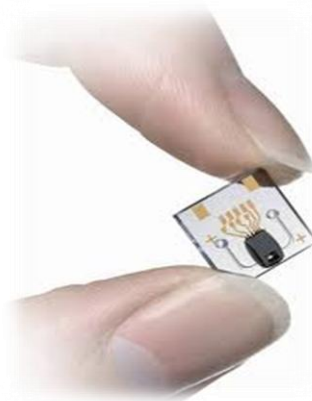


Bài giảng Kỹ Thuật Cảm Biến (sensors)

Hoang Si Hong

-----2011-----

**Faculty of Electrical Eng., Hanoi Univ. of Science and Technology (HUST),
Hanoi, VietNam**





Nguồn tham khảo

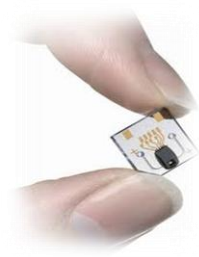
Note: Bài giảng môn học này được tham khảo, trích dẫn và lược dịch từ các nguồn sau:

✓ Sách

- Kỹ thuật đo lường các đại lượng điện tập 1, 2- Phạm Thượng Hàn, Nguyễn Trọng Quế....
- Các bộ cảm biến trong đo lường-Lê Văn Doanh...
- Các bộ cảm biến-Nguyễn Tăng Phô
- Đo lường điện và các bộ cảm biến: Ng.V.Hoà và [Hoàng Sĩ Hồng](#)
- Sensor technology handbook (edited by JON WILSON)
- Elements of Electronic Instrumentation and Measurement (Prentice-Hall Company)
- Sách giải thích đơn vị đo lường hợp pháp của Việt Nam

✓ Bài giảng và website:

- Bài giảng kỹ thuật cảm biến-[Hoàng Sĩ Hồng-BKHN\(2005\)](#)
- Bài giảng Cảm biến và kỹ thuật đo:P.T.N.Yến, Ng.T.L.Hương –BKHN (2010)
- Bài giảng MEMs ITIMS – BKHN
- Một số bài giảng về cảm biến và đo lường từ các trường đại học KT khác ở Việt Nam
- Website: sciendirect/sensors and actuators A and B



Nội dung môn học và mục đích

Nội dung

- Chapter 1: Khái niệm chung về Cảm biến (2b)
- Chapter 2: Cảm biến điện trở (2b)
- Chương 3: **Cảm biến đo nhiệt độ (2b)**
- Chương 4: Cảm biến quang (2b)
- Chương 5: Cảm biến tĩnh điện (2b)
- Chương 6: Cảm biến Hall và hoá điện
- Chương 6: Cảm biến và PLC(1b)

Mục đích: nắm được cấu tạo, nguyên lý hoạt động và ứng dụng của các loại cảm biến thông dụng trong công nghiệp và đời sống. Nắm được xu thế phát triển chung của công nghệ cảm biến trên thế giới.



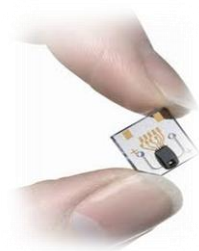
Chương 3: Cảm biến đo nhiệt độ

Nội dung

- Khái niệm chung
- Nhiệt kế giãn nở
- Cảm biến cặp nhiệt điện (Thermocouple)
- Cảm biến nhiệt điện trở (RTD)
- Cảm biến nhiệt độ dựa trên tính chất của diot và tranzito
- Hoả kế
- Surface acoustic wave (SAW) và dao động thạch anh



Bao nhiêu độ ?



Khái niệm

Nhiệt độ là một trong số những đại lượng có ảnh hưởng rất lớn đến tính chất vật chất. Bởi vậy trong nghiên cứu khoa học, trong công nghiệp cũng như trong đời sống hàng ngày việc đo nhiệt độ là rất cần thiết. Tuy nhiên việc xác định chính xác một nhiệt độ là một vấn đề không đơn giản. Đa số các đại lượng vật lý đều có thể xác định trực tiếp nhờ so sánh chúng với một đại lượng cùng bản chất. Nhiệt độ là đại lượng chỉ có thể đo gián tiếp dựa vào sự phụ thuộc của tính chất vật liệu vào nhiệt độ

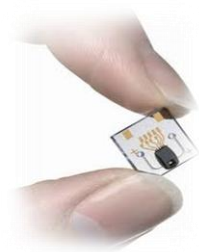
Thang Kelvin (Thomson Kelvin - 1852): Thang nhiệt độ động học tuyệt đối, đơn vị nhiệt độ là K. Trong thang đo này người ta gán cho nhiệt độ của điểm cân bằng ba trạng thái nước - nước đá - hơi một giá trị số bằng 273,15 K.

Thang Celsius (Andreas Celsius - 1742): Thang nhiệt độ bách phân, đơn vị nhiệt độ là °C và một độ Celsius bằng một độ Kelvin.

Nhiệt độ Celsius xác định qua nhiệt độ Kelvin theo biểu thức:

$$T(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15 \quad (3.3)$$

Thang Fahrenheit (Fahrenheit - 1706): Đơn vị nhiệt độ là °F. Trong thang đo này, nhiệt độ của điểm nước đá tan là 32°F và điểm nước sôi là 212°F.



Khái niệm

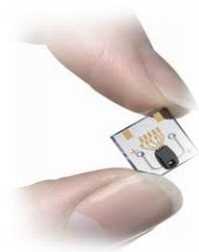
Bảng 3.1

Nhiệt độ	Kelvin (K)	Celsius (°C)	Fahrenheit (°F)
Điểm 0 tuyệt đối	0	-273,15	-459,67
Hỗn hợp nước - nước đá	273,15	0	32
Cân bằng nước - nước đá - hơi	273,16	0,01	32,018
Nước sôi	373,15	100	212



DHT-1





Nhiệt kế giãn nở dùng chất rắn

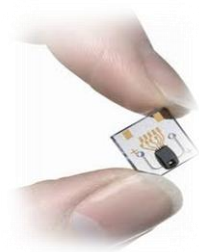


Nguyên lý hoạt động của nhiệt kế giãn nở dựa vào sự giãn nở của vật liệu khi tăng nhiệt độ. Nhiệt kế loại này có ưu điểm kết cấu đơn giản, dễ chế tạo.



Hình 3.2 Nhiệt kế giãn nở
a) Nhiệt kế gốm - kim loại b) Nhiệt kế kim loại - kim loại

- Nhiệt kế gốm - kim loại(Dilatomet): gồm một thanh gốm (1) đặt trong ống kim loại (2), một đầu thanh gốm liên kết với ống kim loại, còn đầu A nối với hệ thống truyền động tới bộ phận chỉ thị. Hệ số giãn nở nhiệt của kim loại và của gốm là α_k và α_g . Do $\alpha_k > \alpha_g$, khi nhiệt độ tăng một lượng dt , thanh kim loại giãn thêm một lượng dl_k , thanh gốm giãn thêm dl_g với $dl_k > dl_g$, làm cho thanh gốm dịch sang phải. Dịch chuyển của thanh gốm phụ thuộc $dl_k - dl_g$ do đó phụ thuộc nhiệt độ.

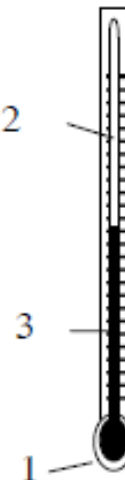


Nhiệt kế giãn nở dùng chất lỏng

Nhiệt kế gồm bình nhiệt (1), ống mao dẫn (2) và chất lỏng (3). Chất lỏng sử dụng thường dùng là thủy ngân có hệ số giãn nở nhiệt $\alpha = 18.10^{-5}/^{\circ}\text{C}$, vỏ nhiệt kế bằng thủy tinh có $\alpha = 2.10^{-5}/^{\circ}\text{C}$.

Khi đo nhiệt độ, bình nhiệt được đặt tiếp xúc với môi trường đo. Khi nhiệt độ tăng, chất lỏng giãn nở và dâng lên trong ống mao dẫn. Thang đo được chia độ trên vỏ theo dọc ống mao dẫn.

Dải nhiệt độ làm việc từ $- 50 \div 600^{\circ}\text{C}$ tùy theo vật liệu chế tạo vỏ bọc.



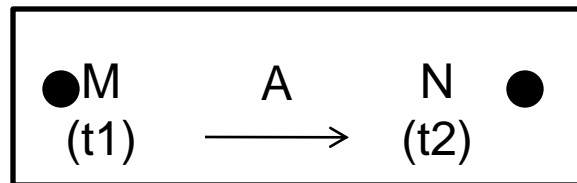
Hình 3.3 Nhiệt kế giãn nở dùng chất lỏng



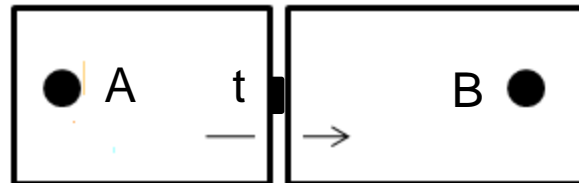
Cảm biến cặp nhiệt điện

Nguyên lý:

- **Hiệu ứng thomson:** với vật liệu đồng nhất A, trên nó có hai điểm phân biệt khác nhau là M và N có nhiệt độ tương ứng là t_1 và t_2 , thì giữa chúng sẽ xuất hiện một suất điện động $e_{mn} =$ tích phân (từ $t_1 \rightarrow t_2$) của δt , trong đó δ là hệ số vật liệu thomson cho trước



- **Hiệu ứng Peltier:** hai vật liệu A và B khác nhau tiếp xúc với nhau tại một điểm nào đó thì xuất hiện một suất điện động $e_{AB}(t)$





Cảm biến cặp nhiệt điện

Nguyên lý:

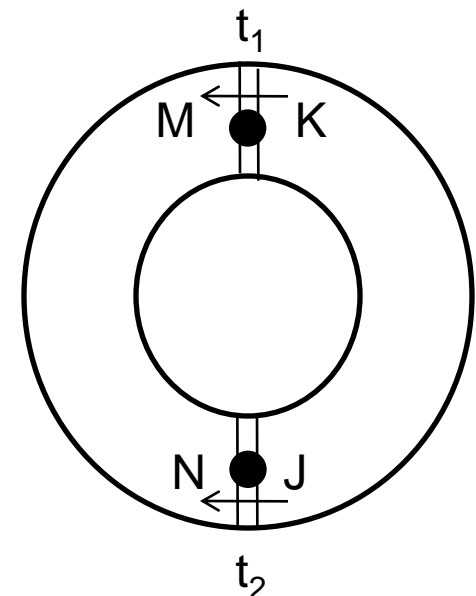
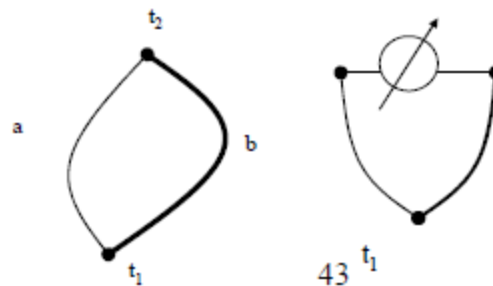
- **Hiệu ứng seebeck**: kết hợp hai hiệu ứng nói trên \rightarrow xuất hiện suất điện động nhiệt điện $e_T(t)$ = tích phân từ t_1 đến t_2 của $(\delta_A - \delta_B) dt + e_{KM}(t) - e_{JN}(t)$
- Trong đó δ_A, δ_B là hệ số vật liệu thomson của hai vật liệu A, B tương ứng. $t_1 < t_2$ là nhiệt độ tương ứng tại hai điểm khác nhau.
- Nếu giữ nhiệt độ một đầu không đổi bằng không độ C (0°C) (nhiệt độ đầu tự do) thì xuất hiện suất điện động ra một chiều ở đầu còn lại (đầu làm việc, nhiệt độ t) tỉ lệ với nhiệt độ : $E_T(t) = f(t)$

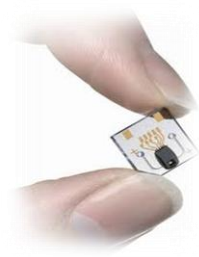
$$E_T = K_T (t_n - t_{td})$$

Trong đó: K_T - hệ số hiệu ứng nhiệt điện

t_n - nhiệt độ đầu nóng

t_{td} - nhiệt độ đầu tự do

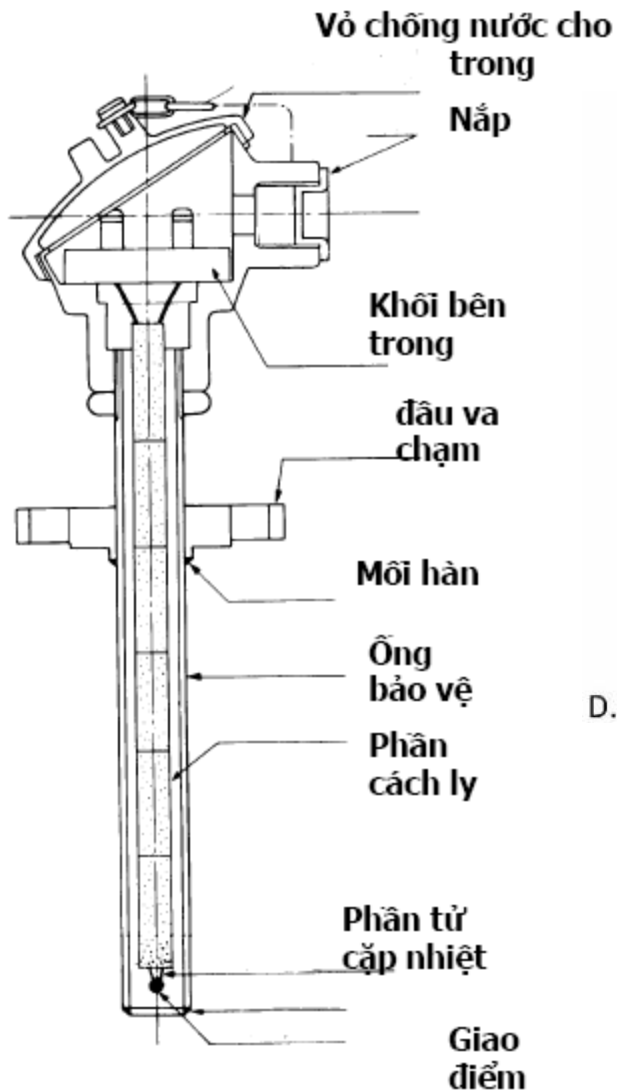




Vật liệu chế tạo

- Sức điện động đủ lớn (để dễ dàng chế tạo dụng cụ đo thứ cấp).
- Có đủ độ bền cơ học và hoá học ở nhiệt độ làm việc.
- Dễ kéo sợi.
- Có khả năng thay lẫn.
- Giá thành rẻ.
- *Cặp Platin - Rodi/Platin:*
- *Cặp nhiệt Chromel/Alumel:*
- *Cặp nhiệt Chromel/Coben:*
- *Cặp nhiệt Đồng/Coben:*

