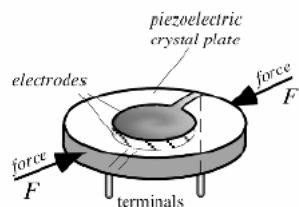


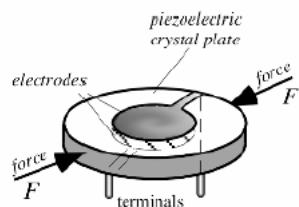
# Kỹ thuật cảm biến

TS. Nguyễn Thị Lan Hương  
Bộ môn Kỹ thuật đo và Tin học Công nghiệp



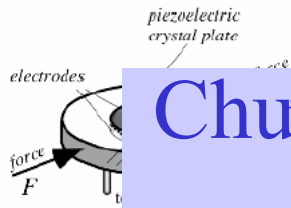
## Tài liệu tham khảo

- [1] *Các bộ cảm biến trong kỹ thuật đo lường và điều khiển*, Nhà XB Khoa học Kỹ thuật (2001), Chủ biên tập PGS.TS. Lê Văn Doanh
- [2] *Cảm biến*, Nhà XB Khoa học kỹ thuật (2000), Phan Quốc Phô, Nguyễn Đức Chiến
- [3] *Process/Industrial Instruments and Controls Handbook*, Mc GRAW-Hill (1999), Gregory K.McMillan; Douglas M. Considine,



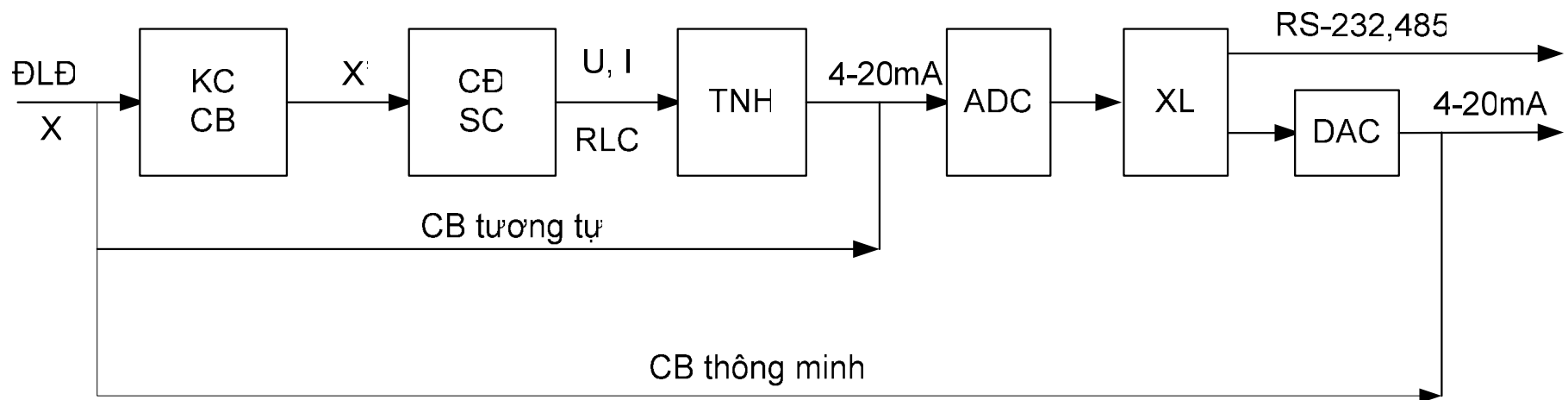
## Nội dung giảng dạy

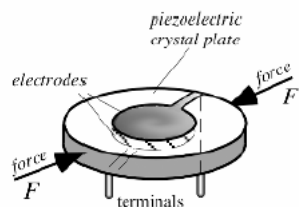
- Khái niệm cảm biến và xu hướng phát triển
- Đặc tính kỹ thuật của cảm biến
- Các kỹ thuật cảm biến cơ bản dùng trong công nghiệp
  - Nguyên lý và hiệu ứng vật lý của các chuyển đổi sơ cấp
- Ứng dụng các chuyển đổi sơ cấp cho việc đo các đại lượng vật lý- thiết bị và cảm biến đo
  - Đo nhiệt độ
  - Đo áp suất, đo lưu lượng
  - Đo tải trọng
  - Đo mức
  - Đo tốc độ động cơ
  - Đo gia tốc chuyển động



# Chương 1. Khái niệm và các đặc tính kỹ thuật của cảm biến

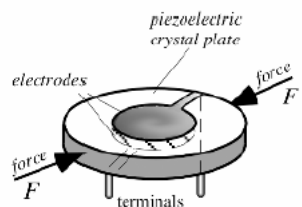
- Sơ đồ các cảm biến trong công nghiệp





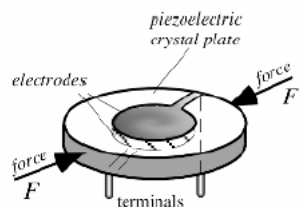
## Phân loại Cảm biến

- Theo nguyên lý hoạt động
  - Chuyển đổi điện trở
  - Chuyển đổi điện từ
  - Chuyển đổi nhiệt điện
  - Chuyển đổi điện tử và ion
  - Chuyển đổi hóa điện
  - Chuyển đổi tĩnh điện
  - Chuyển đổi lượng tử
- Theo kích thích: quang, cơ học, âm học...
- Theo tính năng
- Theo ứng dụng
- Theo mô hình thay thế: Tích cực và thụ động



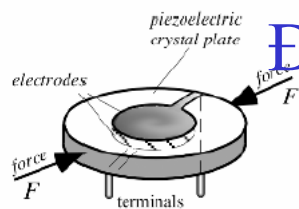
## Ví dụ về cảm biến thụ động

Đại lượng	Thông số biến đổi	Vật liệu làm cảm biến
Nhiệt độ	Điện trở suất	Kim loại : platine, nickel, đồng, chất bán dẫn Thuỷ tinh
Nhiệt độ rất thấp	Hằng số điện môi	
Biến dạng	Điện trở suất Độ từ thẩm	Hợp kim niken và silic mạ Hợp kim sắt từ
Vị trí	Điện trở suất	Từ trở
Từ thông của bức xạ quang	Điện trở suất	Bán dẫn
Độ ẩm	Điện trở suất Hằng số điện môi	Chlorure de lithium Hợp kim polymere
Mức	Hằng số điện môi	Cách điện lỏng



## Ví dụ về cảm biến tích cực

Đại lượng vật lý cần đo	Hiệu ứng sử dụng	Tín hiệu ra
Lực áp suất Gia tốc	Áp điện	Điện tích
Nhiệt độ	Nhiệt điện	Điện áp
Tốc độ (vận tốc)	Cảm ứng điện từ	Điện áp
Vị trí	Hiệu ứng Hall	Điện áp
Từ thông bức xạ quang	Hoa quang Phát xạ quang Hiệu ứng quang áp Hiệu ứng quang điện từ	Điện tích Dòng điện Điện áp Điện áp



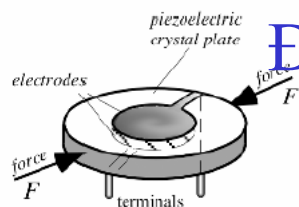
## Đặc điểm của các phương pháp đo các đại lượng không điện

### c. Các loại cảm biến hay được sử dụng trong công nghiệp và dân dụng

- Cảm biến đo nhiệt độ (37,29%\*)
- Cảm biến đo vị trí (27,12%\*)
- Cảm biến đo di chuyển (16,27%\*)
- Cảm biến đo áp suất (12,88%\*)
- Cảm biến đo lưu lượng (1,36%\*)
- Cảm biến đo mức (1,2%\*)
- Cảm biến đo lực (1,2%\*)
- Cảm biến đo độ ẩm (0,81%\*)

*\*: Xếp theo số lượng các loại cảm biến bán được tại Pháp năm 2002*





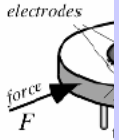
## Đặc điểm của các phương pháp đo các đại lượng không điện

