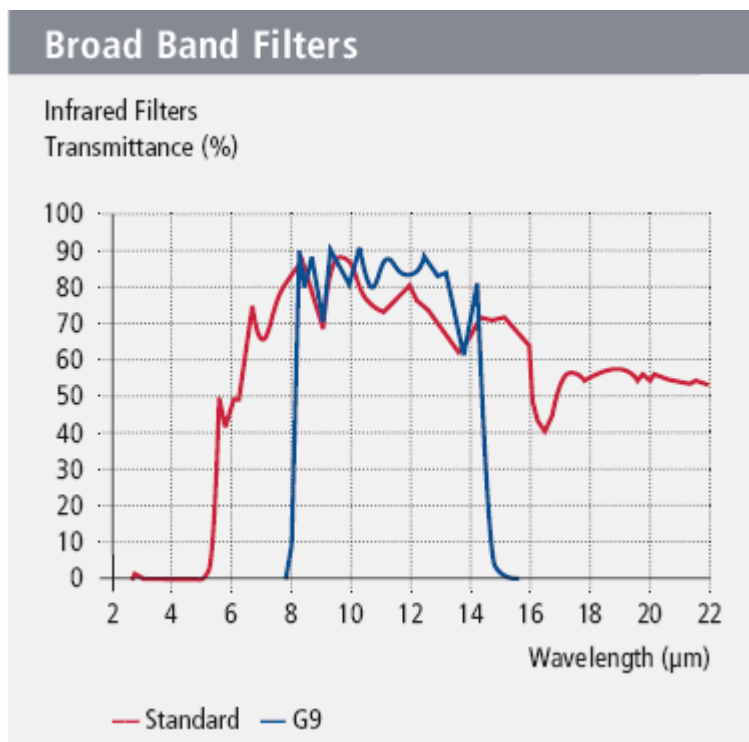
圖二:空氣紅外線透射率曲線

紅外光熱影像儀接收物體所發射出的熱輻射，熱輻射的強弱與頻率決定成像品質好壞。熱輻射的分佈可由圖一之黑體輻射(Black Body Radiation)來表示，物質所發出的光波長與溫度成反比，中心頻率  $\lambda$  位置可以簡單的  $\lambda T = \text{constant}$  來表示。溫度愈高，波長愈短，在室溫 (~27°C) 左右的環境下，熱輻射的中心波長  $\lambda$  位於 10  $\mu\text{m}$  左右，分佈範圍則從 5.5  $\mu\text{m}$  至 23  $\mu\text{m}$  左右，當溫度升高至 200°C 左右，中心波長移至 7  $\mu\text{m}$  附近。理論上使用熱像儀器來，探測處於室溫或略高於室溫之物質，熱像儀感應器材質設計只要能接收 3-12  $\mu\text{m}$  區間的紅外線，皆可產生熱影像。在實際應用上，由於 5-8  $\mu\text{m}$  是水的主要吸收帶，此區域容易受水氣的吸收干擾，因此設計上，熱像儀器只採用 3-5  $\mu\text{m}$  或 8-14  $\mu\text{m}$  兩波段來作為分析光源。

紅外光熱影像儀常用黑色代表低溫，白色代表高溫。部份應用時，為了更凸顯冷熱分佈位置，通常會將黑白畫面加以套色，稱為虛擬顏色(Pseudo Color)，將灰階中由白至黑漸層改以由紅至藍漸層，以便凸顯冷熱點位置之間差異。

可以用感測器，包括電阻式的 VOx Bolometer 與壓電感應式的 BST Pyroelectric THERMOPILE array，其中 THERMOPILE array 為低解析為主。