Cấu tạo



A. Bare thermocouple twisted and welded

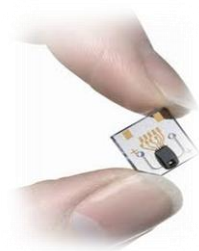
B. Thermocouple wires on a plastic tubular carrier

C. Insulated thermocouple twisted and welded

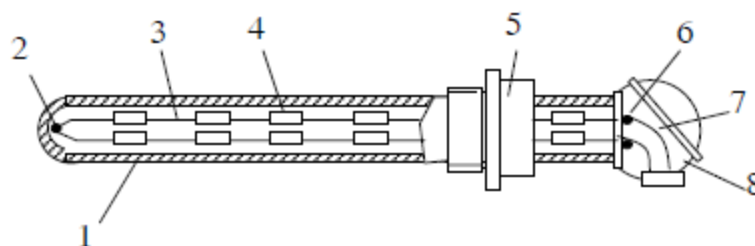
D. Butt-welded thermocouple with fish-spine insulator

(hàn điểm và cách ly hình vây cá)





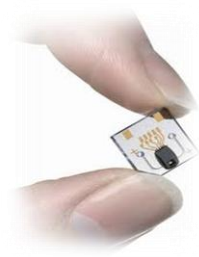
Cấu tạo



Hình 3.12 Cấu tạo cấp nhiệt

- 1) Vỏ bảo vệ 2) Mối hàn 3) Dây điện cực 4) Sứ cách điện
5) Bộ phận lắp đặt 6) Vít nối dây 7) Dây nối 8) Đầu nối dây

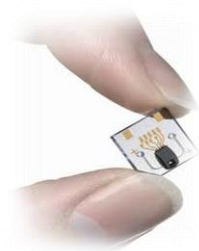
Đầu làm việc của các điện cực (3) được hàn nối với nhau bằng hàn vảy, hàn khí hoặc hàn bằng tia điện tử. Đầu tự do nối với dây nối (7) tới dụng cụ đo nhờ các vít nối (6) dây đặt trong đầu nối dây (8). Để cách ly các điện cực người ta dùng các ống sứ cách điện (4), sứ cách điện phải trơ về hoá học và đủ độ bền cơ và nhiệt ở nhiệt độ làm việc. Để bảo vệ các điện cực, các cấp nhiệt có vỏ bảo vệ (1) làm bằng sứ chịu nhiệt hoặc thép chịu nhiệt. Hệ thống vỏ bảo vệ phải có nhiệt dung đủ nhỏ để giảm bớt quán tính nhiệt và vật liệu chế tạo vỏ phải có độ dẫn nhiệt không quá nhỏ nhưng cũng không được quá lớn. Trường hợp vỏ bằng thép mối hàn ở đầu làm việc có thể tiếp xúc với vỏ để giảm thời gian hồi đáp.



Chủng loại

Table A.10. Characteristics of Thermocouple Types

Junction Materials	Sensitivity (at 25°C) ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)	Temperature Range ($^\circ\text{C}$)	Applications	Designation
Copper/constantan	40.9	−270 to 600	Oxidation, reducing, inert, vacuum; preferred below 0°C; moisture resistant	T
Iron/constantan	51.7	−270 to 1000	Reducing and inert atmosphere; avoid oxidation and moisture	J
Chromel/alumel	40.6	−270 to 1300	Oxidation and inert atmospheres	K
Chromel/constantan	60.9	−200 to 1000		E
Pt (10%)/Rh–Pt	6.0	0 to 1550	Oxidation and inert atmospheres; avoid reducing atmosphere and metallic vapors	S
Pt (13%)/Rh–Pt	6.0	0 to 1600	Oxidation and inert atmospheres; avoid reducing atmosphere and metallic vapors	R
Silver–Paladium	10.0	200 to 600		
Constantan–tungsten	42.1	0 to 800		
Silicon–aluminum	446	−40 to 150	Used in thermopiles and micromachined sensors	

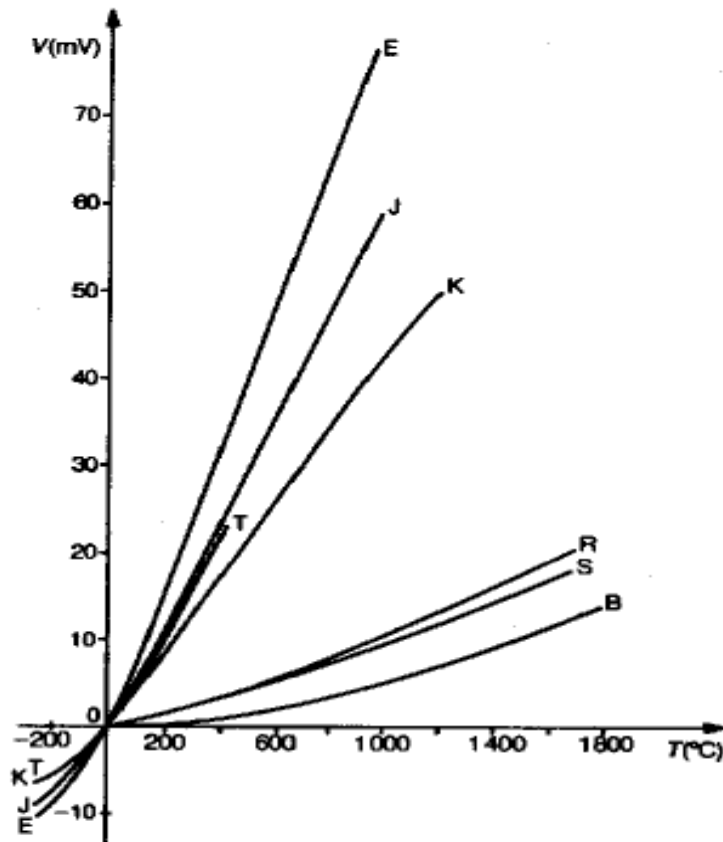


Chủng loại

Ký hiệu	Ký hiệu hình thức	Vật liệu cấu thành	Đặc điểm cần lưu tâm
B	-	Patin Rhodium 30-Platin.Rhomdium 6	Dây dương như là hợp kim 70%Pt, 30% Rh. Dây âm là hợp kim 94%Pt, 6% Rh. Loại B bền hơn loại R, giai đo nhiệt độ đến 1800°C, con các đặc tính khác th× như loại R
R	-	PtRh 13 - Pt	Dây dương là loại hợp kim 87% Pt, 13% Rh. Dây âm là Pt nguyên chất. Cặp này rất chính xác, bền với nhiệt và ổn định. Không nên dùng ở nh÷ng môi trường có hơi kim loại
S	-	PtRh10-Pt	Dây dương là hợp kim 90% Pt, 10%Rh. Dây âm là Pt nguyên chất. Các đặc tính khác như loại R
K	CA	Cromel-Alumel	Dây dương là hợp kim gồm chủ yếu là Nivà Cr. Dây âm là hợp kim chủ yếu là Ni. Dùng rộng rãi trong Công nghiệp, bền với môi trường oxy hoá. Không được dùng ở môi trường có CO, SO ₂ hay khí S có H
E	CRC	Cromel- Constantan	Dây dương nư đốivớ loại K. Dây âm như loại J. Có sức điện động nhiệt điện cao và thường dùng ở môi trường acid

50

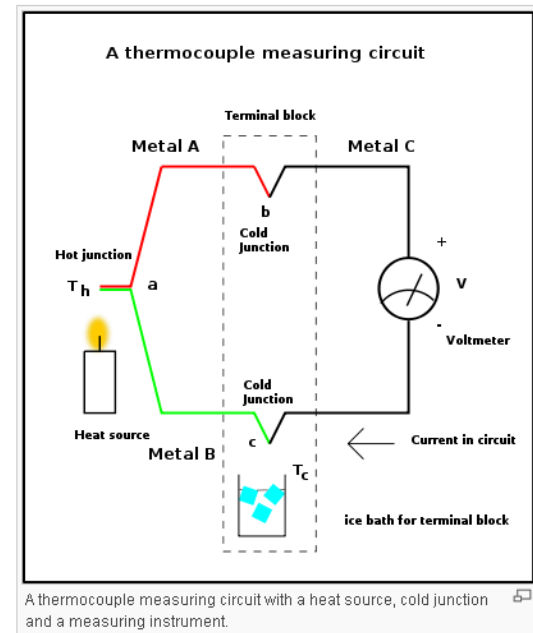
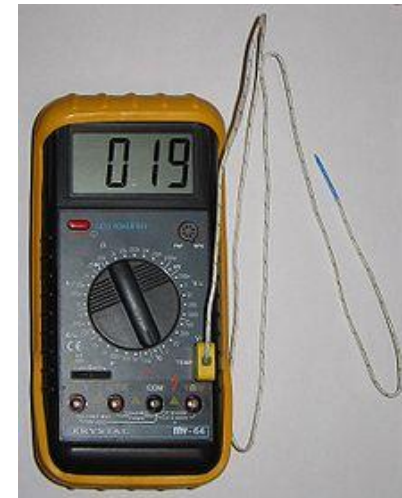
Đặc tính



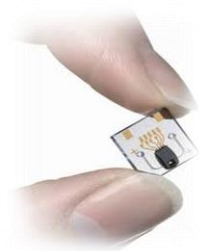
- E nickel-chrome/cuivre-nickel (appelé aussi, communément, chromel/constantan)
- J fer/cuivre-nickel (ou fer/constantan)
- T cuivre/cuivre-nickel (ou cuivre/constantan)
- K nickel-chrome (nickel-aluminium/ou Chromel/Alumel)
- R platine-rhodium 13 %/platine
- S platine-rhodium 10 %/platine
- B platine-rhodium 30 %/platine-rhodium 6 %

51

Hình 6.11. Đường $V=f(T)$ của các dạng cặp nhiệt ngẫu khác nhau



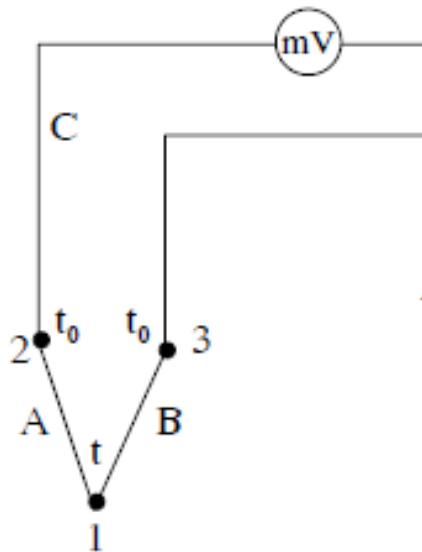
A thermocouple measuring circuit with a heat source, cold junction and a measuring instrument.



Các nguyên nhân gây sai số

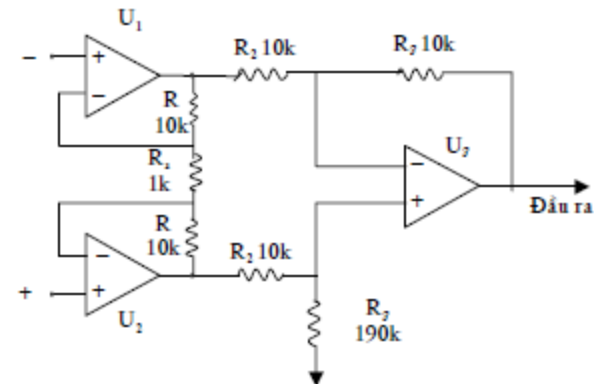
- Sai số do nhiệt độ đầu tự do thay đổi. Khi khắc độ, đầu tự do được đặt ở môi trường không độ C, nhưng trong thực tế nhiệt độ đầu tự do khác không độ C
- Sai số do sự thay đổi điện trở đường dây, cặp nhiệt hoặc chỉ thị
- Sai số do đặt không đúng vị trí, hướng hoặc diện tích tiếp xúc quá bé. Thông thường người ta đưa chiều sâu của cặp nhiệt vào môi trường cần đo khoảng từ 5-10 lần so với đường kính dây của cặp nhiệt.
- Hai dây cặp nhiệt bị ẩm có thể gây ra sai số tới 20% và điện áp ra tăng gấp 10 lần. Nếu dây dẫn không có vỏ bọc chống nhiễu và đặt cảm biến ở trong điện trường của đường dây cao thế (1-5 kV) thì nó sẽ chịu ảnh hưởng của nhiễu điện dung và sai số lên đến vài %. Chạm mát vào nguồn 220 VAC sai số có thể lên đến 10%.
- Can nhiệt bị đứt mối hàn cũng gây ra sai số.
- Chọn dây bù sai cũng có thể gây sai số
- ứng dụng: đo nhiệt độ, đo dòng ở tần số cao, hướng chuyển động, lưu tốc, áp suất nhỏ..