### d. Các lĩnh vực ứng dụng

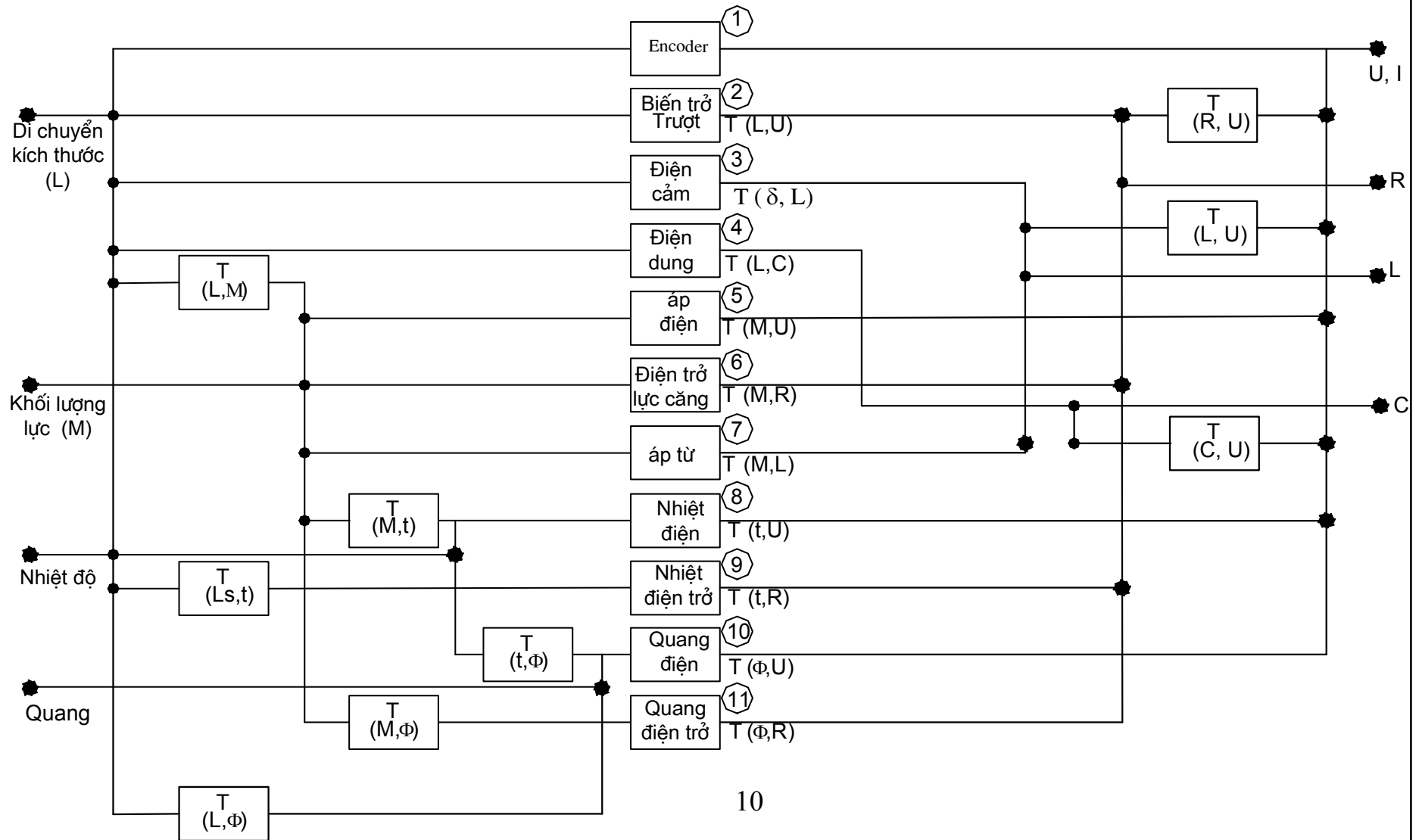
- Xe hơi : (38%\*)
- Sản xuất công nghiệp: (20%\*)
- Điện gia dụng : (11%\*)
- Văn phòng: (9%\*)
- Y tế: (8%\*)
- An toàn: (6%\*)
- Môi trường: (4%\*)
- Nông nghiệp: (4%\*)

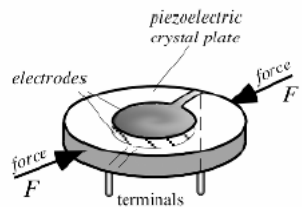
*\*: Xếp theo số lượng các loại cảm biến bán được tại Pháp năm 2002*

piezoelectric  
crystal plate

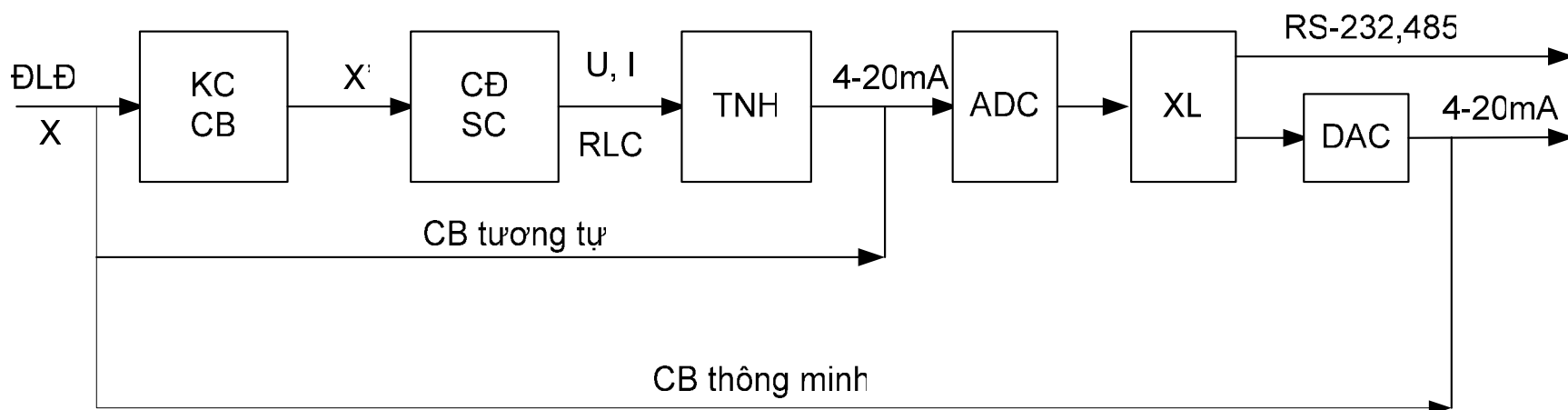


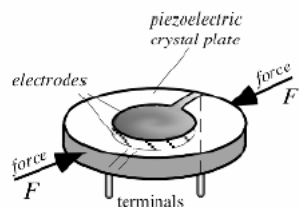
# Sơ đồ chuyển đổi giữa các đại lượng - các loại cảm biến





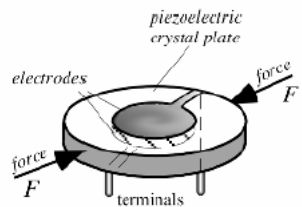
## Biến đổi giữa các đại lượng (điện) của tín hiệu- Biến đổi thống nhất hóa





## 4. Các dạng biến đổi chuẩn hoá thường gặp

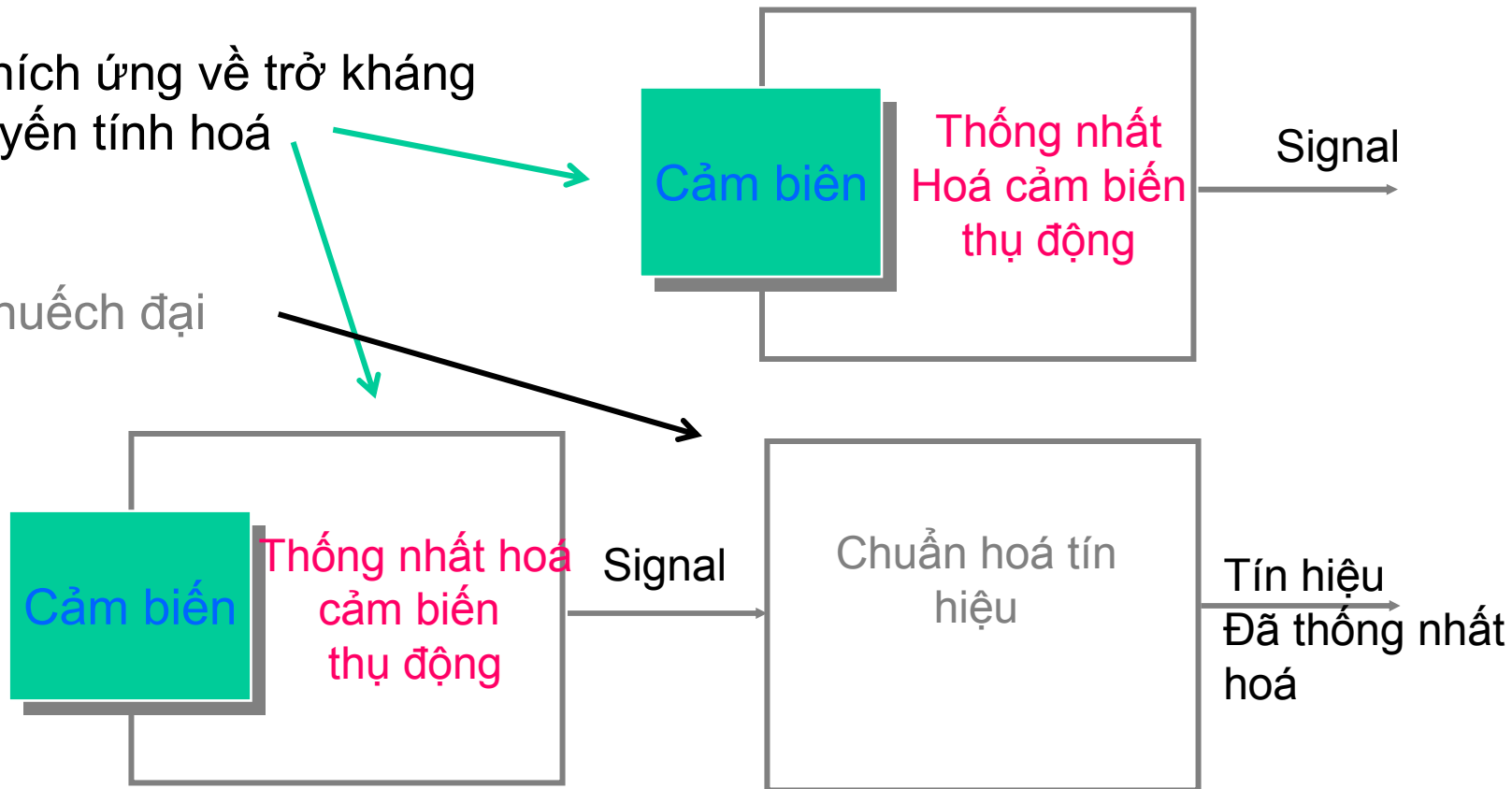
- Hoà hợp tải giữa cảm biến và mạch đo
- Cấp nguồn cho cảm biến thụ động
- Tuyến tính hoá đặc tính phi tuyến của cảm biến
- Tuyến tính hoá tín hiệu ra của mạch đo (VD cầu Wheatstone)
- Khuếch đại tín hiệu ra của cảm biến
- Loại nhiễu tác động lên tín hiệu ra của cảm biến
- Khuếch đại đo lường để triệt tiêu hoặc làm giảm các nhiễu tác động (điện áp ký sinh và dòng điện rò trên đường truyền)