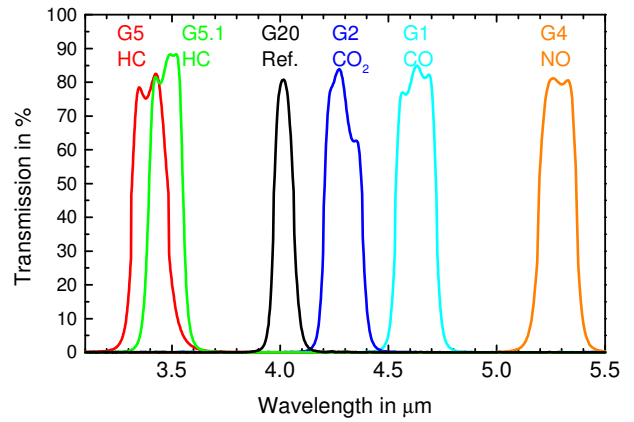
熱像儀器所配備鏡頭為能使 3-5  $\mu\text{m}$  或 8-14  $\mu\text{m}$  波段紅外線穿透的材質所研磨成的透鏡組，其中 3-5  $\mu\text{m}$  波段以矽(Si) 材質透鏡最常見，8-14  $\mu\text{m}$  則以鍺(Ge)或 ZnSe 材質最常見；視窗過濾片方面(Window filter)亦是以 Si 或 Ge 材質為主。由於進光量影響靈敏度，加上以 Si 或 Ge 為材質的紅外光穿透率相較於可見光的石英等材質並不高，以至於紅外光鏡頭多採低 F-number 設計(如 F/0.8, F/1, F/1.5, F/1.8...)來增加進光度。常溫紅外線感測器常用波段為 8-14  $\mu\text{m}$ ，透鏡也有用較便宜材料 PE OR LDPE... 等等，但其穿透率約 40~50%，常用於 PIR 或 THERMOPILE 方面。



圖三:PKI 紅外線穿透率對波長曲線。

由於不同氣體會吸收不同波長，無論 PIR 或是 THERMOPILE 其吸收波長多很寬，因此靠過濾片，可以改變吸收波長泛圍，故 PKI 基本上有設計不同 FILTER 來滿足客戶量測各種氣體及冷煤需求，參考圖四。

Narrow Band Filters			
Filter Type	Application	CWL $\mu\text{m}$	HPB nm
G1	CO	4.64	180
G2	CO <sub>2</sub>	4.26	180
G2.2	CO <sub>2</sub>	4.43	60
G2.5	CO <sub>2</sub>	4.33	160
G2.6	N <sub>2</sub> O	4.53	85
G3	CO+CO <sub>2</sub>	4.48	4.79
G4	NO	5.3	180
G5	HC	3.35-3.4	190
G5.1	HC	3.46	163
G5.2	HC	3.28-3.31	160
G5.3	HC	3.09	160
G5.5	HC	3.32-3.34	160
G5.6	HC	3.42-3.451	160
G5.7	HC	3.30-3.32	160
G5.9	HC	3.375-3.4	190
G7.1	FREON R12	11.3	200
G7.2	FREON R134a	10.27	210
G7.3		12.4	180
G20	Reference	3.95	90



圖四:PKI 偵測不同氣體用不同過濾片一覽。

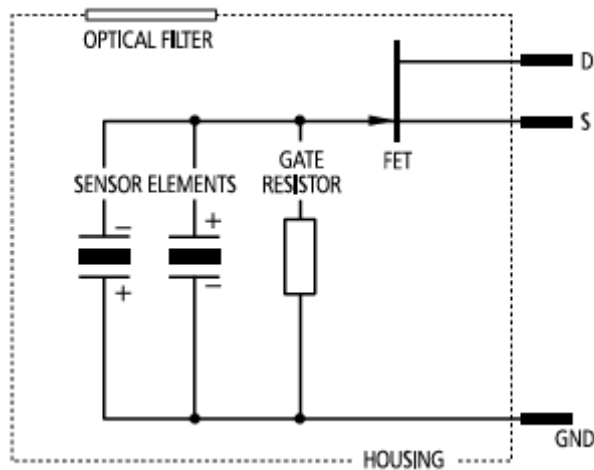
	Responsivity (V/W)	D* (cmHz <sup>1/2</sup> /W)	Thermal Time Constant (msec)
VO <sub>x</sub> [1]	250x10 <sup>3</sup>	0.5 x10 <sup>9</sup>	20
SiC[2]	4.8x10 <sup>3</sup>	0.8 x10 <sup>9</sup>	Not Available
Poly SiGe[3]	28x10 <sup>3</sup>	2.26x10 <sup>9</sup>	7.8
Metal (Pt)[4]	1x10 <sup>3</sup>	0.05x10 <sup>9</sup>	3
N-well*	0.625 x10 <sup>3</sup>	0.42 x10 <sup>9</sup>	0.6
N-well**	4x10 <sup>3</sup>	1.2x10 <sup>9</sup>	3.2