Mạch đo



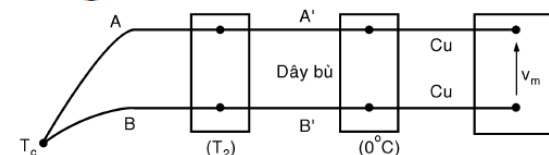
Hình 3.13 Sơ đồ mạch đo

$$A = \left(1 + \frac{2R}{R_a} \right) \frac{R_3}{R_1}$$

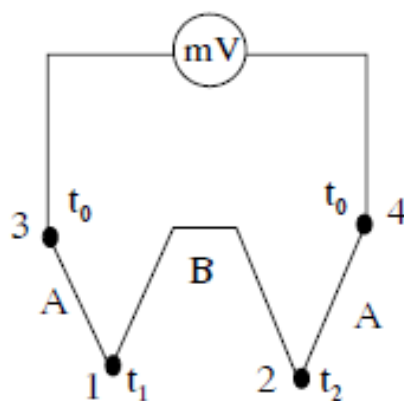
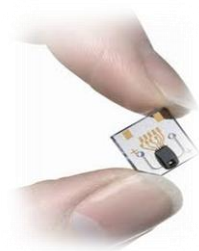


Hình 1.13 Sơ đồ bộ khuếch đại đo lường gồm ba KĐTT ghép nối điện trở

Khi nhiệt độ hai đầu tự do (2) và (3) bằng nhau thì sức điện động trong mạch chính là sức điện động của cặp nhiệt, nếu chúng khác nhau thì trong mạch xuất hiện suất điện động ký sinh ở các mối nối và làm sai lệch kết quả đo.



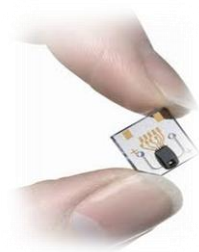
Hình 7.4C: Sơ đồ cách mắc dây bù



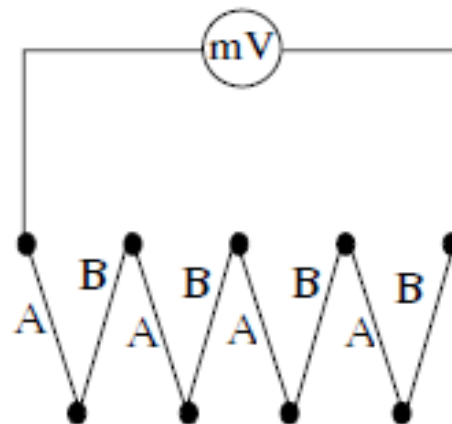
Hình 3.14 Sơ đồ đo vi sai

Để đo trực tiếp hiệu nhiệt độ giữa hai điểm người ta dùng sơ đồ đo vi sai như hình 3.14.

Trong sơ đồ này, cả hai đầu 1 và 2 của cặp nhiệt là đầu làm việc tương ứng với nhiệt độ t_1 và t_2 . Kết quả đo cho phép ta xác định trực tiếp giá trị của hiệu số hai nhiệt độ $t_1 - t_2$.

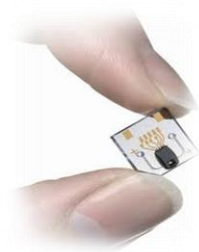


Mạch đo



Hình 3.15 Sơ đồ mắc nối tiếp

Trường hợp nhiệt độ môi trường đo không khác nhiều nhiệt độ đầu tự do, để tăng độ nhạy phép đo có thể mắc theo sơ đồ nối tiếp n cặp nhiệt như hình 3.15. Sức điện động tổng của bộ mắc nối tiếp bằng $nE_{AB}(t, t_0)$.



Bù nhiệt độ đầu tự do

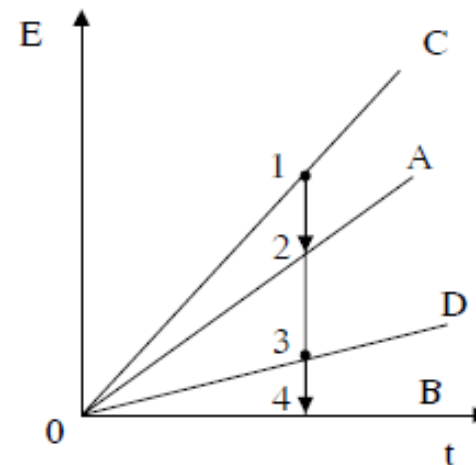
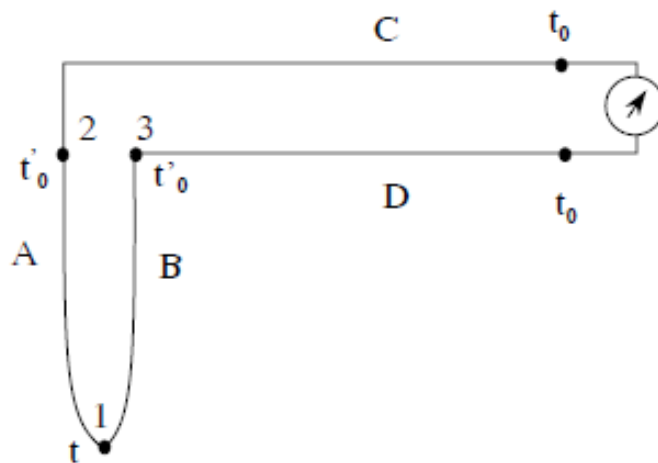
Để loại trừ ảnh hưởng của nhiệt độ đối tượng đo lên đầu tự do có thể mắc dụng cụ đo theo sơ đồ hình 3.17.

$$E = e_{AB}(t) - e_{CA}(t'_0) + e_{BD}(t'_0) - e_{CD}(t_0)$$

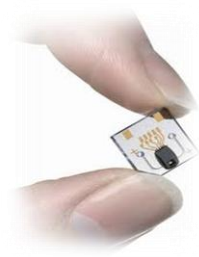
Chọn dây dẫn C và D sao cho $e_{CA}(t'_0) = e_{DB}(t'_0)$ ($\overline{12} = \overline{34}$), khi đó:

$$E = e_{AB}(t) - e_{CD}(t_0)$$

Vì $e(t_0) = 0$, nên: $E = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0)$



Hình 3.17 Bù nhiệt độ đầu tự do bằng dây bù



Bù nhiệt độ đầu tự do

Trên hình 3.18 giới thiệu sơ đồ dùng cầu bù tự động nhiệt độ đầu tự do.

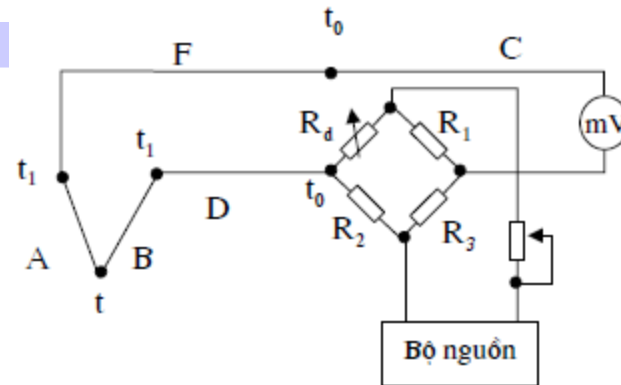
$$\Delta U = \frac{U_{CC}}{4} \frac{\Delta R_T}{R_T} = \frac{U_{CC}}{4} \alpha t_{td}$$

Ta lại có

$$E_T = K_T (t_{nóng} - t_{tự do}) = K_T t_{nóng} - K_T t_{tự do}$$

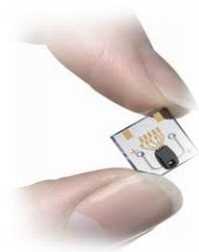
Để bù ảnh hưởng của nhiệt độ đầu tự do ta có

$$K_T t_{tự do} = \frac{U_{CC}}{4} \alpha t_{tự do} \rightarrow U_{CC} = \frac{4K_T}{\alpha}$$

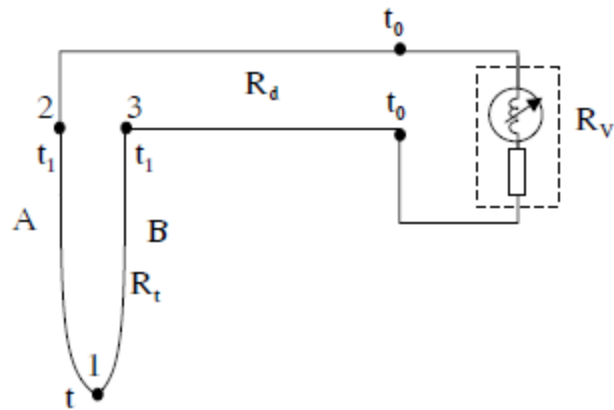


Hình 3.18 Cầu bù nhiệt độ đầu tự do

Mạch bù nhiệt độ đầu tự do được thực hiện bằng 1 mạch cầu 4 nhánh trên ấy có một nhiệt điện trở, hoạt động của nó như sau: 0°C 4 nhánh của cầu cân bằng điện áp ở đường chéo cầu $\Delta U=0$, khi nhiệt độ ở trên đầu hộp nối dây tức là nhiệt độ đầu tự do thay đổi:



Ảnh hưởng của điện trở mạch đo



Gọi:

R_t là điện trở của cặp nhiệt.

R_d là điện trở dây nối.

R_v là điện trở trong của milivôn kế.

Hình 3.19 Ảnh hưởng của điện trở mạch đo

Khi đó điện áp giữ hai đầu milivôn kế xác định bởi công thức:

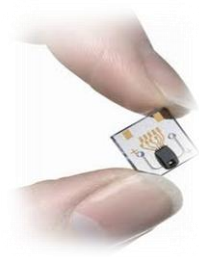
$$V_m = E_{AB}(t, t_0) \frac{R_v}{R_t + R_d + R_v}$$

Rút ra:

$$E_{AB}(t, t_0) = V_m \left[1 + \frac{R_t + R_d}{R_v} \right] \quad (3.17)$$

Theo biểu thức (3.17) khi $R_v \gg R_t + R_d$ thì:

$$E_{AB}(t, t_0) \approx V_m$$



Ảnh hưởng của điện trở mạch đo

- *Ảnh hưởng của R_t* : Đối với cặp cromen/alumen hoặc cặp cromen/coben có điện trở R_t khá nhỏ nên sự thay đổi của nó ít ảnh hưởng tới kết quả đo. Đối với cặp $P_t R_d - P_t$ có điện trở R_t khá lớn ($\sim 15\Omega$) nên sự thay đổi của nó ảnh hưởng đáng kể tới kết quả đo.
- *Ảnh hưởng của R_d* : thông thường R_d khá nhỏ nên ít ảnh hưởng tới kết quả đo.
- *Ảnh hưởng của R_v* : $R_v = R_{kd} + R_f$.

Điện trở phụ R_f của milivôn kế thường chế tạo bằng vật liệu có $\alpha_R = 0$ nên không ảnh hưởng, sự thay đổi R_v khi nhiệt độ tăng chủ yếu do sự thay đổi của điện trở khung dây R_{kd} (chế tạo bằng đồng $\alpha_R = 4,2 \cdot 10^{-3}/^\circ\text{C}$). Để giảm sai số nên chọn R_p/R_{kd} lớn.



Cảm biến nhiệt điện trở

- Đ/N: là chuyển đổi có điện trở thay đổi theo sự thay đổi nhiệt độ của nó.

Hiện nay thường sử dụng ba loại điện trở đo nhiệt độ đó là: điện trở kim loại, điện trở silic và điện trở chế tạo bằng hỗn hợp các oxyt bán dẫn.

Trường hợp điện trở kim loại, hàm trên có dạng:

$$R(T) = R_0 (1 + AT + BT^2 + CT^3) \quad (3.6)$$

Trong đó nhiệt độ T đo bằng $^{\circ}\text{C}$, $T_0 = 0^{\circ}\text{C}$ và A, B, C là các hệ số thực nghiệm.

Trường hợp điện trở là hỗn hợp các oxyt bán dẫn:

$$R(T) = R_0 \cdot \exp \left[B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right] \quad (3.7)$$

T là nhiệt độ tuyệt đối, B là hệ số thực nghiệm.



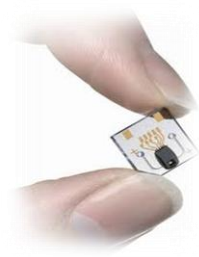
Nhiệt điện trở kim loại

- Nhiệt điện trở dây kim loại: thường được chế tạo từ **đồng, platin và niken** với đường kính dây từ 0.02-0.06 mm.

Yêu cầu chung đối với vật liệu làm điện trở:

- Có điện trở suất ρ đủ lớn để điện trở ban đầu R_0 lớn mà kích thước nhiệt kế vẫn nhỏ.
- Hệ số nhiệt điện trở của nó tốt nhất là luôn luôn không đổi dấu, không triệt tiêu.
- Có đủ độ bền cơ, hoá ở nhiệt độ làm việc.
- Dễ gia công và có khả năng thay lẫn.





Nhiệt điện trở kim loại

- Nhiệt điện trở dây kim loại: thường được chế tạo từ **đồng, platin và niken** với đường kính dây từ 0.02-0.06 mm.
 - **Platin :**
 - + Có thể chế tạo với độ tinh khiết rất cao (99,999%) do đó tăng độ chính xác của các tính chất điện.
 - + Có tính trơ về mặt hoá học và tính ổn định cấu trúc tinh thể cao do đó đảm bảo tính ổn định cao về các đặc tính dẫn điện trong quá trình sử dụng.
 - + Hệ số nhiệt điện trở ở 0°C bằng $3,9 \cdot 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$.
 - + Điện trở ở 100°C lớn gấp 1,385 lần so với ở 0°C .
 - + Dải nhiệt độ làm việc khá rộng từ $-200^{\circ}\text{C} \div 1000^{\circ}\text{C}$.



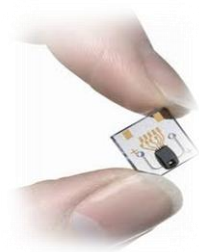
Nhiệt điện trở kim loại

- Nikel:

- + Có độ nhạy nhiệt cao, bằng $4,7.10^{-3}/^{\circ}\text{C}$.
- + Điện trở ở 100°C lớn gấp 1,617 lần so với ở 0°C .
- + Dễ bị oxy hoá khi ở nhiệt độ cao làm giảm tính ổn định.
- + Dải nhiệt độ làm việc thấp hơn 250°C .