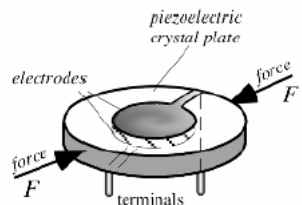


# Vấn đề của bộ thống nhất hoá

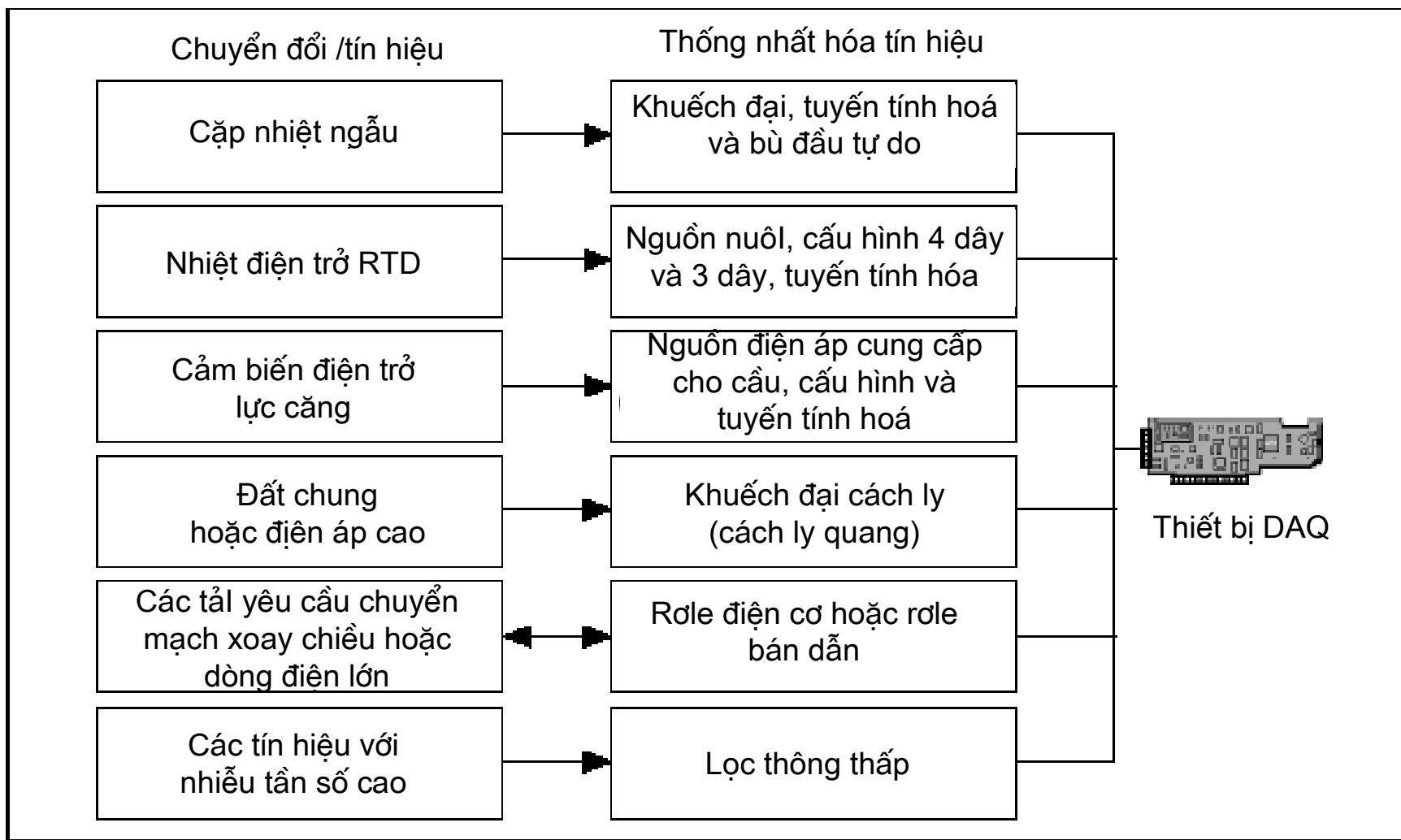
Thích ứng về trở kháng  
tuyến tính hoá

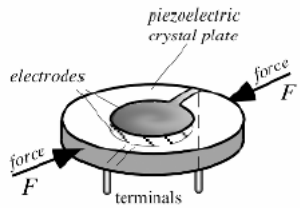
Khuếch đại



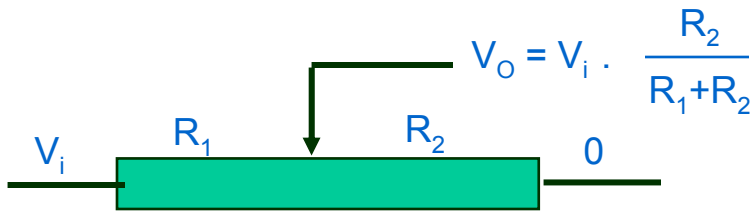


# Ví dụ

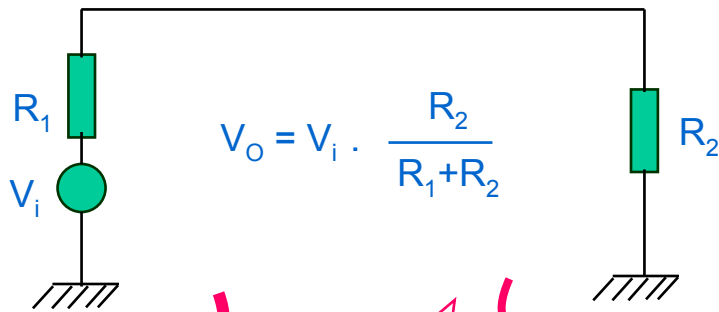




# Hoà hợp trở kháng

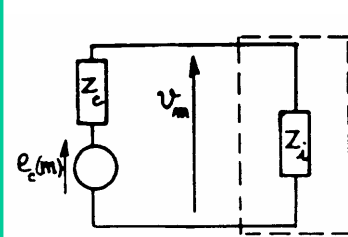


Một chuỗi đo có thể coi là một phân áp

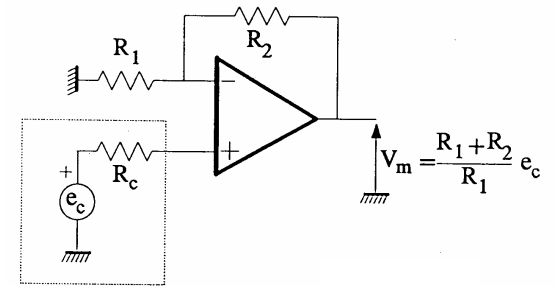


$Z_1 \ll Z_2$

## Nguồn áp

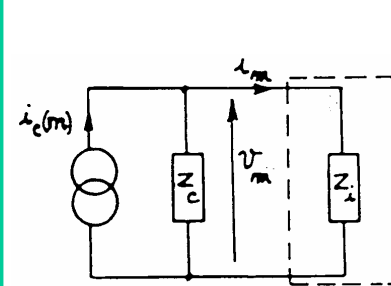


Nguồn Tại đo lường

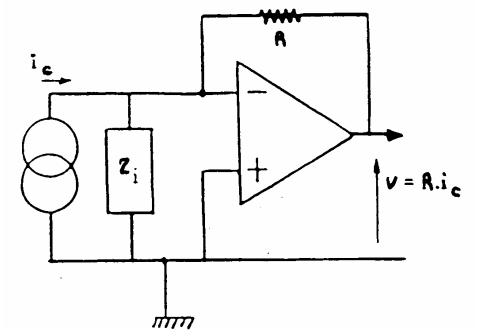


kiểu mạch lặp lại

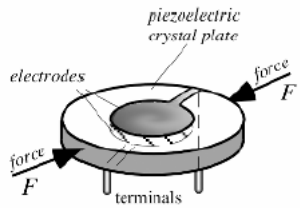
## Nguồn dòng



Nguồn tại đo lường

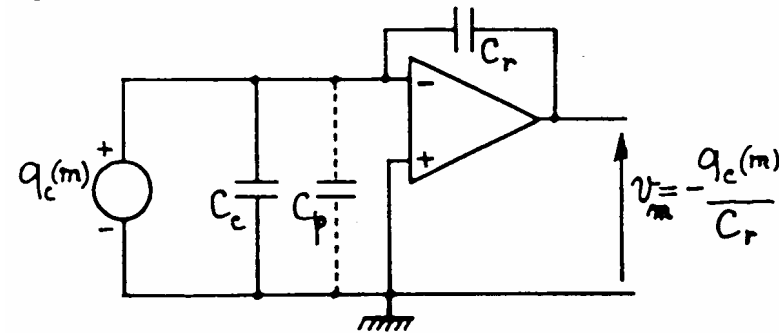
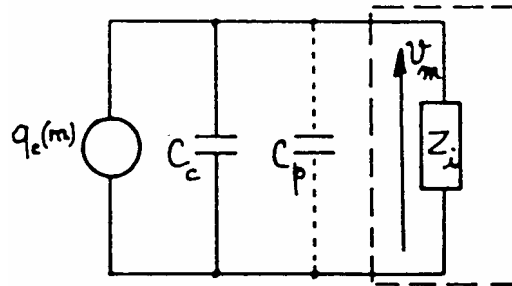


bộ biến đổi dòng - áp



# Hoà hợp trở kháng

## Nguồn điện tích

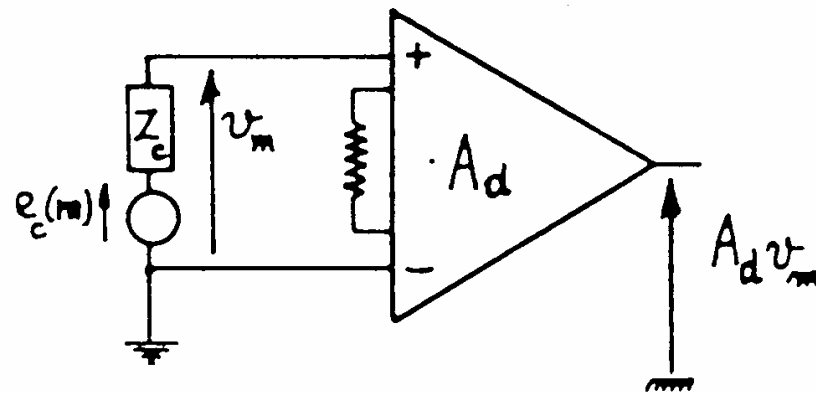


## khuếch đại điện tích

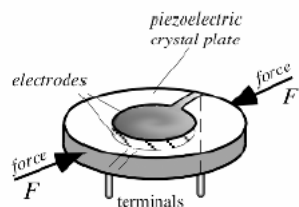
Điện tích được đưa vào một tụ điện không đổi  $C_r$ , khi tích lũy vào tụ tạo ra một điện áp trên cực của tụ điện tỉ lệ với điện tích nạp vào