圖五:紅外線常用材料特性。

紅外線常用材質如圖五，包括電阻式的 VO<sub>x</sub> Bolometer 與壓電感應式的 BST Pyroelectric 為主，PZT 壓電陶瓷(鉛鈦酸系材料)。

材料不一樣，讀出訊號方式也不同，基本上要將訊號轉換成電壓，以利後面 A/D or 放大器處理，Responsivity 決定材料訊號大小，下列將介紹各種材料原理及工作方式。

## PIR 感測器:



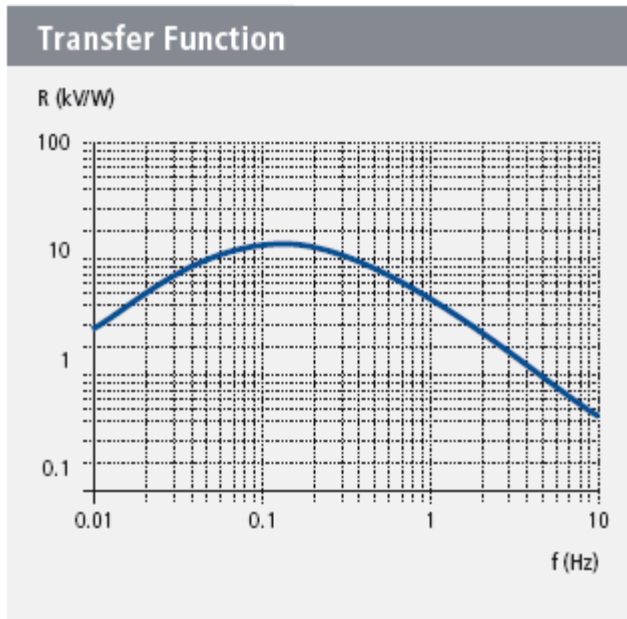
圖六:PIR 內部結構。

PIR 此人體紅外線感測器是以 TGG (三甘氨酸硫酸鹽或) PZT (汰酸系壓電材料) 等強介質所作成的紅外光感測器，電源工作電壓為 3~15VDC，使用溫度範圍在 -10°C ~ +50°C，源極的輸出信號極小，但相對 THERMOPILE 算很大，一般需要接源極到地電阻，約 10k~47k.歐姆之間，僅有數 mV 到數十 mV，能接受所有熱體所輻射出來的紅外線 (包括人體)，其訊號特性如同子彈射入砂堆內，產生大訊號，接著不久即消失，除非重復產生訊號。

PIR SENSOR ELEMENT 需求至少兩片或更多，因為 PIR 對振動也會感測到訊號，因此用兩片對接，可以降低振動感測訊號，約降低振動訊號 100~1000 倍，對於焦電材料電阻大於  $10^{12}$  歐姆，因此 1/f 雜訊相當大，1/f 又是 PIR 主要雜訊，其雜訊公式如下。

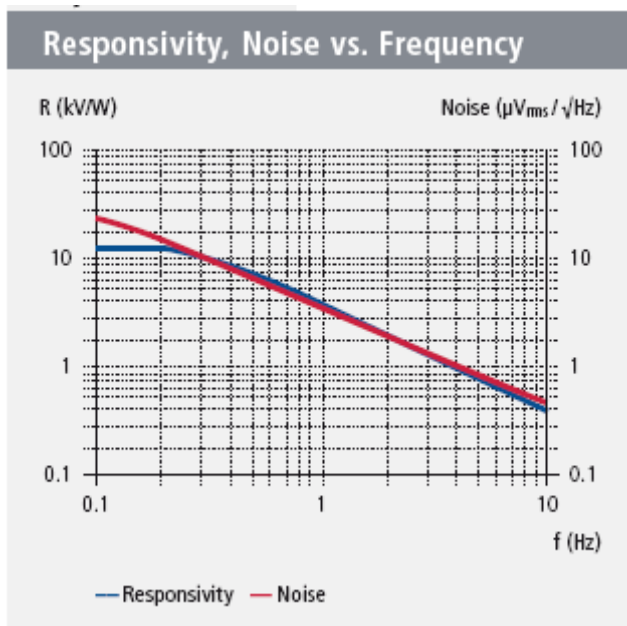
PIR 雜訊 
$$e_J = \sqrt{4kTR} \text{ (V}/\sqrt{\text{Hz}})$$