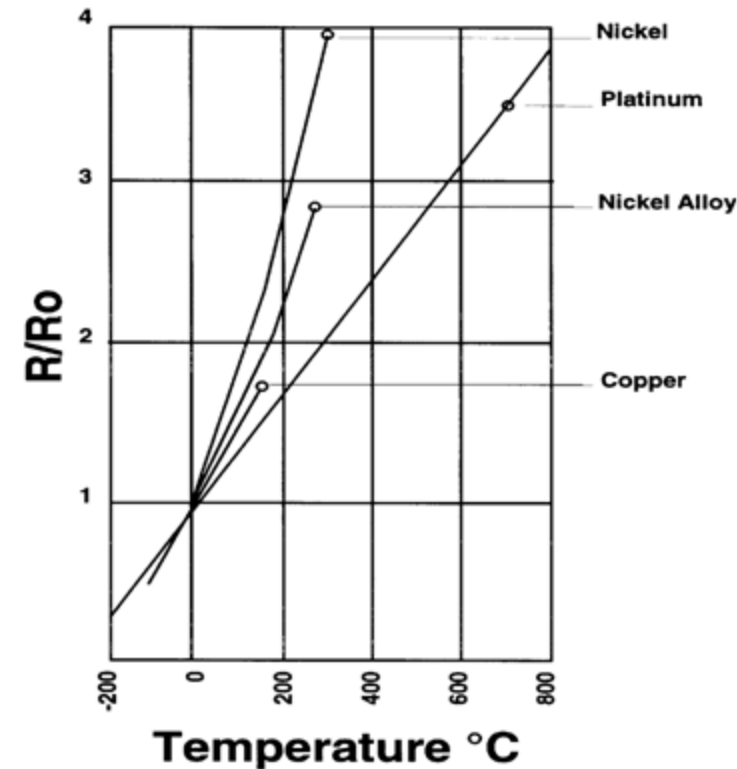
Đồng được sử dụng trong một số trường hợp nhờ độ tuyến tính cao của điện trở theo nhiệt độ. Tuy nhiên, hoạt tính hoá học của đồng cao nên nhiệt độ làm việc thường không vượt quá 180°C . Điện trở suất của đồng nhỏ, do đó để chế tạo điện trở có điện trở lớn phải tăng chiều dài dây làm tăng kích thước điện trở.

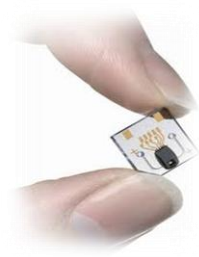
Đặc tính



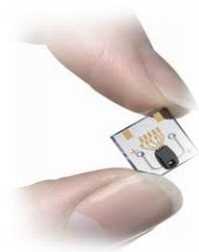
Thông số	Cu	Ni	Pt	W
T_f (°C)	1083	1453	1769	3380
c (J°C ⁻¹ kg ⁻¹)	400	450	135	125
λ (W°C ⁻¹ m ⁻¹)	400	90	73	120
$\alpha_1 \times 10^6$ (°C)	16,7	12,8	8,9	6
$\rho \times 10^8$ (Ωm)	1,72	10	10,6	5,52
$\alpha \times 10^3$ (°C ⁻¹)	3,9	4,7	3,9	4,5

- Cu tuyến tính nhưng sử dụng ở nhiệt độ thấp
- Platinum is the best metal for RTD elements for three reasons. It follows a very linear resistance-to temperature relationship; it follows its resistance-to-temperature relationship in a highly repeatable manner over its temperature range; and it has the widest temperature range among the metals used to make RTDs. Platinum is not the most sensitive metal; however, it is the metal that offers the best longterm stability.
- The accuracy of an RTD is significantly better than that of a thermocouple within an RTD's normal temperature range of -184.44°C (-300°F) to 648.88°C (1200°F).



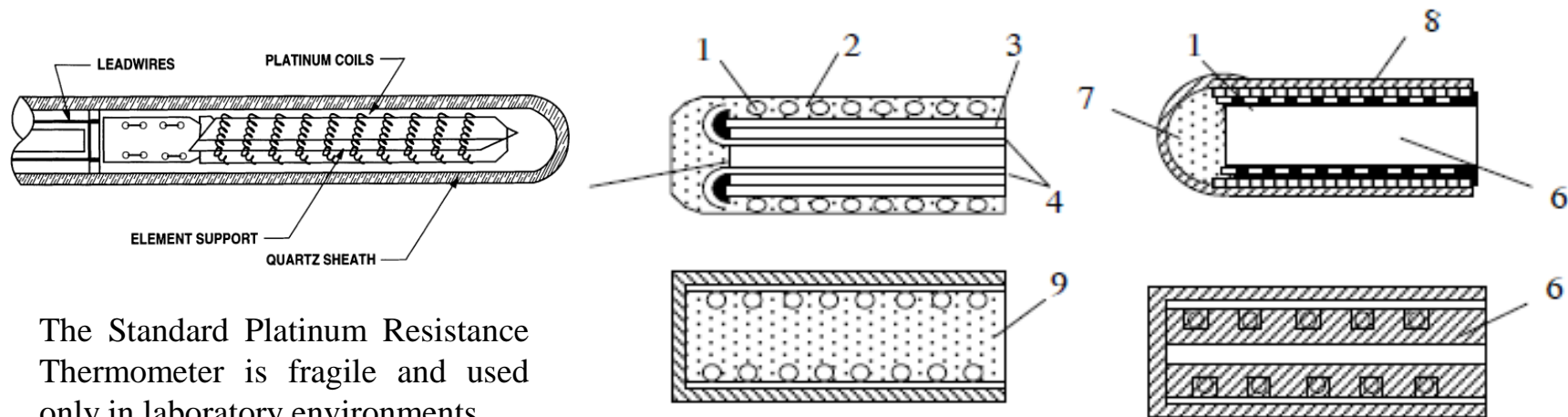


- Sự khác nhau giữa Pt100 (100 Ω , tại 0°C), 500 và Pt1000 ?
- The most common type (PT100) has a resistance of 100 ohms at 0 °C and 138.4 ohms at 100 °C. There are also PT1000 sensors that have a resistance of 1000 ohms at 0 °C and 1385 ohms tại 100°C.
- Tại sao Platinum được sử dụng chủ yếu để chế tạo RTD: bởi vì nó có thể hoạt động ổn định trong thời gian dài tại môi trường có nhiệt độ cao. Hơn nữa Pt là sự lựa chọn tốt hơn so với Cu hoặc Ni bởi vì sự trơ về mặt hoá học của nó và có khả năng chống lại sự ôxi hoá .
- Mạch đo có thể dùng nguồn dòng, mạch cầu hoặc time 555



Cấu tạo

- *Nhiệt kế công nghiệp*: Để sử dụng cho mục đích công nghiệp, các nhiệt kế phải có vỏ bọc tốt chống được va chạm mạnh và rung động, điện trở kim loại được cuốn và bao bọc trong thủy tinh hoặc gốm và đặt trong vỏ bảo vệ bằng thép. Trên hình 3.4 là các nhiệt kế dùng trong công nghiệp bằng điện trở kim loại platin.



The Standard Platinum Resistance Thermometer is fragile and used only in laboratory environments

Hình 3.4 Nhiệt kế công nghiệp dùng điện trở platin

- 1) Dây platin 2) Gốm cách điện 3) Ống platin 4) Dây nối 5) Sứ cách điện
6) Trục giá 7) Cách điện 8) Vỏ bọc 9) Xi măng



Một số kiểu nhiệt điện trở

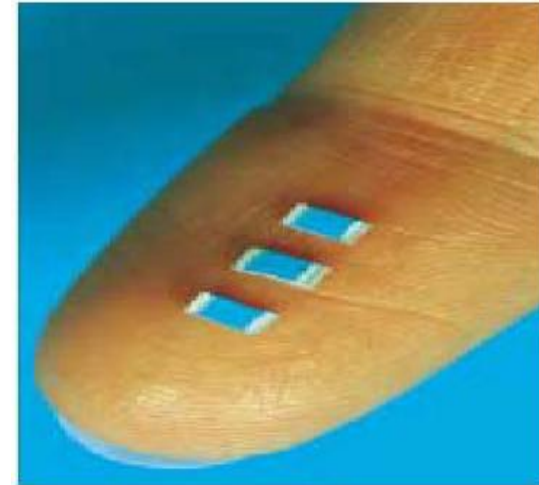
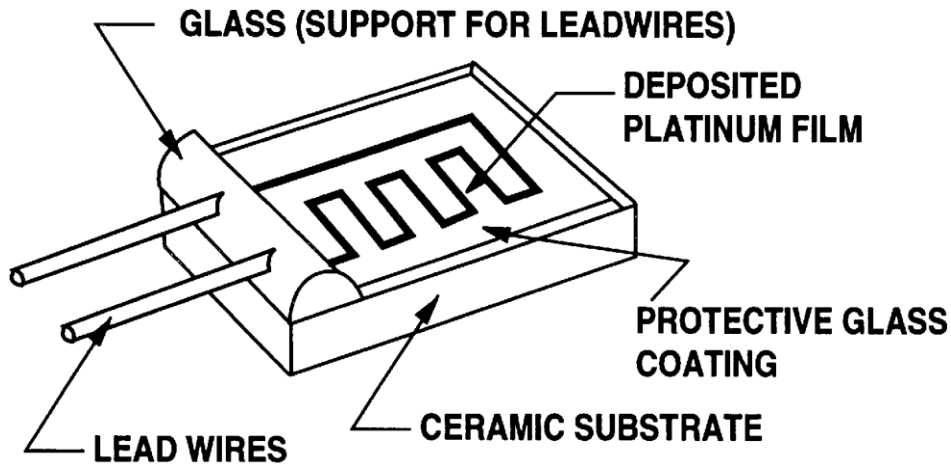
There are three main classes of Platinum Resistance Thermometers (PRTs): Standard Platinum Resistance Thermometers (SPRTs), Secondary Standard Platinum Resistance Thermometers (Secondary SPRTs), and Industrial Platinum Resistance Thermometers (IPRTs). Table 32.6 presents information about each. (Rugged :chắc chắn, Fragile: dễ gãy)

TABLE 32.6

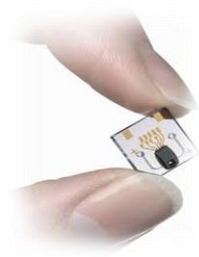
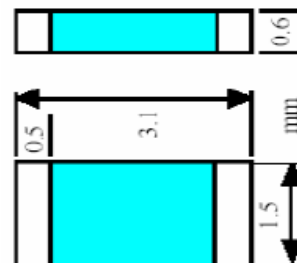
Probe	Basic application	Temperature	Cost	Probe style ^a	Handling
SPRT	Calibration of Secondary SPRT	−200 to 1000°C (−328 to 1832°F)	\$5000	I	Very fragile
Secondary SPRT	Lab use	−200 to 500°C (−328 to 932°F)	\$700	I, A	Fragile
Wirewound IPRT	Industrial field use	−200 to 648°C (−328 to 1200°F)	\$60–\$180	I, S, A	Rugged
Thin-film IPRT	Industrial field use	−50 to 260°C (−200 to 500°F)	\$40–\$140	I, S, A	Rugged

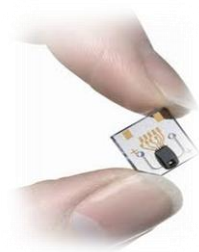
^aI = immersion; A = air; S = surface.

RTD kiểu màng mỏng

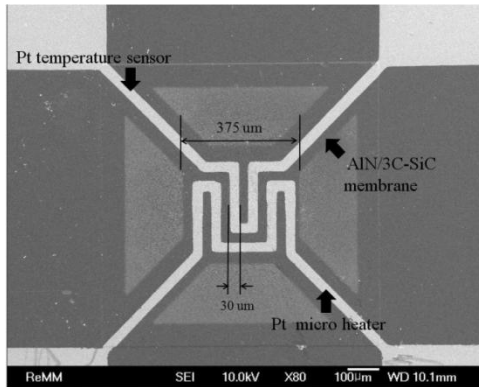


The temperature range of thin film platinum elements is -50°C (-58°F) to 400°C (752°F); accuracy is from 0.5°C (0.9°F) to 2.0°C (3.6°F). The most common thin-film element has a 100- Ω ice point resistance and a temperature coefficient of 0.00385°C .

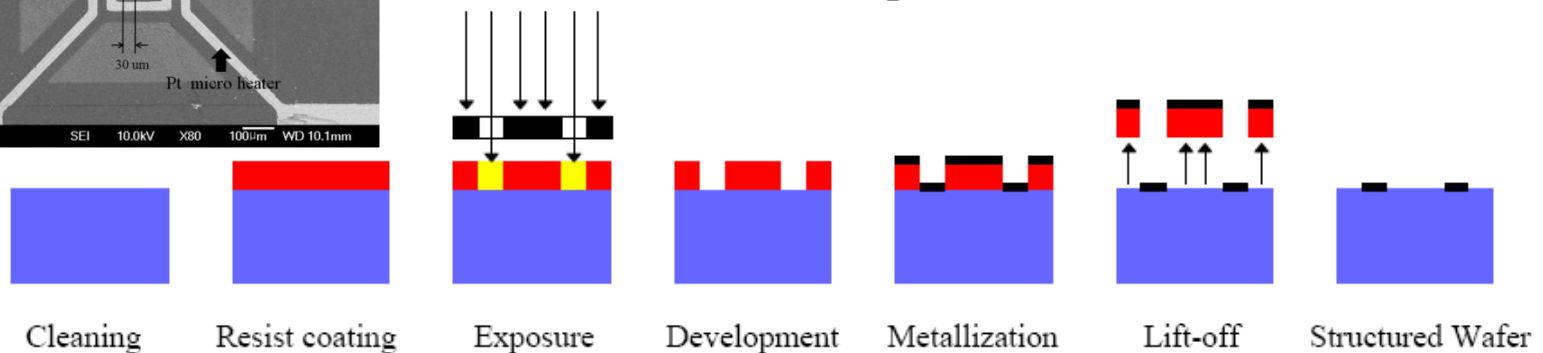




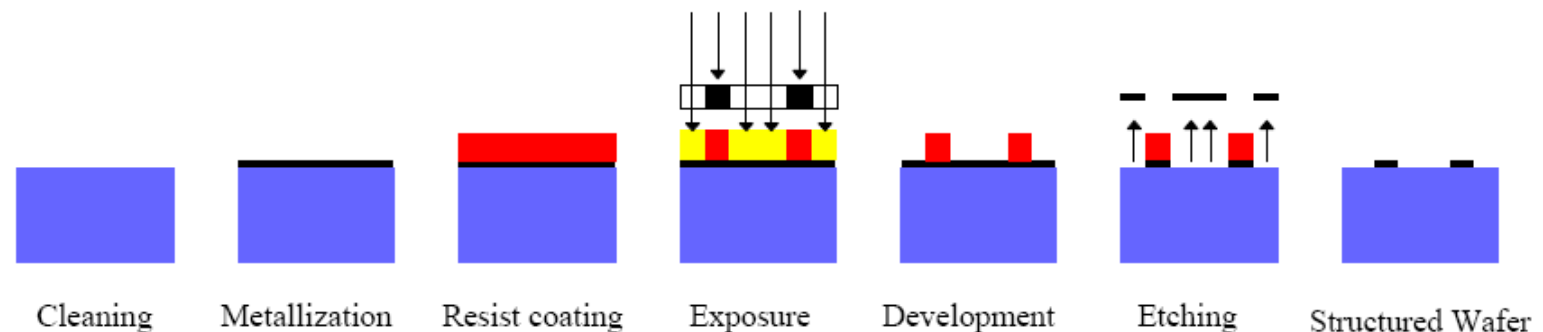
Công nghệ sản xuất RTD màng mỏng

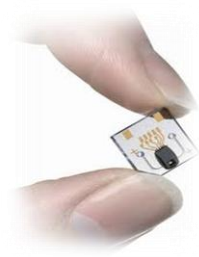


Lift-off Technique



Etching Technique





Nhiệt điện trở bán dẫn (NTC-PTC)

large negative temperature coefficient of resistance (NTC)

large positive temperature coefficient of resistance (PTC)

Nhiệt điện trở bán dẫn

$$R_T = Ae^{\beta/T}$$

A và β đều không ổn định. Ta cũng có thể tính

$$\alpha = (-2.5\% + 4\%) / ^\circ\text{C}$$

Thông thường được chế tạo từ các oxit bán dẫn đa tinh thể: MgO , MgAl_2O_4 , Mn_2O_3 , Fe_3O_4 , Co_2O_3 , NiO , ZnTiO_4



Các bột oxit được trộn theo một tỉ lệ thích hợp, sau đó được nén với định dạng và thiêu kết ở nhiệt độ 1000°C

A- hằng số phụ thuộc vào tính chất vật lý của bán dẫn, kích thước và hình dáng của điện trở.