## Khuếch đại đo lường

Mạch vào vi sai

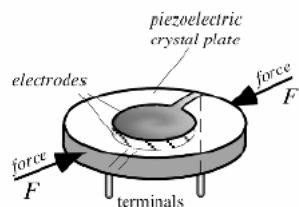






## Thông số kỹ thuật của cảm biến

- Dải đo, ngưỡng nhạy và độ phân giải khả năng phân ly
- Độ nhạy và Tính tuyến tính của thiết bị
- Sai số hay độ chính xác
- Đặc tính động
- Một số thông số khác như: công suất tiêu thụ, trở kháng, kích thước, trọng lượng của thiết bị



## 4.2.1. Độ nhạy

Phương trình cơ bản

$$Y = F(X, a, b, c, \dots)$$

$\partial F / \partial X$  - Độ nhạy với x (Sensitivity)

$\partial F / \partial a$  - Độ nhạy của yếu tố ảnh hưởng a hay nhiễu

$\Delta F / \Delta X = K_{X_t}$  - Độ nhạy theo X ở  $X_t$  hay người ta còn ký hiệu là S

Khi  $K = \text{const}$   $\rightarrow$  X, Y là tuyến tính.

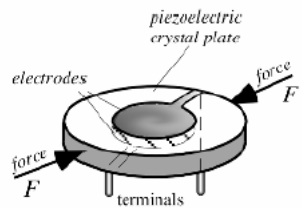
$K = f(X)$   $\rightarrow$  X, Y là không tuyến tính  $\rightarrow$  sai số phi tuyến.

➤ Việc xác định K bằng thực nghiệm gọi là khắc độ thiết bị đo. Với một giá trị của X có thể có các giá trị Y khác nhau, hay K khác nhau.

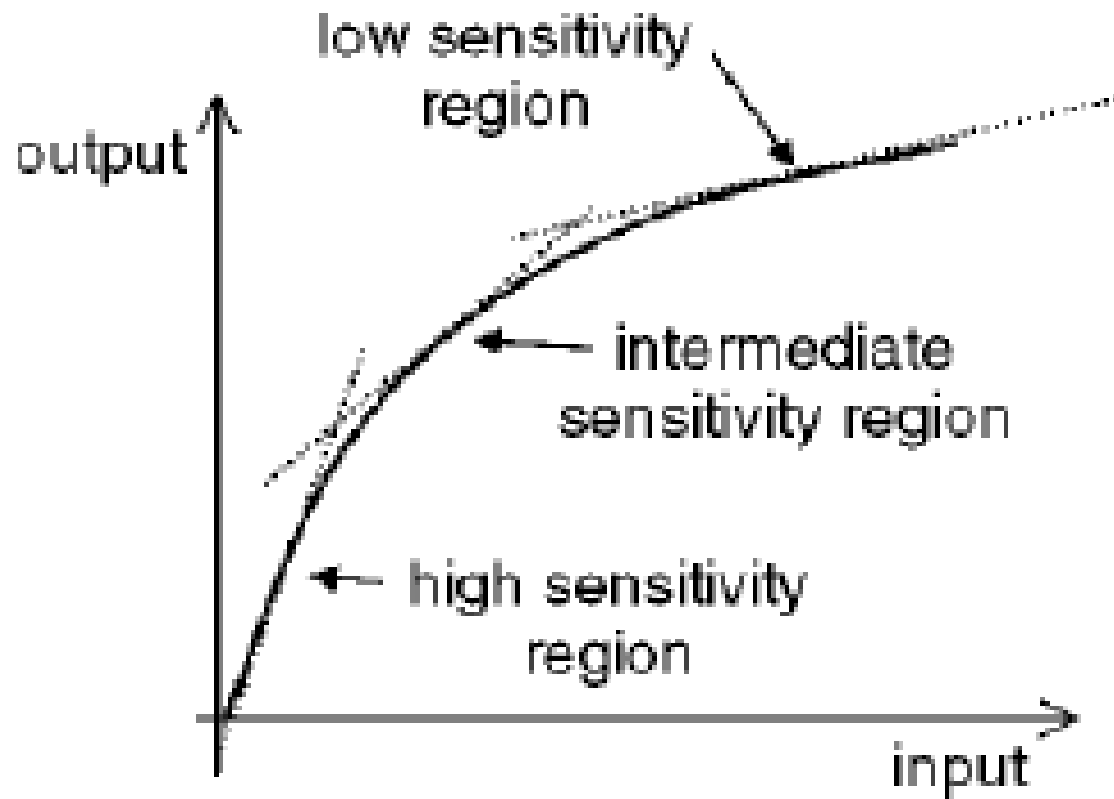
$dK_{X_t} / K_{X_t}$  - (Repeatability) Thể hiện tính ổn định của thiết bị đo hay tính lặp lại của thiết bị đo.

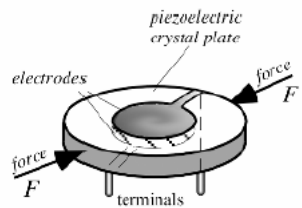
$dK_{X_t} / K_{X_t} = dS / S = \gamma_s$  - Sai số độ nhạy của thiết bị đo  $\rightarrow$  nhân tính.

(Hysteresis)

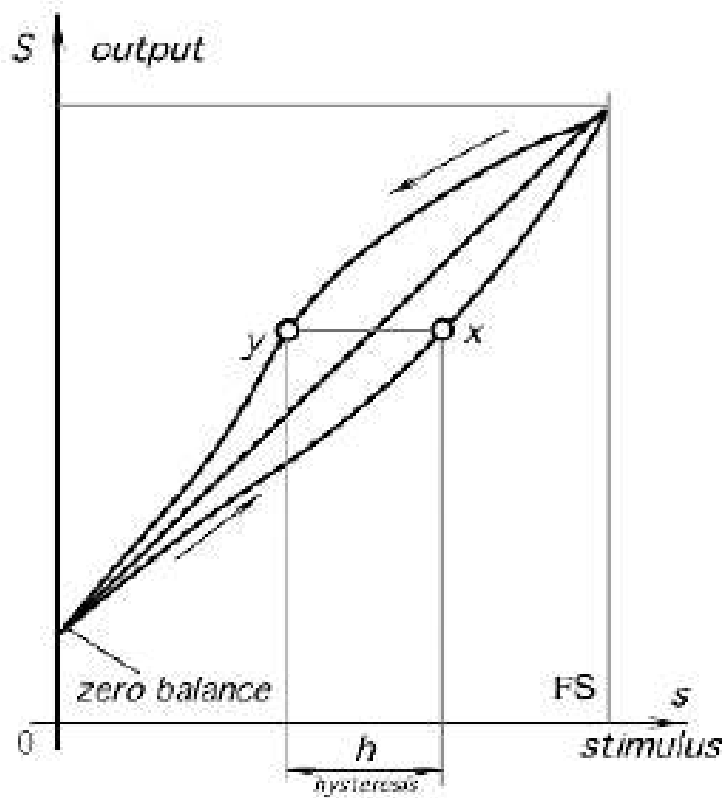


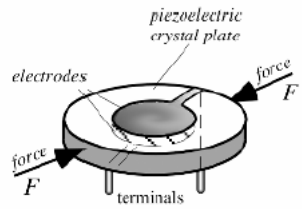
# Độ nhạy



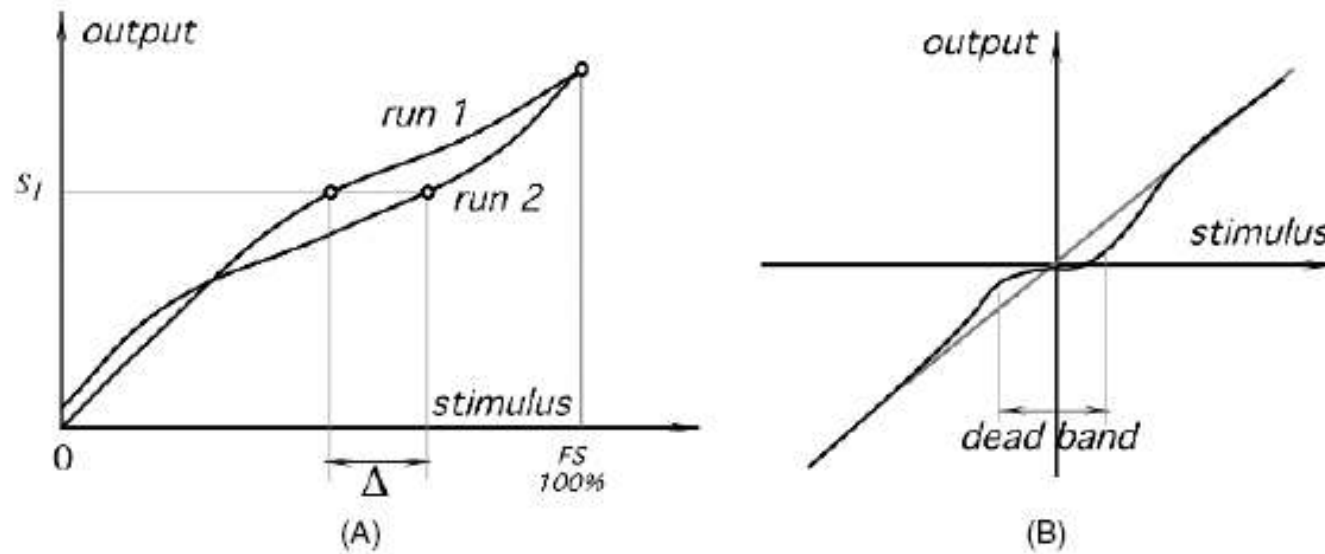


# Trễ hay trơ của thiết bị (Hysteresis)

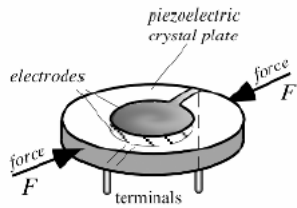




# Tính lặp lại



**Fig. 2.7.** (A) The repeatability error. The same output signal  $S_1$  corresponds to two different input signals. (B) The dead-band zone in a transfer function.