顯然雜訊與電阻開根號成正比，故需要並聯一個約  $10^9$  歐姆電阻(GATE 電阻)，以降低 PIR SENSOR 的雜訊。而 PIR 的紅外線感測器，能感測到這類紅外線的變化，當人體經過感測器時，感測器會產生一個微小的信號變化，經過 OP 放大器放大後，有足夠大訊號，再經處理判斷訊號。



圖六:PIR 對頻率響應。

PIR 材料特性工作頻率很低，故電子訊號放大設定在頻率 0.2Hz 到 10Hz 之間，理論上希望能偵測跑百米速度最快人到走路最慢人之間的訊號，我們需要加 LENS 做空間補償，增加 PIR 感測能力。



圖七:PIR 對頻率響應及雜訊比較。

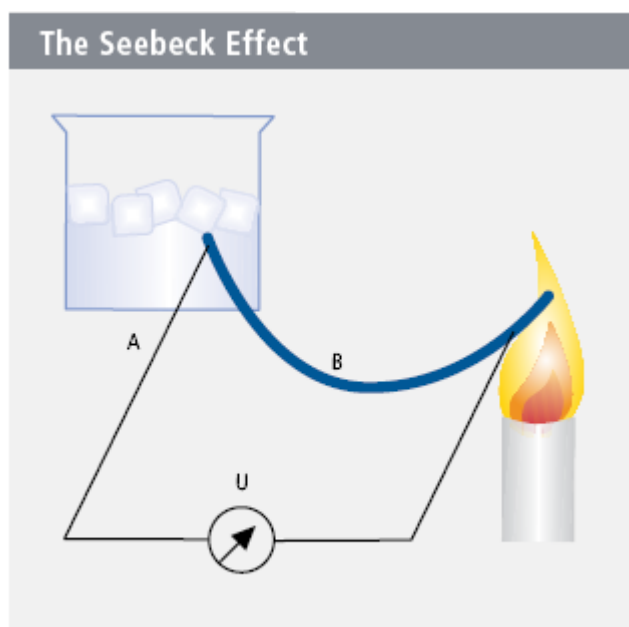
從圖七知道  $1/f$  隨工作頻率減少，而雜訊增加，因此工作電路，需要限制最低工作頻率。

THERMOPILE 感測器:

氣體	0.008 – 0.6	空氣 0.0257 (at 20°C)
液體	0.09 – 0.7	水 0.594 (at 20°C)
固體	0.3 – 419	銀 419, 銅 386, 金 311 (at 20°C)

圖八:各項物體對熱傳導能力，明顯固體大於液體，液體大於汽體。

THERMOPILE:

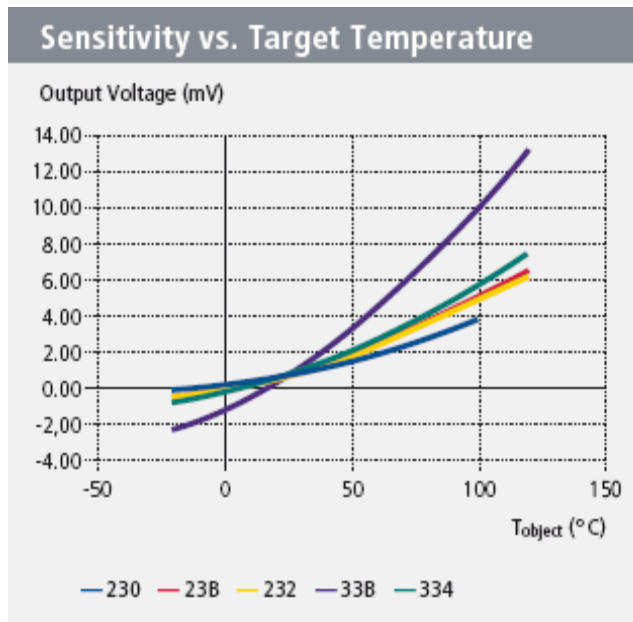


圖九:金屬兩端冷熱不同，會產生電壓差。

1823 年，Seebeck 發現由兩種不同金屬接合成的線路上，若兩接點間有溫差時，即會產生電位差。這個現象即是熱電偶 (thermal couples) 測量溫度梯度及熱電產生器(thermoelectric generator) 之工作原理。由於一般材料的熱電效率低，不能引起科學家廣泛的興趣，熱電現象這個領域幾乎停滯不前。製造熱電產生器或熱電偶致冷器的材料稱為熱電材料 (thermoelectric materials)，是一種將電能與熱能交互轉變的材料，THERMOPILE 即用此材料特性做成。