B- hằng số phụ thuộc vào tính chất vật lý của bán dẫn

T- nhiệt độ tuyệt đối

e- cơ số lôgarit tự nhiên

hệ số nhiệt độ lớn hơn RTD nhưng đặc tính phi tuyến



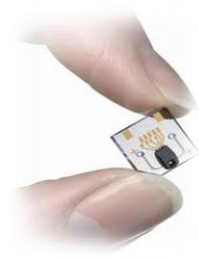
Cấu tạo nhiệt điện trở bán dẫn (NTC-PTC)

Hỗn hợp bột oxyt được trộn theo tỉ lệ thích hợp sau đó được nén định dạng và thiêu kết ở nhiệt độ $\sim 1000^{\circ}\text{C}$. Các dây nối kim loại được hàn tại hai điểm trên bề mặt và được phủ bằng một lớp kim loại. Mặt ngoài có thể bọc bởi vỏ thủy tinh.



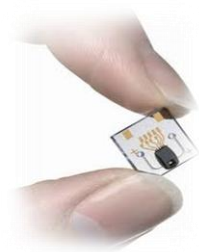
Hình 3.7 Cấu tạo nhiệt điện trở có vỏ bọc thủy tinh

Nhiệt điện trở có độ nhạy nhiệt rất cao nên có thể dùng để phát hiện những biến thiên nhiệt độ rất nhỏ cỡ $10^{-4} - 10^{-3}\text{K}$. Kích thước cảm biến nhỏ có thể đo nhiệt độ tại từng điểm. Nhiệt dung cảm biến nhỏ nên thời gian hồi đáp nhỏ. Tùy thuộc thành phần chế tạo, dải nhiệt độ làm việc của cảm biến nhiệt điện trở từ vài độ đến khoảng 300°C .



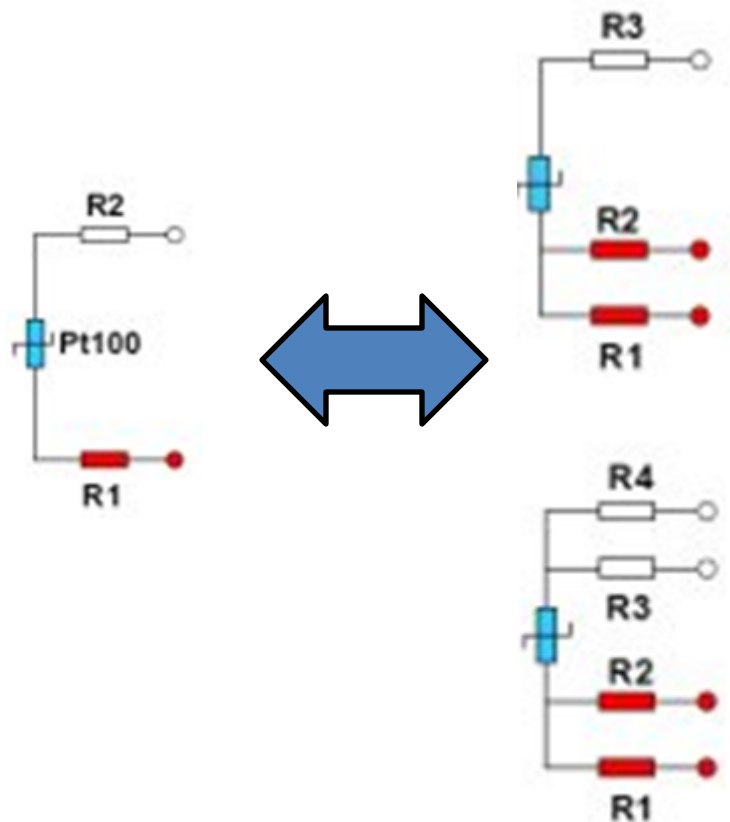
Sai số và ứng dụng

- Sai số của nhiệt kế điện trở chủ yếu là do sự thay đổi điện trở đường dây khi nhiệt độ môi trường thay đổi.
- Điện trở đường dây có thể đạt tới $5\ \Omega$ trong khi điện trở của chuyển đổi từ vài trăm Ω .
- Ngoài ra dòng điện chạy qua điện trở gây nóng cũng làm cho điện trở tăng và gây ra sai số. Thường chọn dòng khoảng vài mA .
- Ứng dụng của RTD,NTD.. chủ yếu đo nhiệt độ, đo các đại lượng không điện như đo di chuyển, áp suất, nồng độ một số chất khí..

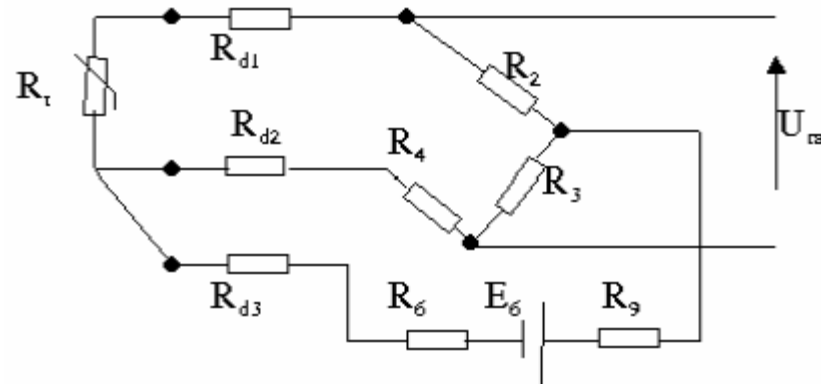


Mạch đo và chống sai số

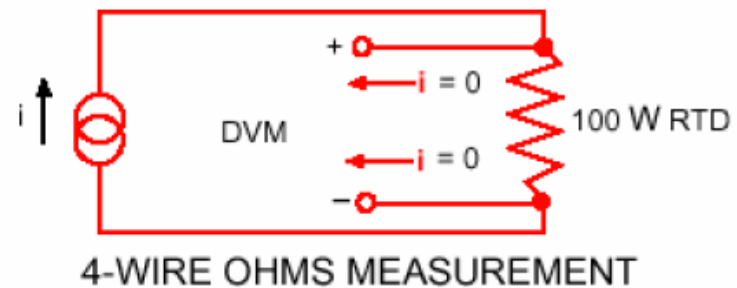
Tại sao là nhiệt điện trở 2, 3 và 4 dây ?

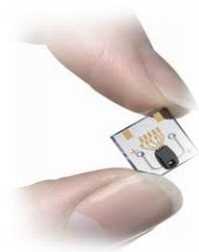


Bù điện trở dây khi sử dụng nguồn áp

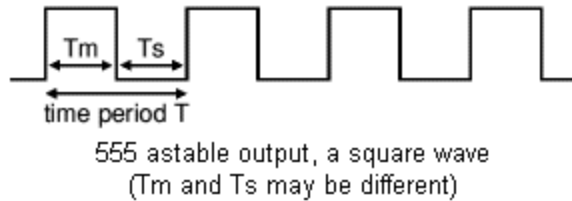


- Bù điện trở dây khi sử dụng nguồn dòng

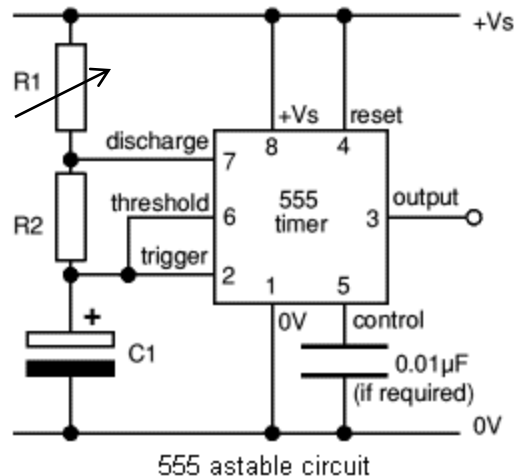




Mạch đo kiểu timer 555



$$T = 0.7 \times (R1 + 2R2) \times C1 \quad \text{and} \quad f = \frac{1.4}{(R1 + 2R2) \times C1}$$



T = time period in seconds (s)

f = frequency in hertz (Hz)

$R1$ = resistance in ohms (Ω)

$R2$ = resistance in ohms (Ω)

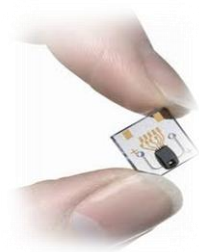
$C1$ = capacitance in farads (F)

The time period can be split into two parts: $T = T_m + T_s$

Mark time (output high): $T_m = 0.7 \times (R1 + R2) \times C1$

Space time (output low): $T_s = 0.7 \times R2 \times C1$

- Chu kì T của nhịp xung ở ngõ ra của time tỷ lệ với sự biến đổi $R1$ (R_x) khi nhiệt độ thay đổi

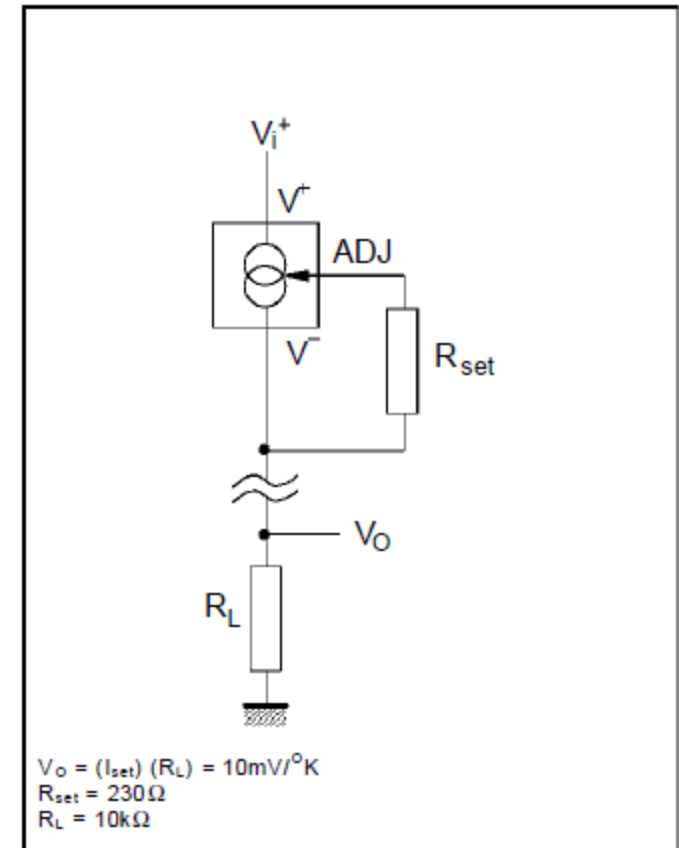


Mạch đo dùng nguồn dòng

ORDER CODES

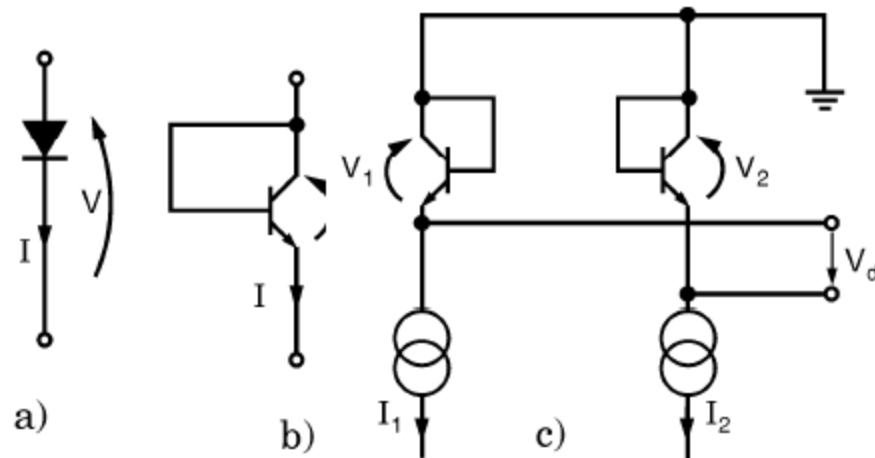
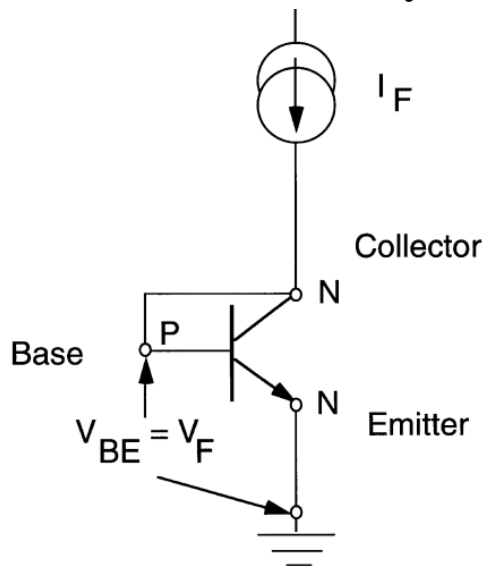
Part Number	Temperature Range	Package	
		Z	D
LM134	-55°C, +125°C	•	•
LM234	-25°C, +100°C	•	•
LM334	0°C, +70°C	•	•
Example : LM134Z			

Figure 3 : Terminating Remote Sensor for Voltage Output



Cảm biến nhiệt độ dựa trên tính chất bán dẫn của điốt và tranzito

- Đặc tính của điốt phụ thuộc vào nhiệt độ. Dựa trên đặc tính đó người ta đo nhiệt độ hoặc sự thay đổi nhiệt độ của một đối tượng nào đó. Tuy nhiên sự phụ thuộc này không tuyến tính và không đủ tin cậy, do vậy người ta sử dụng tính chất phụ thuộc điện áp giữa bazo-emito của một tranzito vào nhiệt độ khi duy trì dòng điện colecto (I_c) không đổi.