## 4.2.2. Hệ số phi tuyến của thiết bị

Để đánh giá tính phi tuyến của thiết bị đo ta xác định hệ số phi tuyến của nó.

Hệ số phi tuyến xác định theo công thức sau:

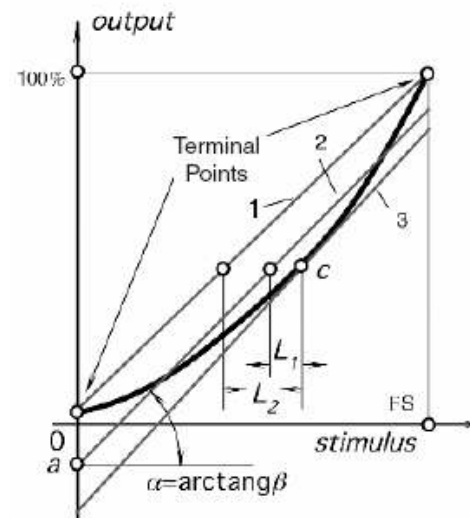
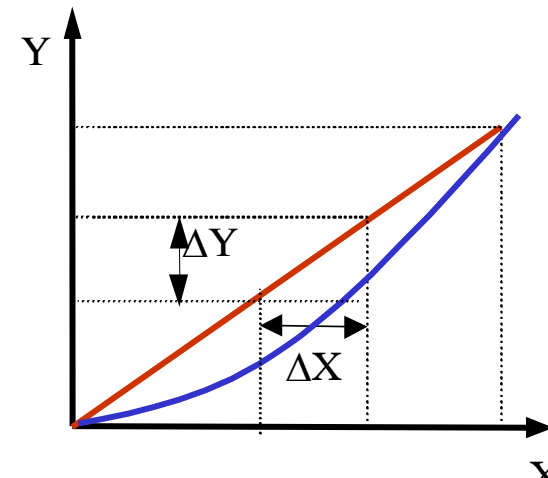
$$K_{pt} = \frac{\Delta X_{max}}{X_n}$$

•  $\Delta X_{max}$  - là sai lệch lớn nhất

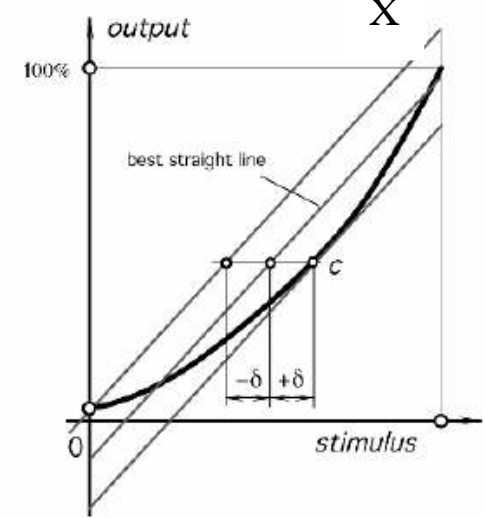
Ta thường dùng khâu bù phi tuyến

$$S_{cb} \cdot S_b = K$$

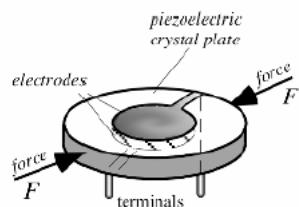
(Nonlinearity Error)



(A)



(B)



## Khoảng đo, ngưỡng nhạy và khả năng phân ly

- **Khoảng đo (Span/Full Scal/Range):**  $D_x = X_{\max} - X_{\min}$

- **Ngưỡng nhạy, khả năng phân ly (Resolution):**

Khi giảm X mà Y cũng giảm theo, nhưng với  $\Delta X \leq \epsilon_x$  khi đó không thể phân biệt được  $\Delta Y$ ,  $\epsilon_x$  được gọi là ngưỡng nhạy của thiết bị đo.

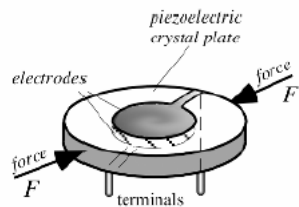
*Khả năng phân ly của cảm biến*

*-Thiết bị tương tự*

$$R_x = \frac{D_x}{\epsilon_x}$$

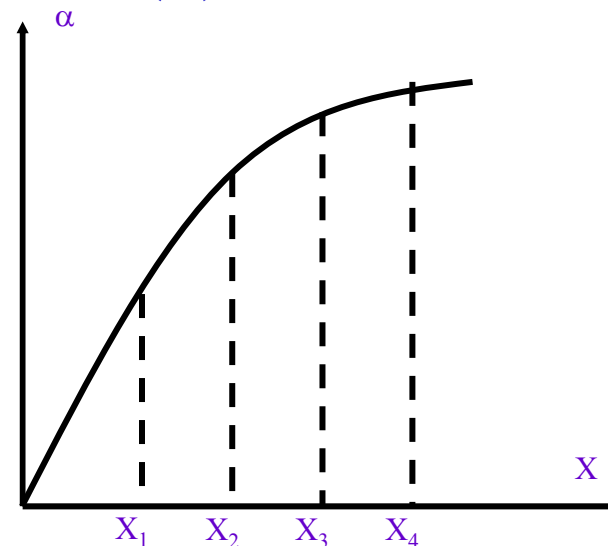
*-Thiết bị số:*

$$R_x = \frac{D_x}{\epsilon_g} = N_n$$



## 4.2.6. Đặc tính động của thiết bị (1)

- Hàm truyền cơ bản :  $Y(p)=K(p).X(p)$
- Đặc tính động:
  - + Đặc tính quá độ
  - + Đặc tính tần
  - + Đặc tính xung



Khi đại lượng  $X$  biến thiên theo thời gian ta sẽ có quan hệ

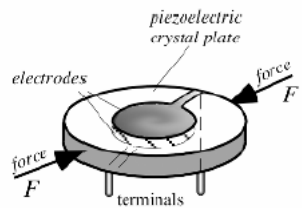
- $\alpha(t)=S_t[X(t)]$

Quan hệ được biểu diễn bằng một phương trình vi phân. Phương trình vi phân ấy được viết dưới dạng toán tử.

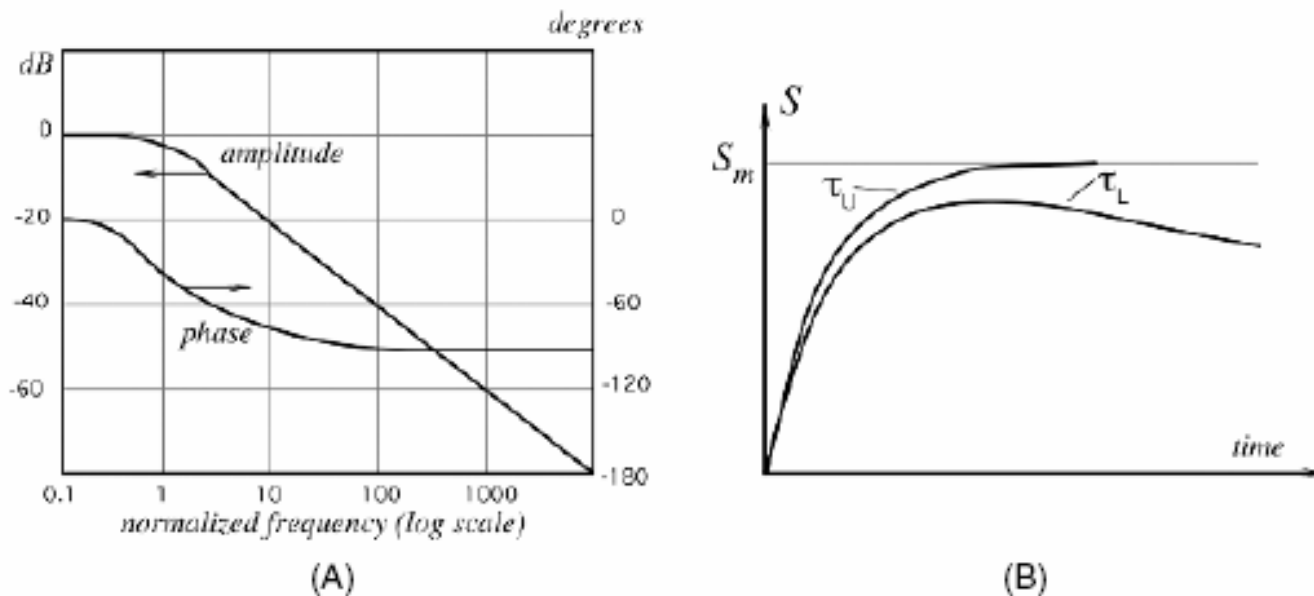
$$\alpha(p)=S(p).X(p)$$

$S(p)$ - Gọi là độ nhạy của thiết bị đo trong quá trình đo đại lượng động





## Đặc tính động của cảm biến (2)



**Fig. 2.9.** Frequency characteristic (A) and response of a first-order sensor (B) with limited upper and lower cutoff frequencies.  $\tau_U$  and  $\tau_L$  are corresponding time constants.