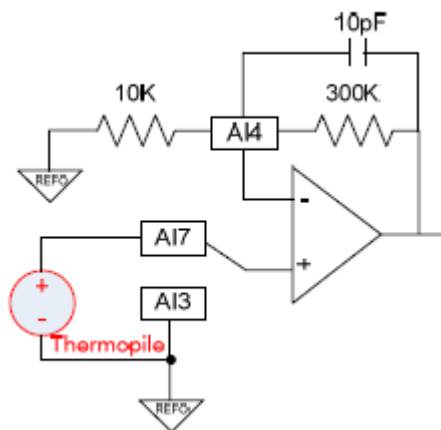
THERMOPILE 與 BOLOMETER 多採用空中懸浮板方式感測訊號，以避免熱能散失太快，參考圖八，THERMOPILE 因材料用金屬感測訊號，產生電壓訊號非常小但其雜訊很低，故 S/N 訊號比 PIR 好。





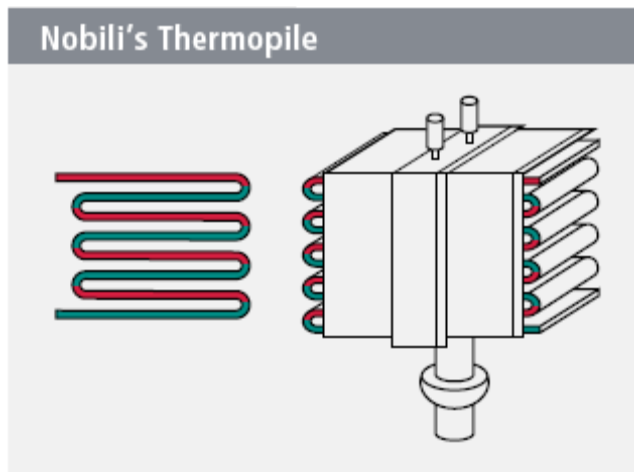
圖九:上圖為 THERMOPILE 對溫度變化，會產生電壓差，其相對 PIR 訊號小很多。

THERMOPILE 用放大讀取訊號，OP 需要選取具有 LOW OFFSET，LOW NOISE 的放大器，否則微小訊號將被 OP OFFSET 吃掉，量不到訊號，後極放大也無法處理。



圖十:THERMOPILE 放大電路

熱電偶堆，一種量度溫差或熱輻射變化的裝置，熱電偶堆通常是由數十個~數百個熱電偶接點串連而成，運用微機電技術把它們置於一個透鏡之下。如此入射的紅外線不同時，溫度也不同。將於各熱電偶接點產生不同的熱電效應，而得到不同的電壓。又因為是一連串的电壓相加，使得熱電偶堆感應輸出電壓，的靈敏度可得以提升。



圖十一：熱電偶堆的內部結構

熱電偶堆的內部結構如圖十一所示。主要是由薄膜空中懸浮板、紅外線吸收層和數十對串聯在一起的熱電偶所構成。其中薄膜懸浮板是由一層極薄的材料所構成的懸浮結構，它具有極高的熱阻抗用以避免熱能過度的散失。在懸浮板區的中心會被鍍上一層遠紅外線物體放射率高吸收層(IR Absorber)，當紅外線輻射進入元件時，會使得此一區域的溫度上升，導致在元件的浮板中心區(Hot Junction)與元件邊緣區(Cold Junction)產生溫度差，此溫度差將使得熱電偶堆元件產生電壓輸出。

輸出小電壓，其電壓值由目標物溫度及Thermopile所在環境溫度決定參考圖十二。建議解析度 $0.05^{\circ}\text{C}$ 的精準度。使用於環境溫度 $25^{\circ}\text{C}$ 校正時絕對誤差在 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 內。其為半導體材料製作而成的感測器，故容易受溫度而影響其測量數值。良好的IR Sensor 其Thermopile 的數學模式如下：