Hình 7.5: Các thành phần được sử dụng làm cảm biến đo nhiệt độ

a) Diode; b) Transistor mắc như diode

c) Hai transistor giống nhau được mắc như diode

Theo mẫu Ebers-Moll, dòng điện côlectơ (I_C) đối với một tranzito lí tưởng là:

$$I_C = \alpha_F I_{ES} \left(\exp. \left\{ \frac{q U_{BE}}{KT} \right\} - 1 \right) - I_{CS} \left(\exp. \left\{ \frac{-q U_{CB}}{KT} \right\} - 1 \right) \quad (7-31)$$

α_F – hệ số tỉ lệ;

I_{ES} – dòng emitơ bão hòa;

q – điện tích; $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$;

U_{BE} – điện áp bazơ - emitơ;

T – nhiệt độ tuyệt đối;

I_{CS} – dòng côlectơ bão hòa;

U_{CB} – điện áp côlectơ - bazơ;

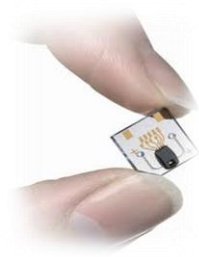
$\alpha_F I_{ES}$ được kí hiệu là I_S ($\alpha_F I_{ES} = I_S$).

Trong vùng hoạt động thường $I_C \gg I_S$.

Với điều kiện $U_{CB} = 0$ từ công thức (7-31) ta có:

$$U_{BE} = \frac{KT}{q} \ln \frac{I_C}{I_S} \quad (7-32)$$

qua đó ta thấy rằng U_{BE} phụ thuộc vào nhiệt độ nhưng I_S cũng phụ thuộc vào nhiệt độ.



Một cách gần đúng ta có $I_S = BT^3 \exp\left\{\frac{-qU_{go}}{KT}\right\}$ (7-33)

B – hằng số;

U_{go} – điện áp tiếp giáp.

Từ công thức (7-32) và (7-33) ta có:

$$U_{BE} = \frac{KT}{q} \ln \frac{I_C}{I_{CO}} \left(\frac{T_0}{T} \right)^3 + (U_{BE0} - U_{go}) \frac{T}{T_0} + U_{go}$$

U_{BE0} – điện áp bazơ-emitơ với dòng I_{CO} ở nhiệt độ T_0 ;

I_C – dòng collector.

Từ công thức trên ta thấy quan hệ giữa U_{BE} và T là phi tuyến và phụ thuộc vào dòng I_C .

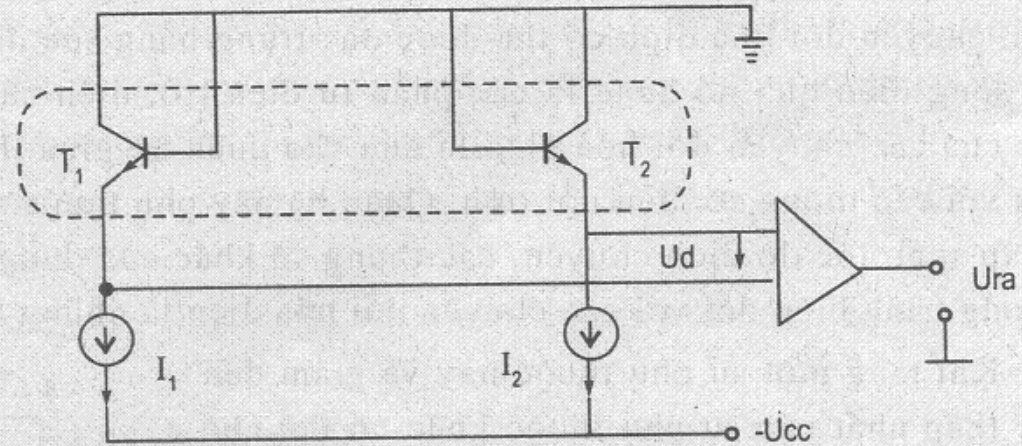
Độ nhạy của U_{BE} theo T :

$$S = \left. \frac{dU_{BE}}{dT} \right|_{I_C=I_{CO}} = \frac{U_{BE0} - U_{go}}{T_0} - \frac{3K}{q} \left(1 + \ln \frac{T}{T_0} \right)$$



Bù phi tuyến

Thông thường người ta sử dụng hai tranzito có dòng emitter giống nhau và được cung cấp bởi dòng điện collector khác nhau như hình vẽ 7-27d.



Nếu cả hai tranzito ở cùng nhiệt độ thì sự khác nhau giữa dòng bazơ-emitor là:

$$U_d = U_{BE1} - U_{BE2} = \frac{KT}{q} \ln \frac{I_{C1}}{I_{S1}} - \frac{KT}{q} \ln \frac{I_{C2}}{I_{S2}}$$

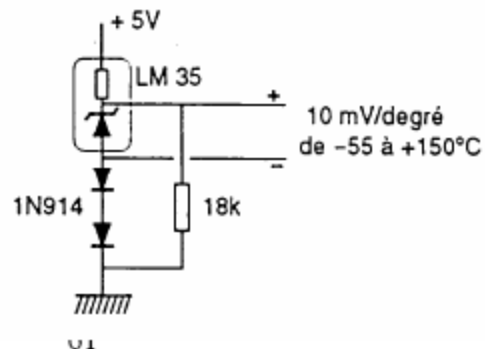
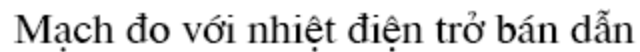
Nếu cả hai tranzito được coi là giống nhau ta có:

$$I_{S1} = I_{S2} \text{ và } U_d = \frac{KT}{q} \ln \frac{I_{C1}}{I_{C2}}$$

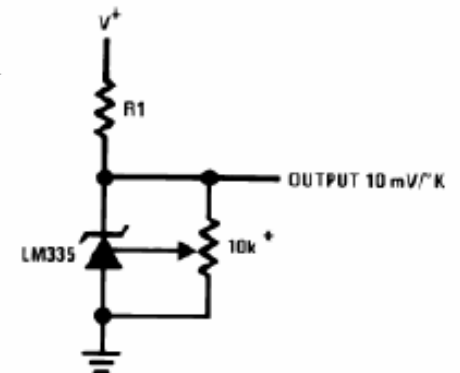
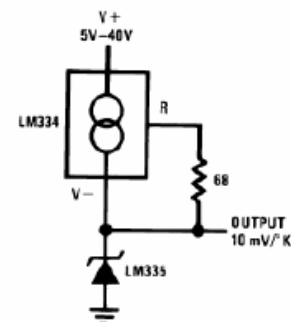
Với $\frac{I_{C1}}{I_{C2}}$ là hằng số; U_d sẽ tỉ lệ với T mà không cần đến một nguồn ổn định.

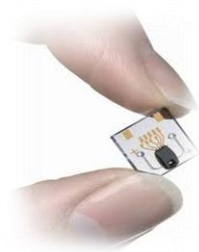


Nguồn áp : LM35



Wide Operating Supply



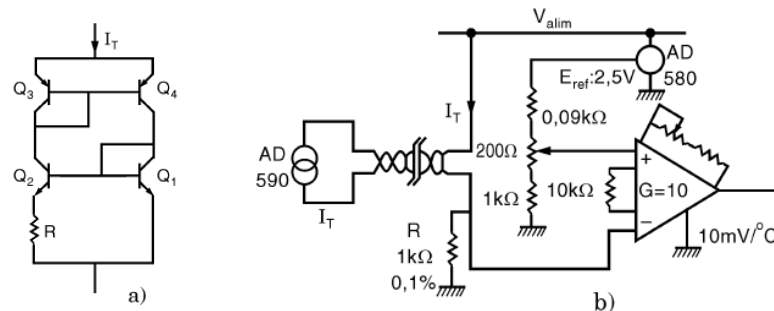


Ví dụ: cảm biến IC AD590.

AD590

(Tham khảo: bài giảng N.N. Tan và Ng.V.Ky)

Cảm biến này tạo ra một dòng điện thay đổi tuyến tính theo nhiệt độ tuyệt đối, được dùng đo nhiệt độ trong trường hợp dùng dây dẫn với khoảng cách xa. Sơ đồ đơn giản về cấu tạo cảm biến như hình 7.8.



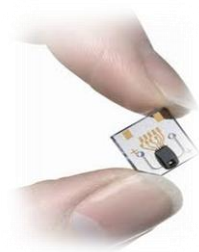
Hình 7.8: Cảm biến đo nhiệt độ dùng IC AD 590

a) Sơ đồ nguyên lý; b) Mạch đo nhiệt độ;

□ IC AD 590 được dùng để đo nhiệt độ như hình 7.8. Dòng điện I_T tạo nên hai đầu điện trở R ($1K\Omega$) một điện áp có trị số bằng $T(mV)$. Với T là nhiệt độ tuyệt đối của cảm biến.

Nguồn điện áp chuẩn do IC AD580L có $E_{ref} = 2,5V$ và nhờ mạch chiết áp tạo ra điện áp có trị giá khoảng $273,15mV$ (liên quan đến trị giá điện áp ở hai đầu R ở nhiệt độ $^{\circ}C$) với bộ khuếch đại có độ lợi $G = 10$, ở ngõ ra tín hiệu V_o tỉ lệ với nhiệt độ của cảm biến tính theo $^{\circ}C$:

$$V_o = 10(T - 273,15)mV = 10(T^{\circ}C)mV.$$



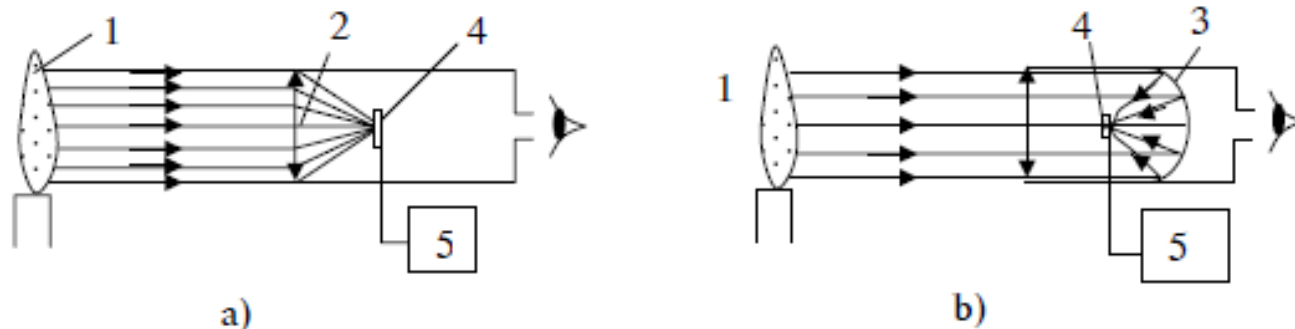
Hoả quang kế bức xạ toàn phần

Nguyên lý dựa trên định luật: Năng lượng bức xạ toàn phần của vật đen tuyệt đối tỉ lệ với lũy thừa bậc 4 của nhiệt độ tuyệt đối của vật.

$$E = \sigma T^4 \quad (3.18)$$

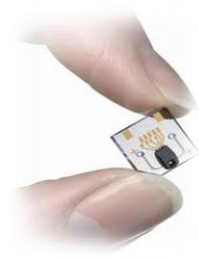
Trong đó: σ là hằng số, T là nhiệt độ tuyệt đối của vật đen tuyệt đối (K).

Thông thường có hai loại: hoả kế bức xạ có ống kính hội tụ, hoả kế bức xạ có kính phản xạ.



Hình 3.21 Hoả kế bức xạ toàn phần

- a) Loại có ống kính hội tụ b) Loại có kính phản xạ
1) Nguồn bức xạ 2) Thấu kính hội tụ 3) Gương phản xạ
4) Bộ phân thu năng lượng 5) Dụng cụ đo thứ cấp



Hoả quang kế bức xạ toàn phần



Trong sơ đồ hình (3.21a): ánh sáng từ nguồn bức xạ (1) qua thấu kính hội tụ (2) đập tới bộ phận thu năng lượng tia bức xạ (4), bộ phận này được nối với dụng cụ đo thứ cấp (5).

Trong sơ đồ hình (3.21b): ánh sáng từ nguồn bức xạ (1) đập tới gương phản xạ (3) và hội tụ tới bộ phận thu năng lượng tia bức xạ (4), bộ phận này được nối với dụng cụ đo thứ cấp (5).

Bộ phận thu năng lượng có thể là một vi nhiệt kế điện trở hoặc là một tổ hợp cặp nhiệt, chúng phải thoả mãn các yêu cầu:

- + Có thể làm việc bình thường trong khoảng nhiệt độ $100 - 150^{\circ}\text{C}$.
- + Phải có quán tính nhiệt đủ nhỏ và ổn định sau 3 - 5 giây.
- + Kích thước đủ nhỏ để tập trung năng lượng bức xạ vào đo.