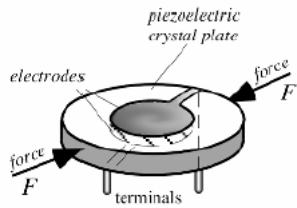
Khi đại lượng  $X$  biến thiên theo thời gian ta sẽ có quan hệ

$$\alpha(t) = S_t[X(t)]$$

Quan hệ được biểu diễn bằng một phương trình vi phân. Phương trình vi phân ấy được viết dưới dạng toán tử.

$$\alpha(p) = S(p) \cdot X(p)$$

$S(p)$ - Gọi là độ nhạy của thiết bị đo trong quá trình đo đại lượng động



## Đặc tính động của cảm biến (2)

Nếu đại lượng vào có dạng xung hẹp

$$X(t) = X_t \delta(t - \tau)$$

$S(p)$ - thể hiện dưới dạng hàm  $h(t)$  đặc trưng cho đặc tính xung của thiết bị đo.

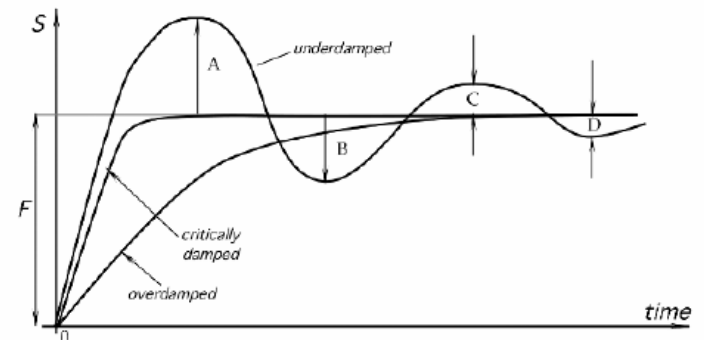
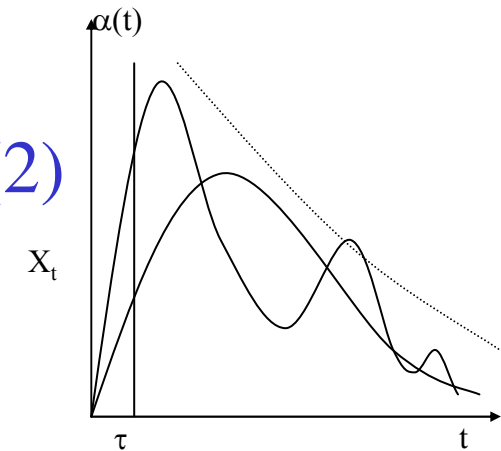
Đặc tính xung thiết bị đo có thể có giao động hoặc không tùy theo  $S(p)$

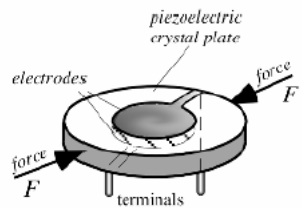
- Nếu đại lượng có dạng xung bước nhảy

$$X_t = X_t \cdot 1(t - \tau)$$

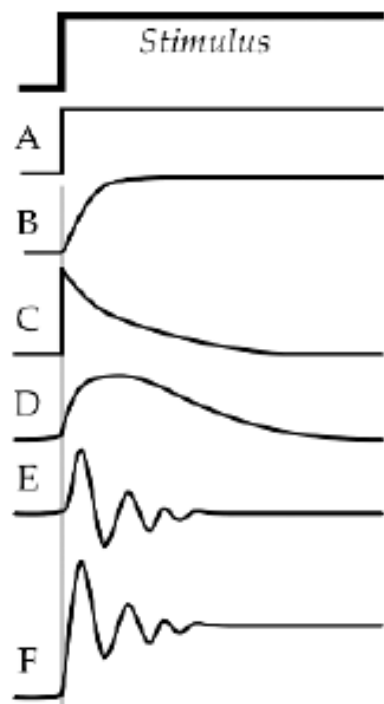
$S(p)$  - thể hiện dưới dạng  $h(t)$  theo quan

- $S(p)$  đặc trưng cho đặc tính quá độ của thiết bị đo và tùy theo phương trình đặc tính của nó, nó có thể giao động hoặc không giao động.

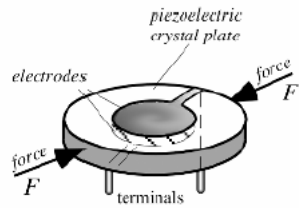




# Một số dạng đáp ứng bậc 1

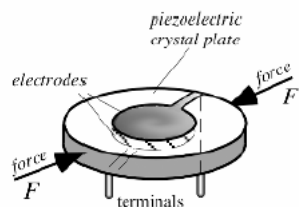


**Fig. 2.11.** Types of response: (A) unlimited upper and lower frequencies; (B) first-order limited upper cutoff frequency; (C) first-order limited lower cutoff frequency; (D) first-order limited both upper and lower cutoff frequencies; (E) narrow bandwidth response (resonant); (F) wide bandwidth with resonant.



## Chương II. Các cảm biến đo nhiệt độ

- Cảm biến nhiệt điện trở
- Cảm biến cặp nhiệt ngẫu
- Cảm biến dựa trên lớp chuyển tiếp bán dẫn
- Cảm biến dựa trên bức xạ quang học



## 2.1. Nhiệt kế nhiệt điện trở

Nhiệt điện trở là là điện trở thay đổi theo sự đổi nhiệt độ của nó:  $R_T = f(t^0)$ ,  
do  $R_T$  có thể suy ra nhiệt độ.

Nhiệt điện trở được chia ra thành:

**Nhiệt điện trở kim loại và nhiệt điện trở bán dẫn.**

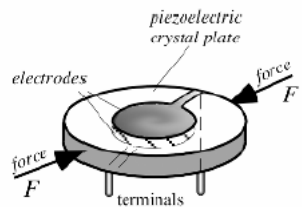
Điện trở kim loại ( RTD) theo nhiệt độ  $R_T = R_0(1 + \alpha t + \beta t^2 + \gamma t^3)$

Với Pt:  $\alpha = 3.940 \cdot 10^{-3} / ^\circ\text{C}$

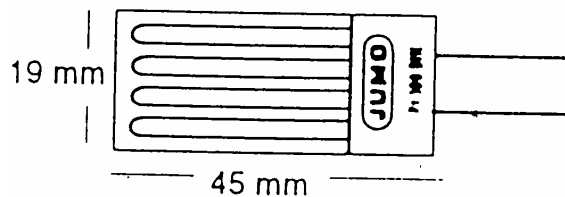
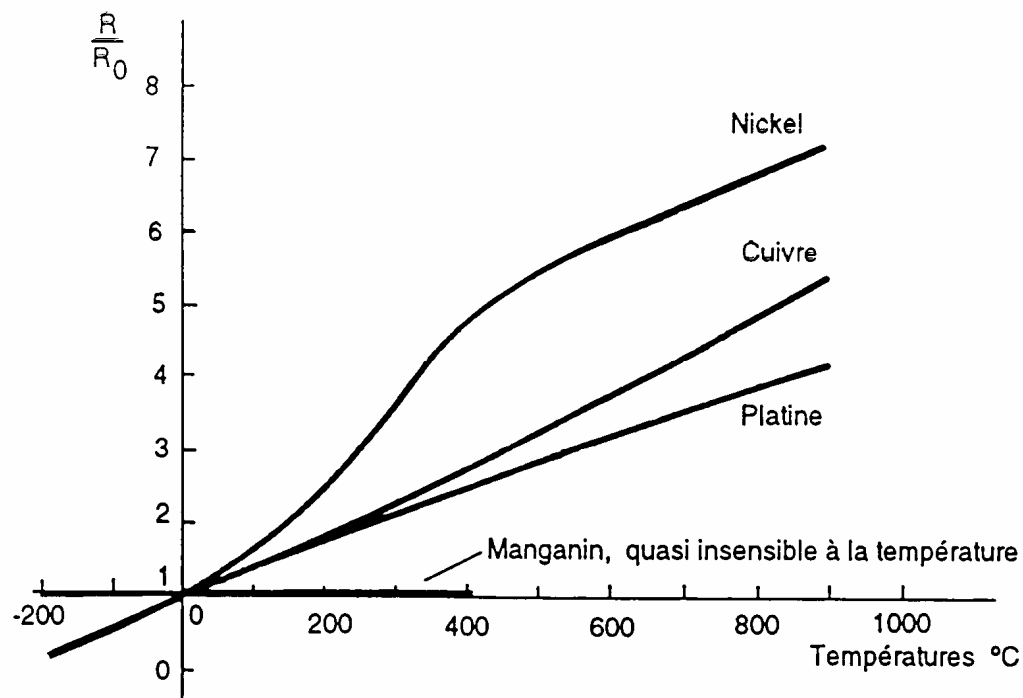
$\beta = -5.8 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}^2$ ;  $\gamma \approx 0$  trong khoảng 0-600 $^\circ\text{C}$ ;  $\gamma = -4 \cdot 10^{-12} / ^\circ\text{C}^3$

Đối với đồng từ -50 $^\circ\text{C}$  đến 200 $^\circ\text{C}$ :  $\alpha = 4.27 \cdot 10^{-3} / ^\circ\text{C}$

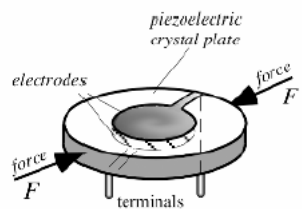
$\beta$  và  $\gamma$  trong phạm vi sử dụng với độ chính xác không cao thì coi như không đáng kể và quan hệ  $R_T$  và  $t$  coi như tuyến tính.