$$V_{out} = K \times [(T_t + 273.13)^4 - (T_a + 273.13)^4]$$

$V_{out}$  : Thermopile 輸出電壓

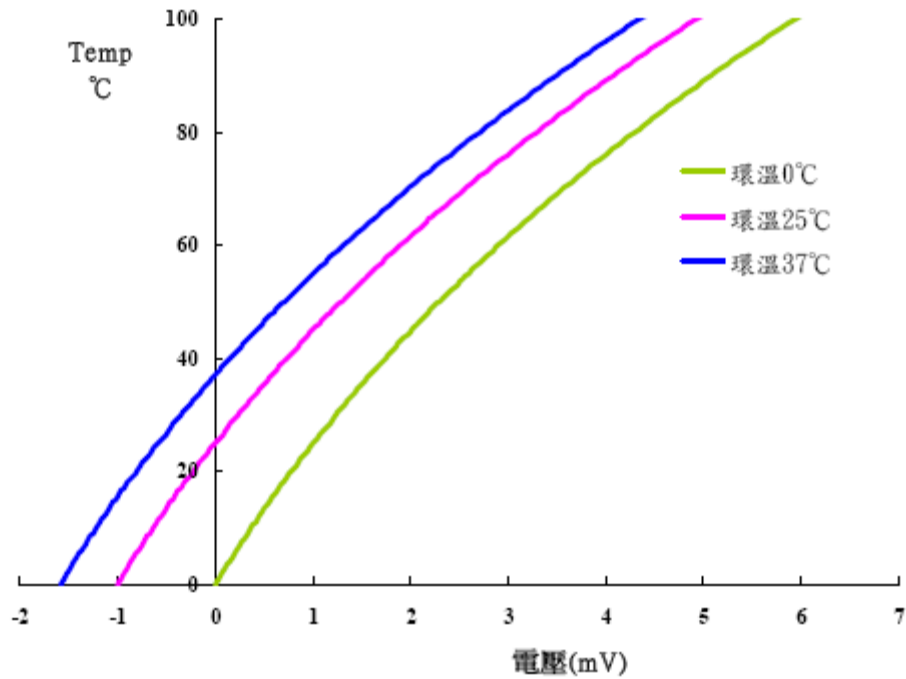
$K$  : Sensitivity of Thermopile

$T_t$  : Target Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_a$  : Ambient Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )

Thermopile 量到相對溫度，我們要量絕對溫度，故需要室溫參考感測器 Thermistor，輸出訊號為目標物溫度與環境溫度差，因此用 Thermistor 量測環境溫度，即可計算量測目標物溫度，Thermistor 量測環境溫度，因為曲線溫度對電阻有非線性關係，常用查表方式算出，生產廠商會提供數值。輸出訊號與機構、lens 散熱系統有關，可以由  $K$  值得到校正。

Thermopile 量人體溫度時，耳膜溫度最不易受到外在環境影響，下視丘是控制人體溫度的中樞，它位置接近耳膜，從耳膜測溫度是最早也是最準確方式。



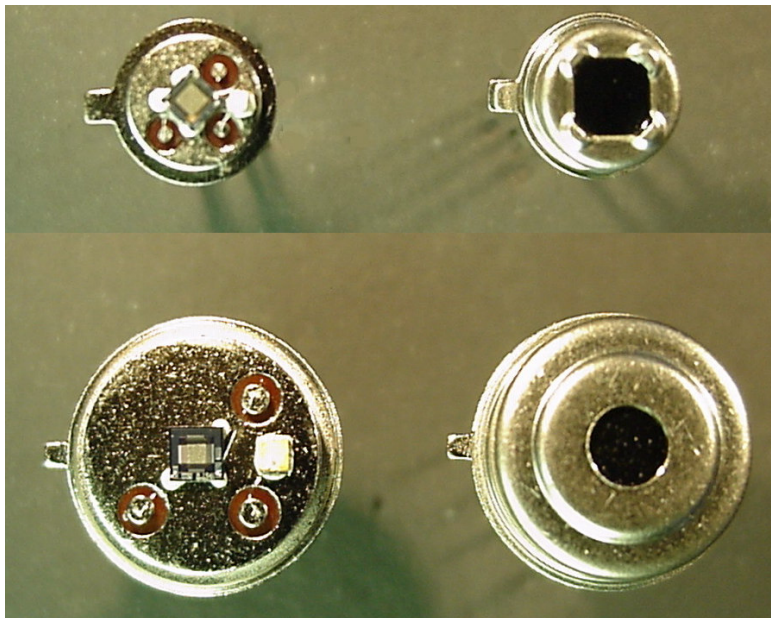
圖十二:THERMOPILE 目標物訊號電壓與溫度曲線

好的 THERMOPILE 會有以下兩個特性

目前溫度與環境溫度相同時，輸出訊號為零( $V_{out}=0$ )。

$K$  為常數，不隨環境溫度改變。

PKI THERMOPILE SENSOR 上圖為 TPS333，下圖為 TPS334。



Thermistor :