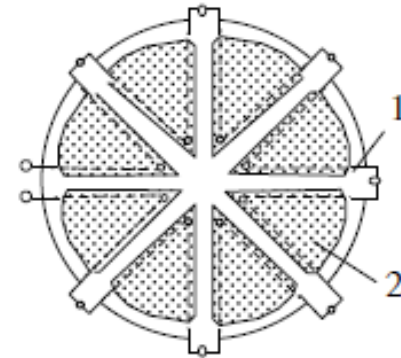
Hoả quang kế bức xạ toàn phần

Trên hình 3.22 trình bày cấu tạo của một bộ thu là tổ hợp cặp nhiệt. Các cặp nhiệt (1) thường dùng cặp crômen/côben mắc nối tiếp với nhau. Các vết đen (2) phủ bằng bột platin.

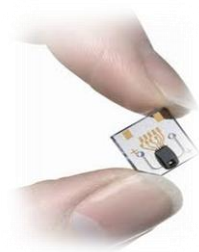
Hoả kế dùng gương phản xạ tổn thất năng lượng thấp ($\sim 10\%$), hoả kế dùng thấu kính hội tụ có thể tổn thất tới 30 - 40%. Tuy nhiên loại thứ nhất lại có nhược điểm là khi môi trường nhiều bụi, gương bị bẩn, độ phản xạ giảm do đó tăng sai số.

Khi đo nhiệt độ bằng hoả kế bức xạ sai số thường không vượt quá 27°C , trong điều kiện:

- + Vật đo phải có độ đen xấp xỉ bằng 1.
- + Tỷ lệ giữa đường kính vật bức xạ và khoảng cách đo (D/L) không nhỏ hơn $1/16$.



Hình 3.22 Bộ thu năng lượng
1) Cặp nhiệt 2) Lớp phủ platin



Hoả quang kế bức xạ toàn phần

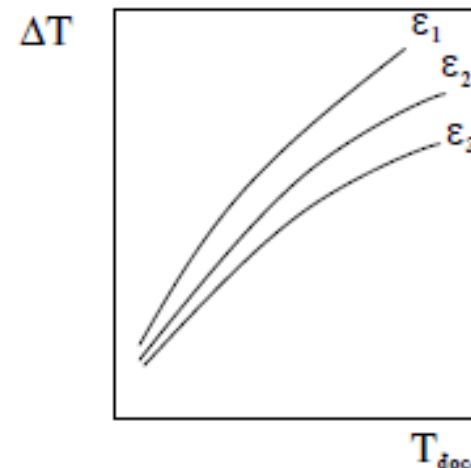
+ Nhiệt độ môi trường $20 \pm 2^\circ\text{C}$.

Trong thực tế độ đen của vật đo $\varepsilon < 1$,
khi đó $T_{\text{do}} = \sqrt[4]{\frac{1}{\varepsilon}} \cdot T_{\text{đọc}}$. Thông thường xác
định theo công thức sau:

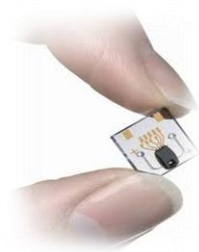
$$T_{\text{do}} = T_{\text{đọc}} + \Delta T$$

Với ΔT là lượng hiệu chỉnh phụ thuộc $T_{\text{đọc}}$
và độ đen của vật đo (hình 3.23).

Khoảng cách đo tốt nhất là $1 \pm 0,2$ mét.



Hình 3.23 Hiệu chỉnh nhiệt độ
theo độ đen



Hoả kế quang điện

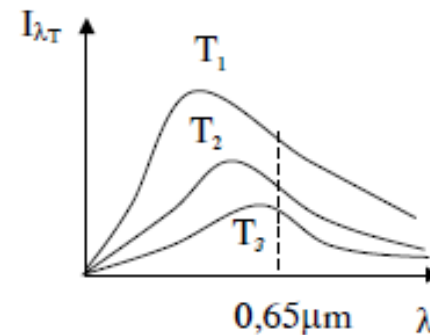
Hoả kế quang điện chế tạo dựa trên định luật Planck:

$$I_{\lambda_T} = \frac{C_1}{\lambda^5 \left(e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1 \right)} \quad (3.19)$$

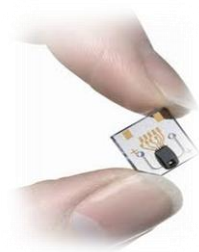
Trong đó λ là bước sóng, C_1 , C_2 là các hằng số.

Nguyên tắc đo nhiệt độ bằng hoả kế quang học là so sánh cường độ sáng của vật cần đo và độ sáng của một đèn mẫu ở trong cùng một bước sóng nhất định và theo cùng một hướng. Khi độ sáng của chúng bằng nhau thì nhiệt độ của chúng bằng nhau.

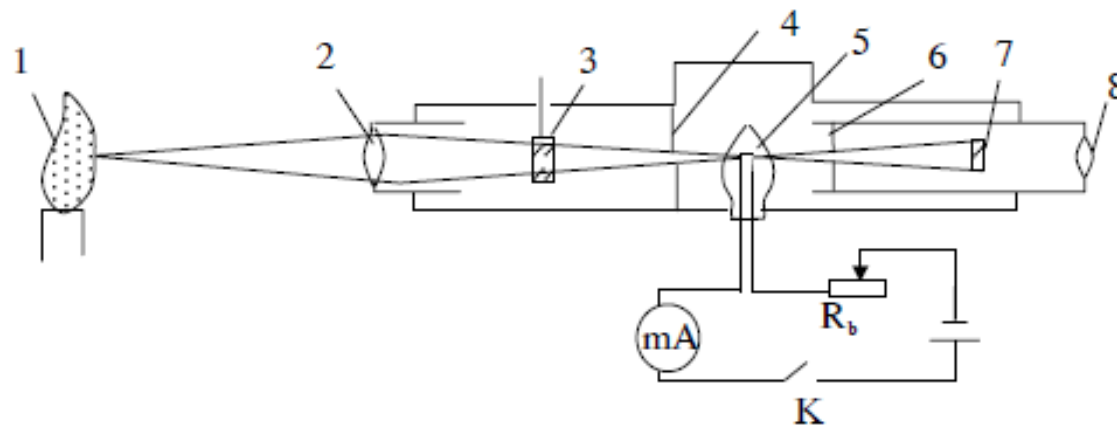
Từ hình 3.24 ta nhận thấy sự phụ thuộc giữa I và λ không đơn trị, do đó người ta thường cố định bước sóng ở $0,65\mu\text{m}$.



Hình 3.24 Sự phụ thuộc của cường độ ánh sáng vào bước sóng và nhiệt độ



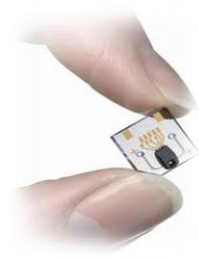
Hoả kế quang điện



Hình 3.25 Sơ đồ hoả kế quang học

- 1) Nguồn bức xạ 2) Vật kính 3) Kính lọc 4&6) Thành ngăn
5) Bóng đèn mẫu 7) Kính lọc ánh sáng đỏ 8) Thị kính

Khi đo, hướng hoả kế vào vật cần đo, ánh sáng từ vật bức xạ cần đo nhiệt độ (1) qua vật kính (2), kính lọc (3), và các vách ngăn (4), (6), kính lọc ánh sáng đỏ (7) tới thị kính (8) và mắt. Bật công tắc K để cấp điện nung nóng dây tóc bóng đèn mẫu (5), điều chỉnh biến trở R_b để độ sáng của dây tóc bóng đèn trùng với độ sáng của vật cần đo.



Hoả kế quang điện

Sai số khi đo:

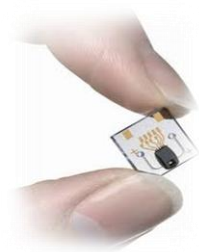
Sai số do độ đen của vật đo $\varepsilon < 1$. Khi đó T_{do} xác định bởi công thức:

$$\frac{1}{T_{do}} = \frac{\lambda}{C_2} \ln \frac{1}{\varepsilon \lambda}$$

Công thức hiệu chỉnh: $T_{do} = T_{doc} + \Delta T$

Giá trị của ΔT cho theo đồ thị.

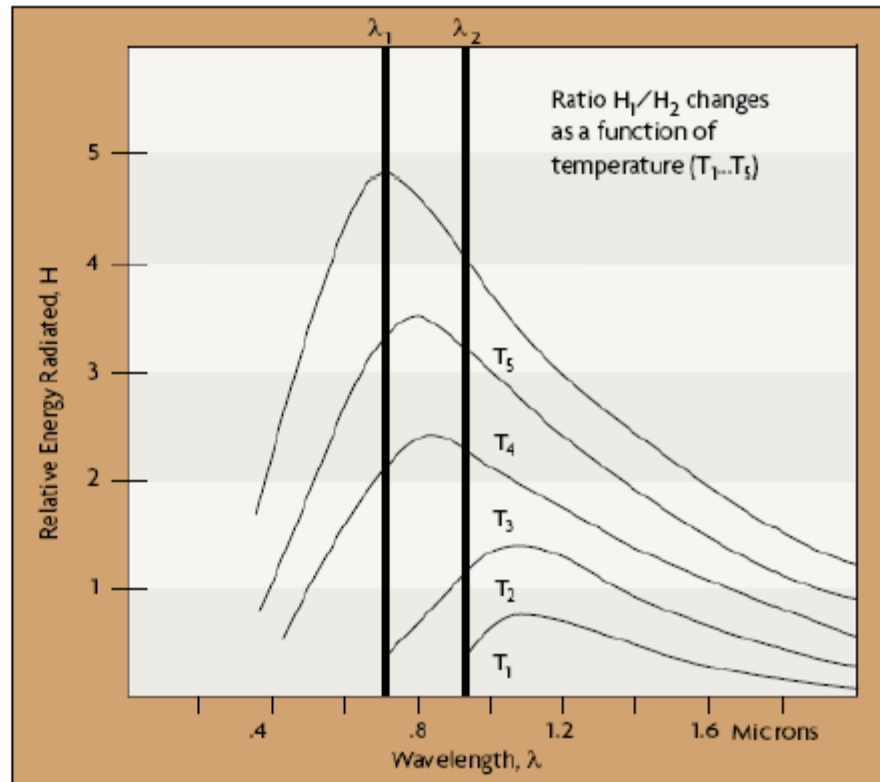
Ngoài ra sai số của phép đo còn do ảnh hưởng của khoảng cách đo, tuy nhiên sai số này thường nhỏ. Khi môi trường có bụi làm bẩn ống kính, kết quả đo cũng bị ảnh hưởng.



Hoả kế màu sắc



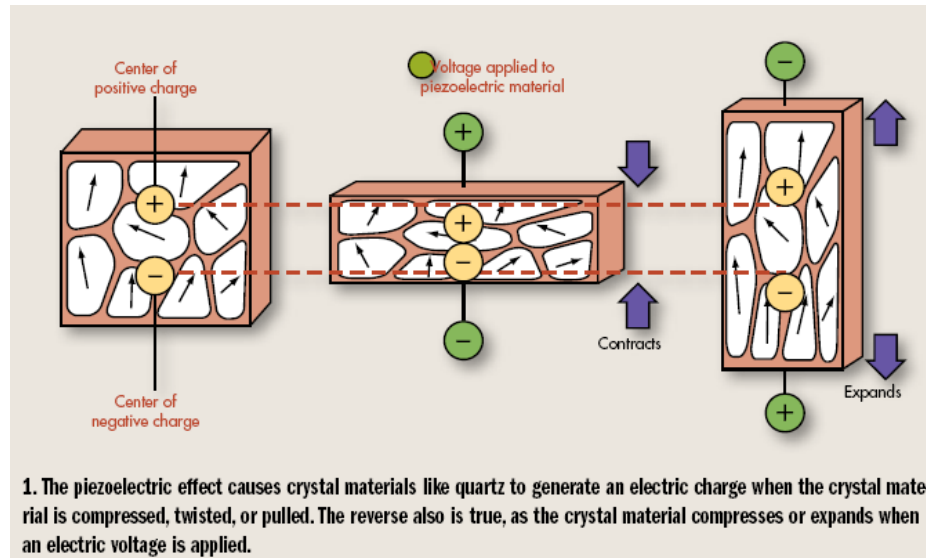
Đặc tính phổ của vật đốt nóng (nhiệt độ thấp đối tượng phát ra ánh sáng đỏ, nhiệt độ cao phát ra ánh sáng xanh đến tím)



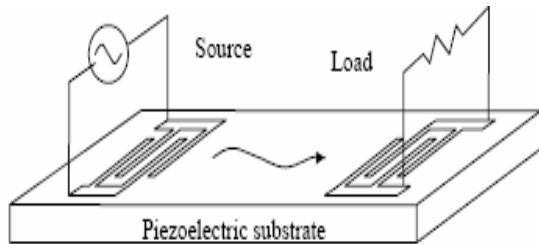
Đo nhiệt độ với cảm biến sóng âm bề mặt (SAW-surface acoustic wave)

- **Content**

- Piezoelectric behavior can be manifested in two distinct ways.
- ‘**Direct**’ **piezoelectric effect** occurs when a piezoelectric material becomes electrically charged when subjected to a mechanical stress and **conversion of mechanical energy to electrical energy**.
- ‘**Converse**’ **piezoelectric effect** occurs when the piezoelectric material becomes strained when placed in an electric field and **conversion of electrical energy to mechanical energy**



Đo nhiệt độ với cảm biến sóng âm bề mặt (SAW-surface acoustic wave)



Interdigital Transducer (IDT) as

- transmitter: converse piezoelectric effect \Rightarrow electric RF field generates SAW.
 - receiver: piezoelectric effect \Rightarrow SAW generates electric RF field
- In both cases maximum coupling strength for $\lambda_{SAW} = v_{SAW} / f \approx 2 \cdot p$ ($\sim 1 \dots 10 \mu m$)