## A, Nhiệt điện trở kim loại

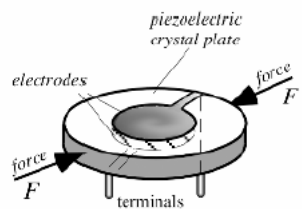


Điện trở chuẩn hoá  $R_0=100 \Omega$  tại  $0^\circ\text{C}$



## Hệ số nhiệt độ của một số kim loại

	Cu	Ni	Pt	W
$T_f, ^\circ\text{C}$	1083	1453	1769	3380
$C, \text{J}^\circ\text{C}^{-1}\text{kg}^{-1}$	400	450	135	125
$\lambda_t, \text{W}^\circ\text{C}^{-1}\text{m}^{-1}$	400	90	73	120
$\alpha_1, ^\circ\text{C}^{-1}$	$16,7 \cdot 10^{-6}$	$12,8 \cdot 10^{-6}$	$8,9 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-6}$
$\rho, \Omega\text{m}$	$1,72 \cdot 10^{-8}$	$10 \cdot 10^{-8}$	$10,6 \cdot 10^{-8}$	$5,52 \cdot 10^{-8}$



## Nhiệt điện trở kim loại

Để đo những nhiệt độ từ  $-50^{\circ}\text{C}$  -  $600^{\circ}\text{C}$  người ta thường dùng nhiệt điện trở

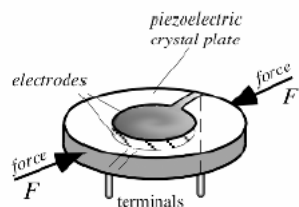
PT-100 (Platin  $100\Omega$  ở  $0^{\circ}\text{C}$ )

Cu -100 (đồng  $100\Omega$  ở  $0^{\circ}\text{C}$ )

Ni-100 (Ni  $100\Omega$  ở  $0^{\circ}\text{C}$ )

nhiệt độ, $^{\circ}\text{C}$	-200	-190	-180	-170	-160	-150	-140	-130	-120	-100	nhiệt độ, $^{\circ}\text{C}$
$\Omega$	17.28	21.65	25.98	39.29	34.56	38.80	43.02	47.21	51.38	55.52	$\Omega$
$^{\circ}\text{C}$	-100	-90	-80	-70	-60	-50	-40	-30	-20	-10	$^{\circ}\text{C}$
$\Omega$	59.65	63.75	67.84	71.91	75.96	80.00	84.03	88.04	92.04	96.03	$\Omega$
$^{\circ}\text{C}$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	$^{\circ}\text{C}$
$\Omega$	100.0 0	103.9 6	107.9 1	108.5	115.7 8	119.7 0	123.1 0	127.4 9	131.3 7	135.2 4	$\Omega$





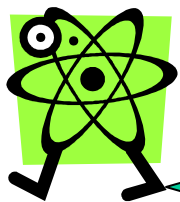
## B, Nhiệt điện trở bán dẫn (NTC-PTC)

Nhiệt điện trở bán dẫn  $R_T = Ae^{\beta/T}$

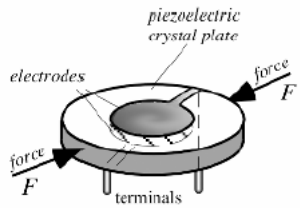
A và  $\beta$  đều không ổn định. Ta cũng có thể tính

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

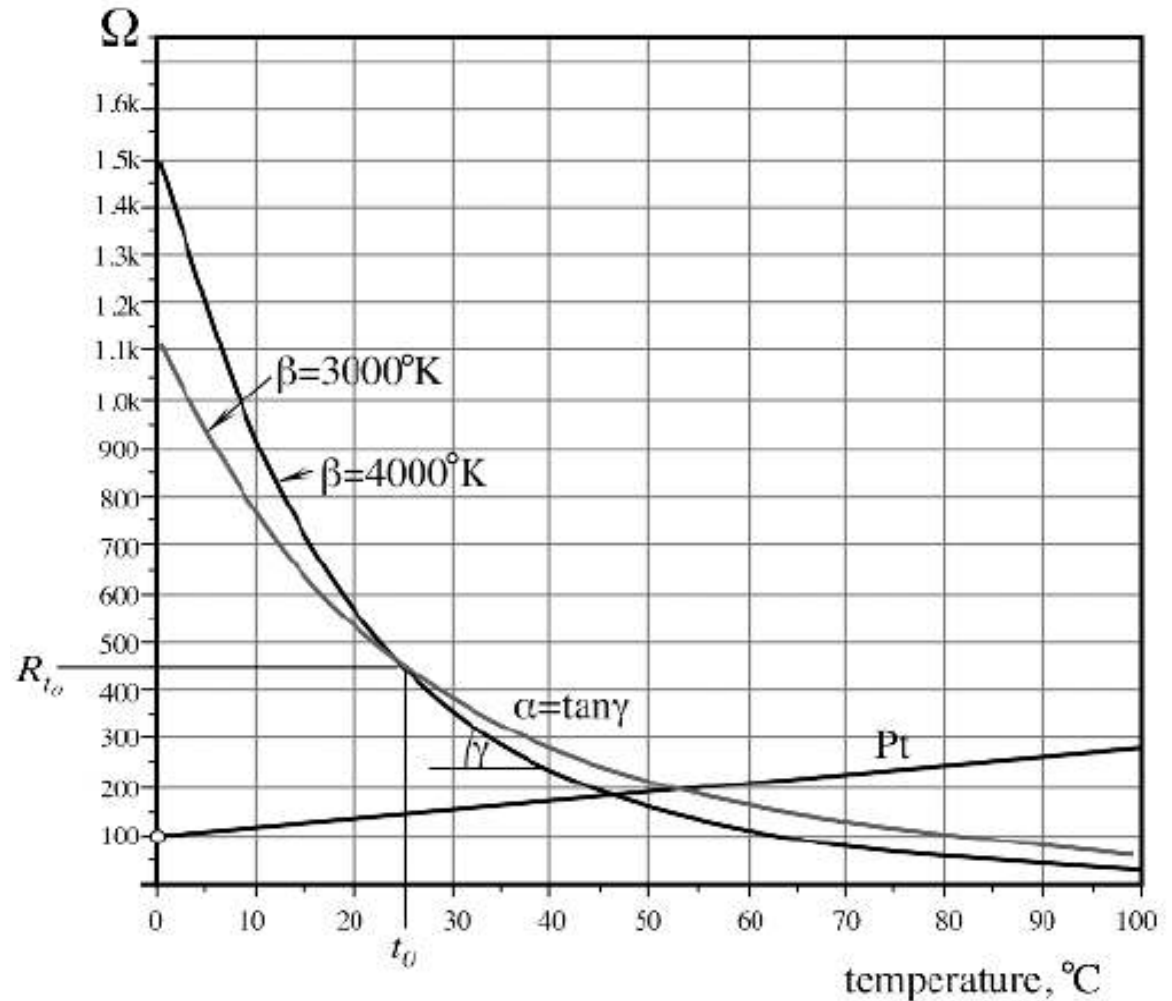
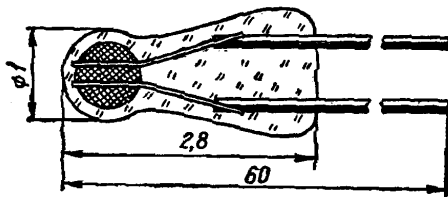
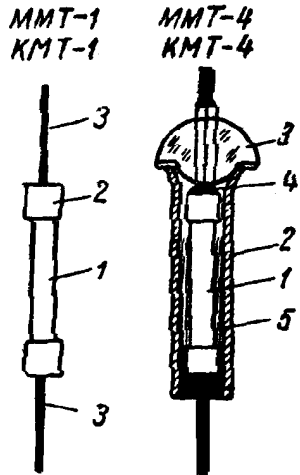
Thông thường được chế tạo từ các oxit bán dẫn đa tinh thể:  $\text{MgO}$ ,  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ,  $\text{Mn}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Co}_2\text{O}_3$ ,  $\text{NiO}$ ,  $\text{ZnTiO}_4$



Các bột oxit được trộn theo một tỉ lệ thích hợp, sau đó được nén với định dạng và thiêu kết ở nhiệt độ  $1000^\circ\text{C}$