隨其所在之溫度改變而有電阻變化(圖十三)，用來監視IR sensor內部溫度。在此亦稱之為量測時的環境溫度。建議測量誤差及重複性 $< 0.05^{\circ}\text{C}$ 。

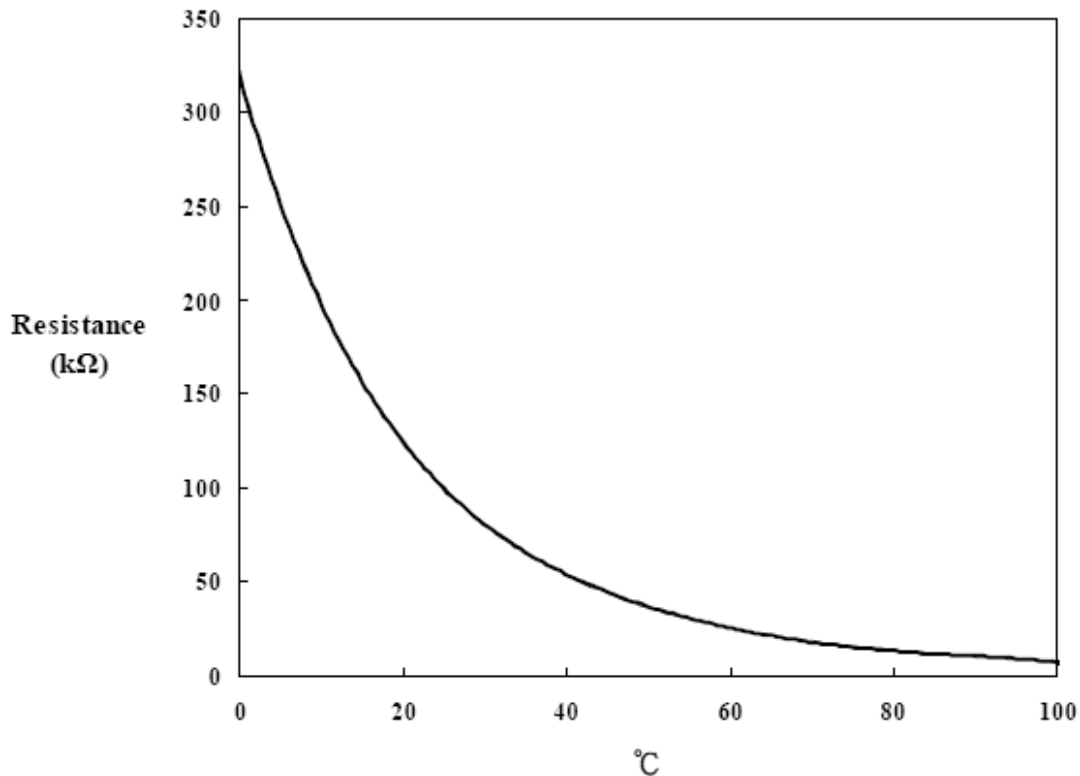
Thermistor 的數學模式如下

$$R_{th}(T) = R_{25} \times e^{\{B \times [(\frac{1}{T+273.13}) - (\frac{1}{25+273.13})]\}} \dots\dots\dots \text{公式(2)}$$

$R_{th}(T)$  : Thermistor 變化電阻值

B : Sensitivity of Thermistor

$R_{25}$  : 25°C 電阻值



圖十三:Thermistor 電阻與溫度曲線關係

**BOLOMETER:**

BOLOMETER 與 THERMOPILE 同樣以懸浮板量測訊號，BOLOMETER 以 ARRAY 方式量測溫度，SENSOR 面積比 THERMOPILE 小很多，因此用同樣材料時訊號將會非常小，因此選用 SENSOR 材料感度要比 THERMOPILE 高很多，電阻式的 VOx Bolometer 參考圖五，所以訊號小很多，但因電阻式變化，電阻不可能為零，故需要橋式放大電路法量測訊號，故設計時需求 DIMMER 電阻存在。