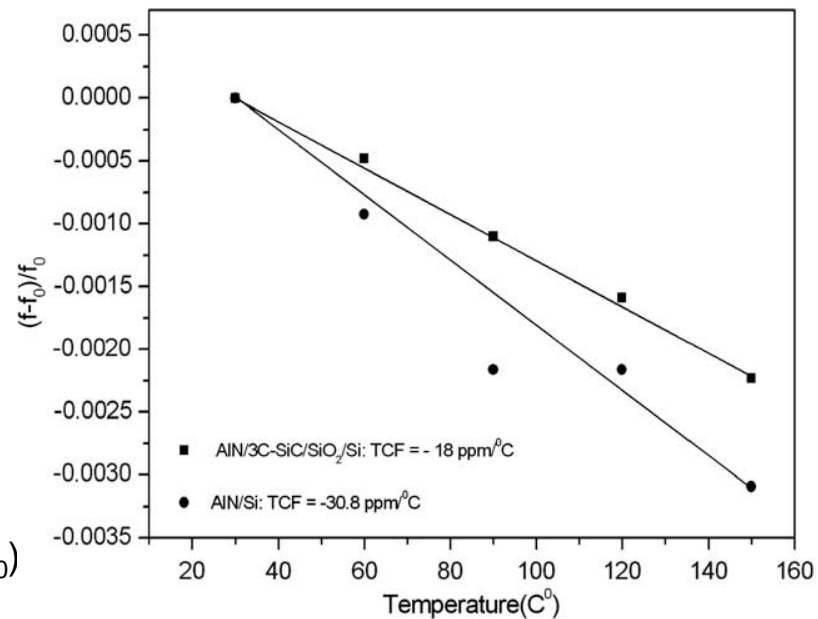
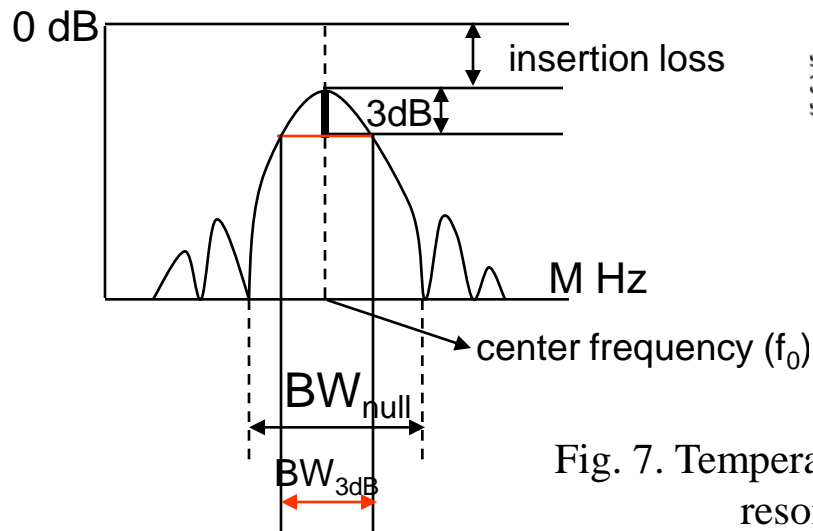
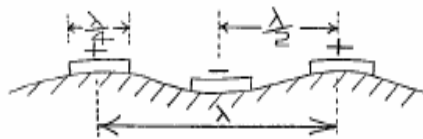
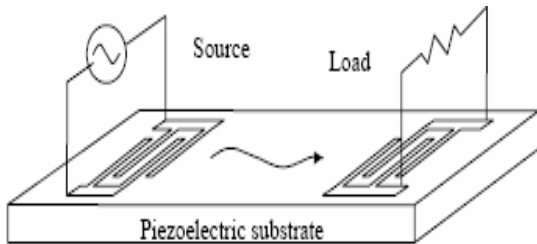


Fig. 7. Temperature dependence of the center frequency of two-port SAW resonators using AlN/3C-SiC and AlN/Si structures.

Đo nhiệt độ với cảm biến sóng âm bề mặt (SAW-surface acoustic wave)



Interdigital Transducer (IDT) as

- transmitter: converse piezoelectric effect \Rightarrow electric RF field generates SAW.
 - receiver: piezoelectric effect \Rightarrow SAW generates electric RF field
- In both cases maximum coupling strength for $\lambda_{\text{SAW}} = v_{\text{SAW}} / f \approx 2 \cdot p$ ($\sim 1 \dots 10 \mu\text{m}$)

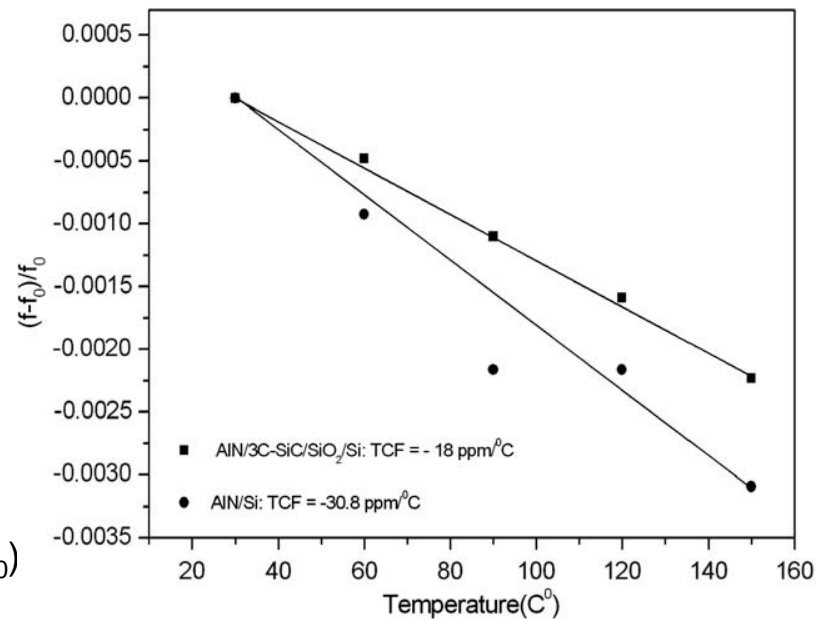
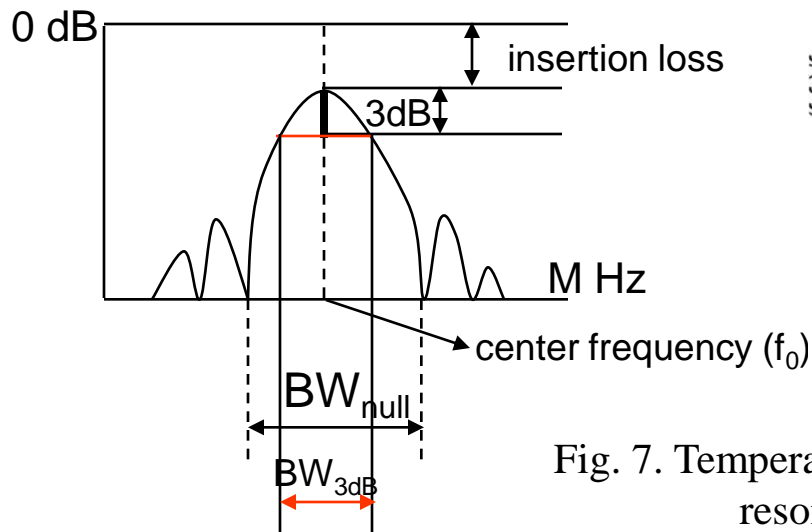
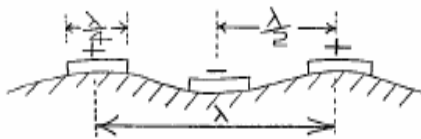
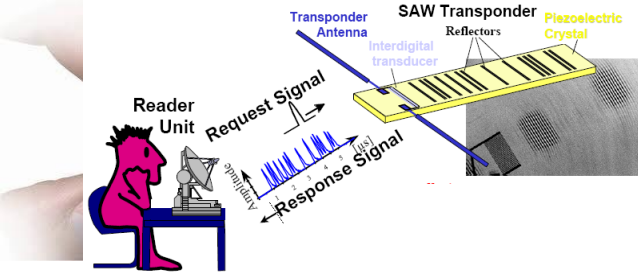
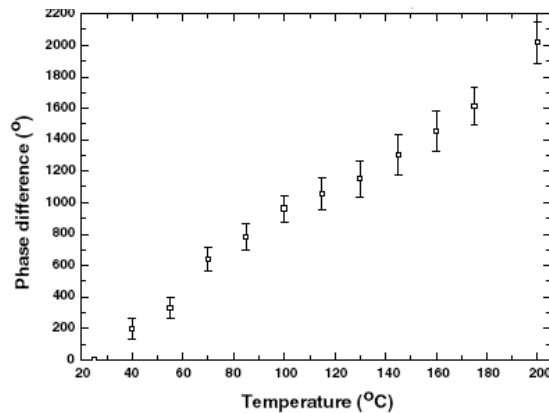
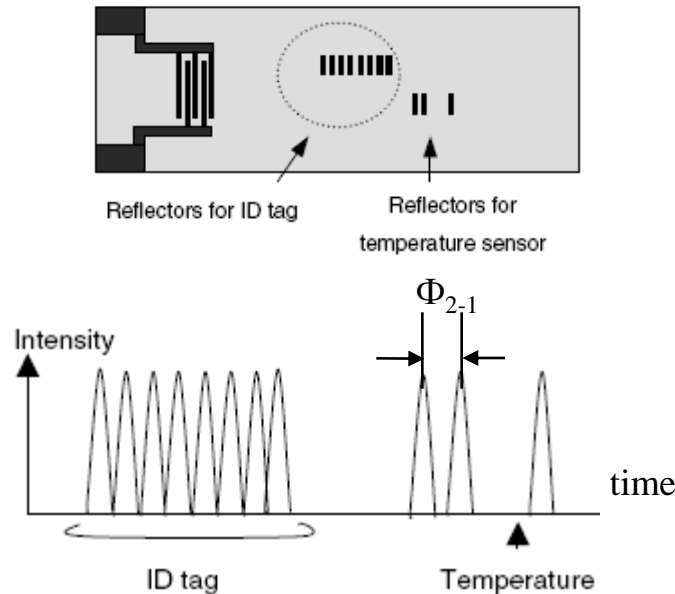


Fig. 7. Temperature dependence of the center frequency of two-port SAW resonators using AIN/3C-SiC and AIN/Si structures.



Wireless SAW temperature sensor

- Principle
- Depending on changes in temperature, the shifts (time position and phase angle) of the reflection peaks were modulated.
- The phase angle shift was used to evaluate the sensitivity because it provides a much higher resolution than the time shift of the reflection peak.
- All three reflectors showed the same sign of the phase shifts because the temperature effects are equal on all the reflectors



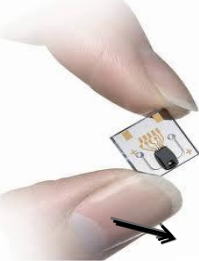
Relation between phase different (Φ) and temperature (T)

$$\Phi_{2-1}(T) = \Phi_{2-1}(T_{\text{ref}}) \cdot [1 + TCD \times (T - T_{\text{ref}})],$$

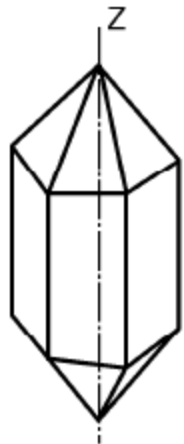
TDC: the temperature coefficient of delay of piezoelectric material

T : measurement temperature

T_{ref} : reference temperature

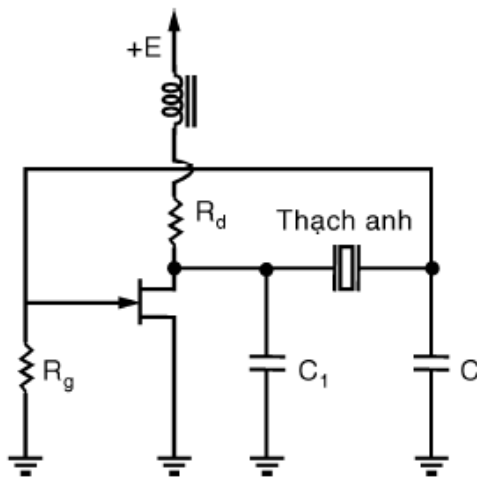


Cảm biến nhiệt độ thạch anh



Hình 7.9: Tinh thể thạch anh

Khi áp vào hai mặt của bản thạch anh một điện áp xoay chiều mà tần số bằng với tần số dao động có thể, hiệu ứng áp điện ngược xảy ra kéo theo sự dao động của bản thạch anh. Như thế có thể xây dựng một hiện tượng dao động cơ điện với sự biến đổi tuần hoàn năng lượng cơ ra năng lượng điện và ngược lại, và năng lượng mất mát rất bé.



Đặc tính đo lường của cảm biến thạch anh đo nhiệt (hãng chế tạo Hewlett Packard):

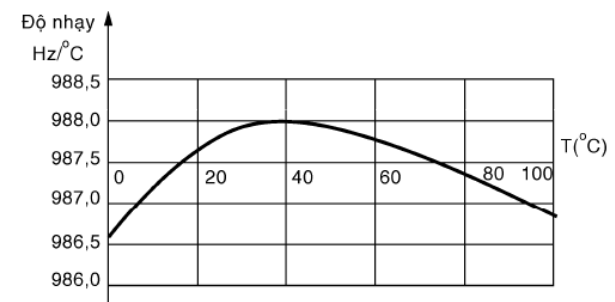
Khoảng đo: -80 đến 250°C .

Khoảng cách tuyến tính: $\pm 0,05\%$ khoảng đo.

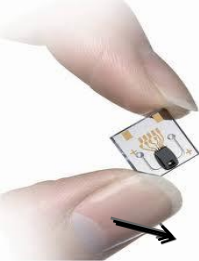
Độ nhạy: $1000 \text{ Hz}/^{\circ}\text{C}$.

Khả năng đo: $0,0001^{\circ}\text{C}$.

Độ nhanh: hằng số thời gian nhiệt $2,5$ giây trong nước có vận tốc 2m/giây .



Hình 7.12: Độ nhạy thay đổi theo nhiệt độ của thạch anh có lực cắt LC



Câu hỏi và Lưu ý

- Nguyên lý?
- Ứng dụng?
- Bù sai số?
- Tính toán thiết kế mạch đo?