SENSOR ARRAY 包括電阻式的 VOx Bolometer 與壓電感應式的 BST Pyroelectric 為主。

利用 MEMS 技術發展熱阻式熱像元件，作為室溫熱像儀的焦面感測陣列，進行紅外線輻射的光電信號轉換，其信號的讀取與驅動，以及時脈與顯示的控制技術，皆有別於目前需低溫冷卻的量子式元件，可達價廉、輕便（可攜式）及智

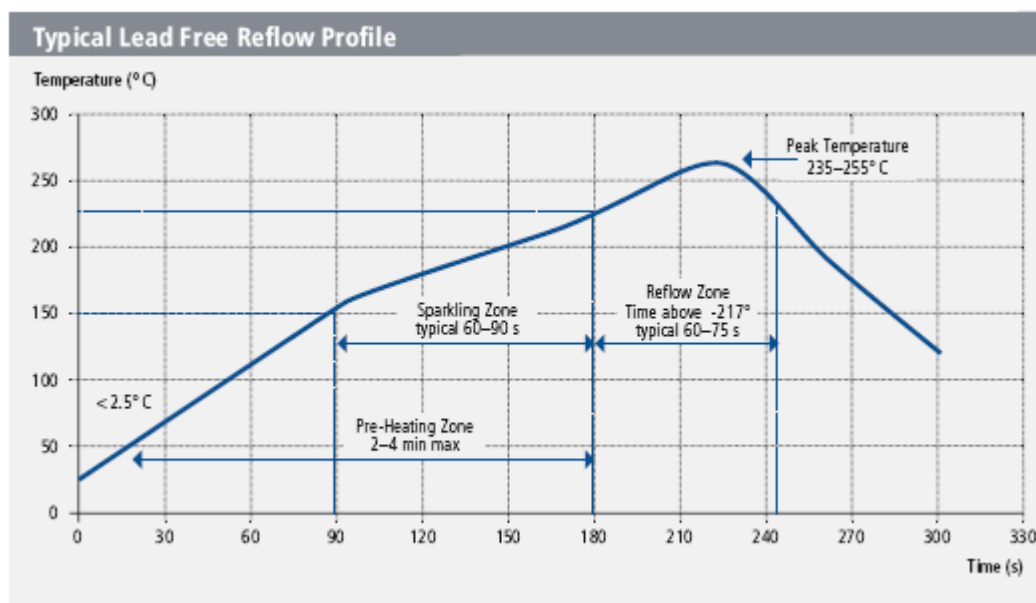
慧化的效用，並帶動紅外線應用市場的發展。

SENSOR 材料不同特性也會有很大差異，性能如下

- bolometer sensor VOX 為 1/f noise 較高的材料，但 TCR 有 2%，S/N 比較中等，比較不容易做溫度補償，需要較好 TE cooler。
- bolometer sensor n well 為 1/f noise 較低的材料，但 TCR 有 0.56%，S/N 比較高，比較容易做溫度補償。
- bolometer sensor germanium 為 1/f noise 較低的材料，但 TCR 有 2%，S/N 比較最好，製程較難，比較不容易做溫度補償，需要較好 TE cooler。
- bolometer sensor 白金為 1/f noise 較低的材料，但 TCR 有 0.18%，S/N 比較最好，但訊號太小，不容易被外界讀取，讀取電路最重要。

結論：

這裡討論中紅外線與遠紅外線常溫環境工作產品，由於材料不同用途也不同，讀取訊號方式也不同，PIR 與 THERMOPILE 使用單一元件較多，之前多是類比式，最近有些數位式上市，適合需要體積小產品，或設計要求省開發時間產品，THERMOPILE ARRAY 目前有使用低點數 ARRAY，客戶認為點數 16\*16 OR 32\*32 較有市場，BOLOMETER 國內外開發很久，BOLOMETER ARRAY SENSOR 目前以法國商業化最成熟。



圖十四:PKI 產品過紅外線曲線圖

參考資料:

[1] PerkinElmer “INFRARED SENSING TECHNOLOGIES-FOR A HEALTHIER,CLEANER AND SAFER TOMORROW” , SECTION 1 , page 7~11,2008 。

[2] EXCELITAS “Infrared Sensing For Secure Homes, Healthier Families and Energy Savings”, SECTION 1 , page 7~11,2010 。