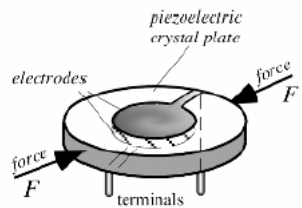
# Nhiệt điện trở bán dẫn



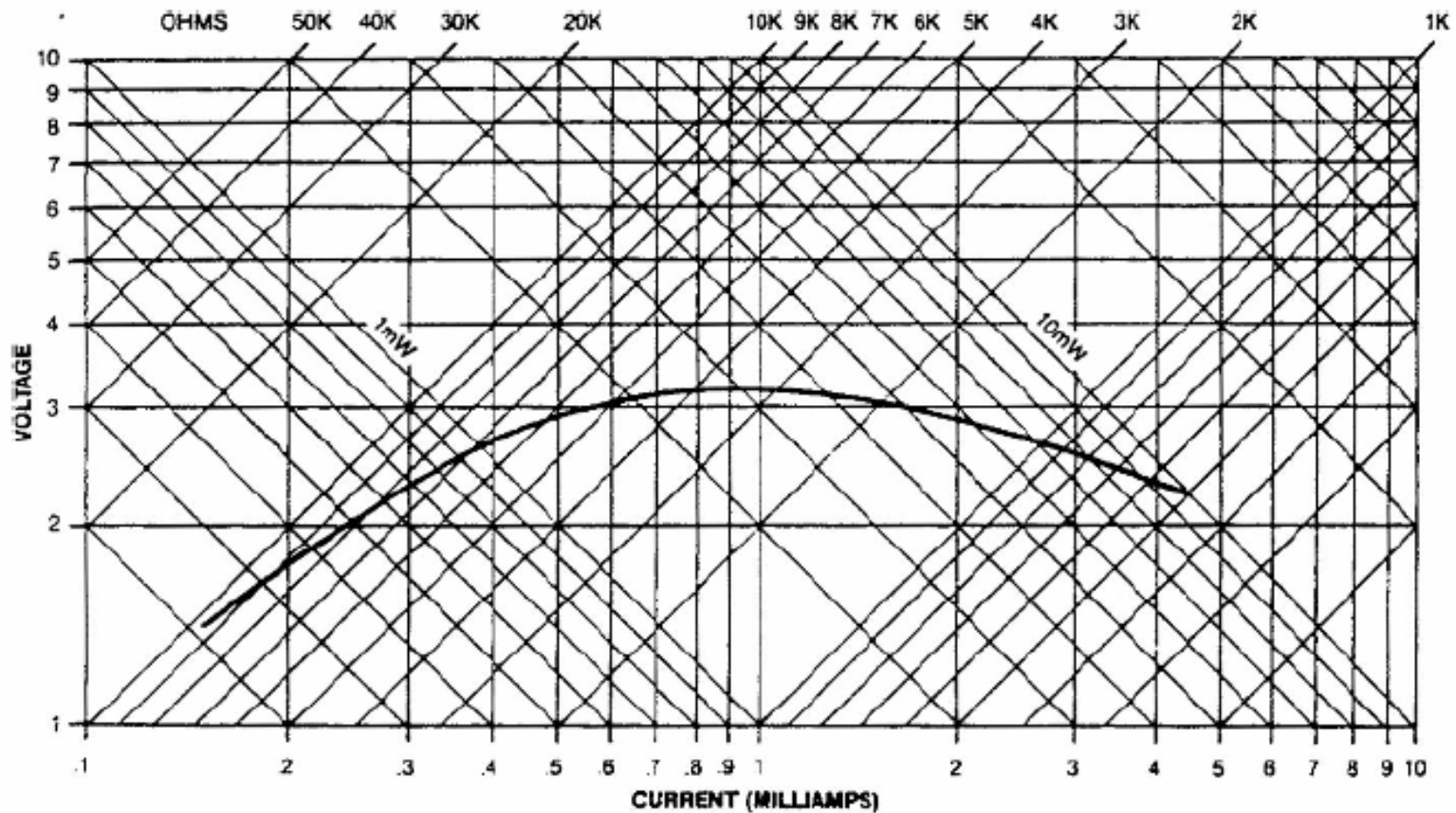
Một số nhiệt điện trở bán dẫn

a) KMT và MMT      b) MKMT      c) Quan hệ giữa  $R_T(t)$

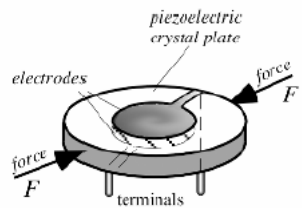
1. Nhiệt điện trở đồng      2. Nhiệt điện trở bán dẫn



# Nhiệt điện trở bán dẫn



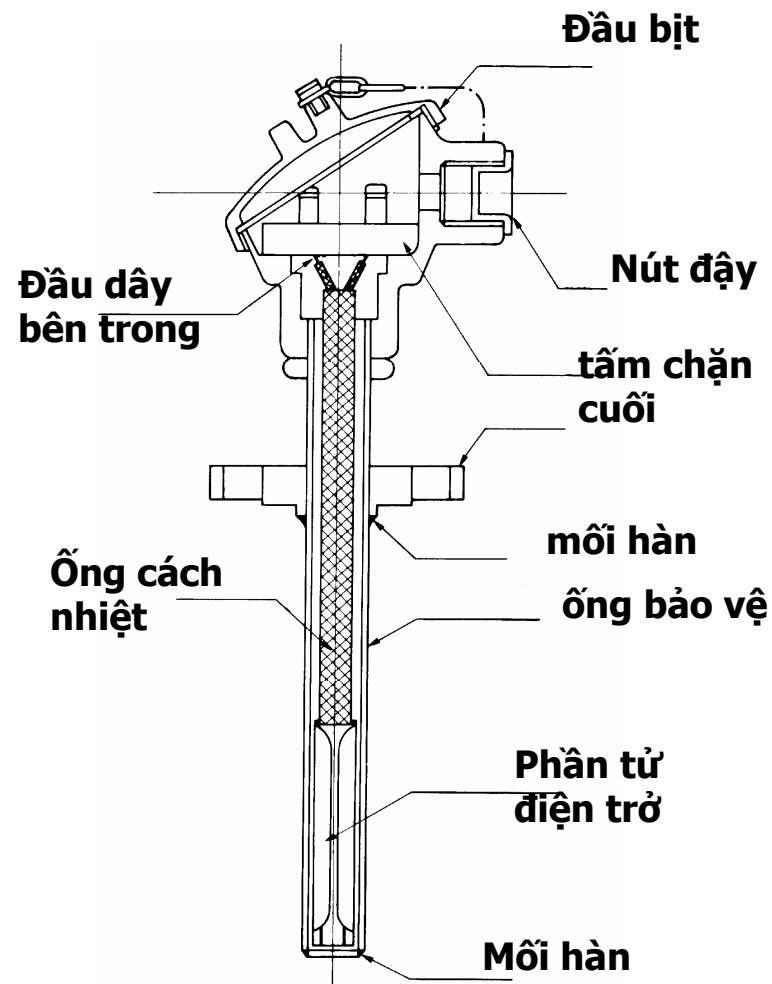
**Fig. 16.11.** Voltage–current characteristic of an NTC thermistor in still air at 25°C; the curvature of the characteristic is due to the self-heating effect.



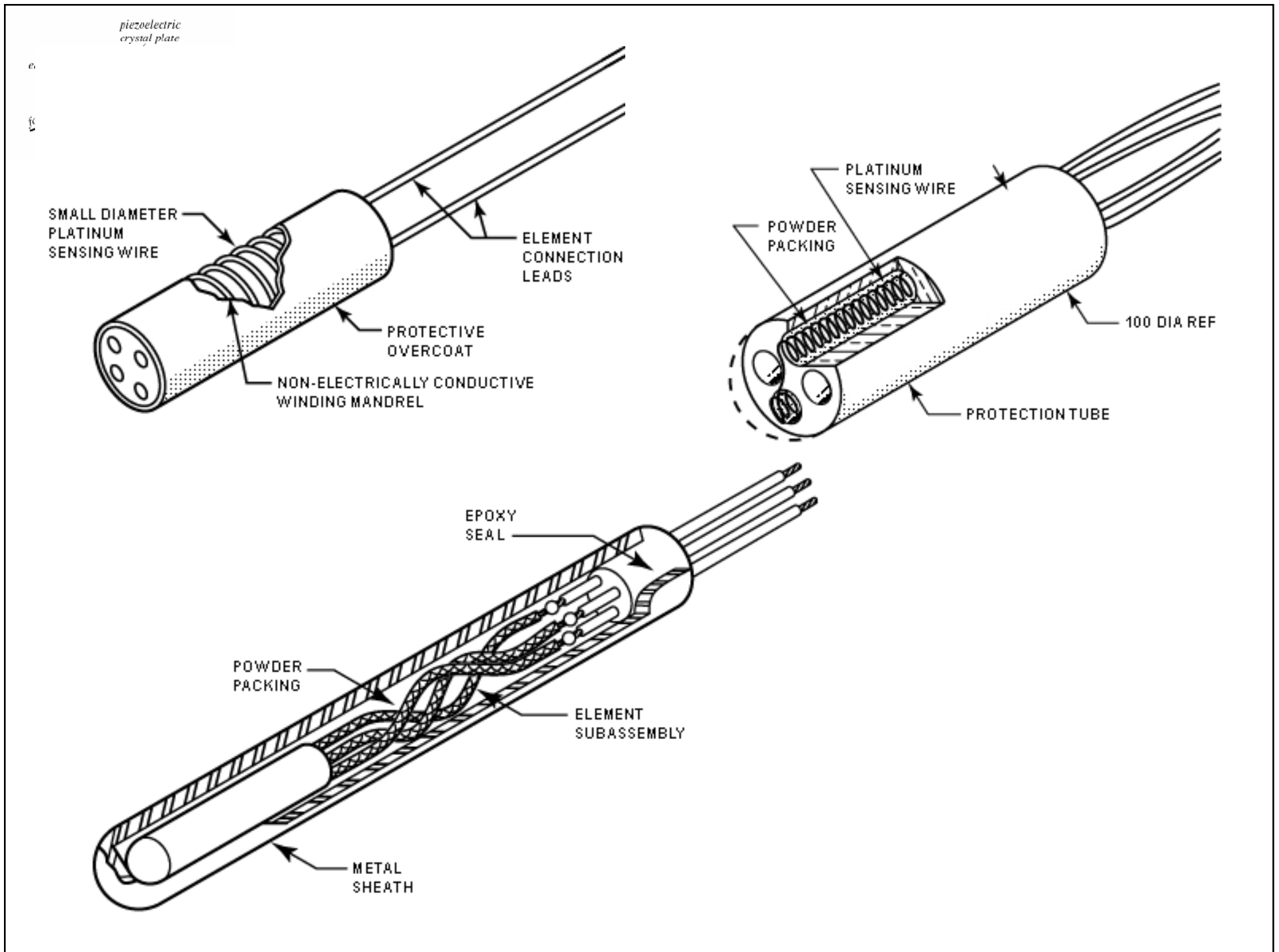
# C, Cấu tạo



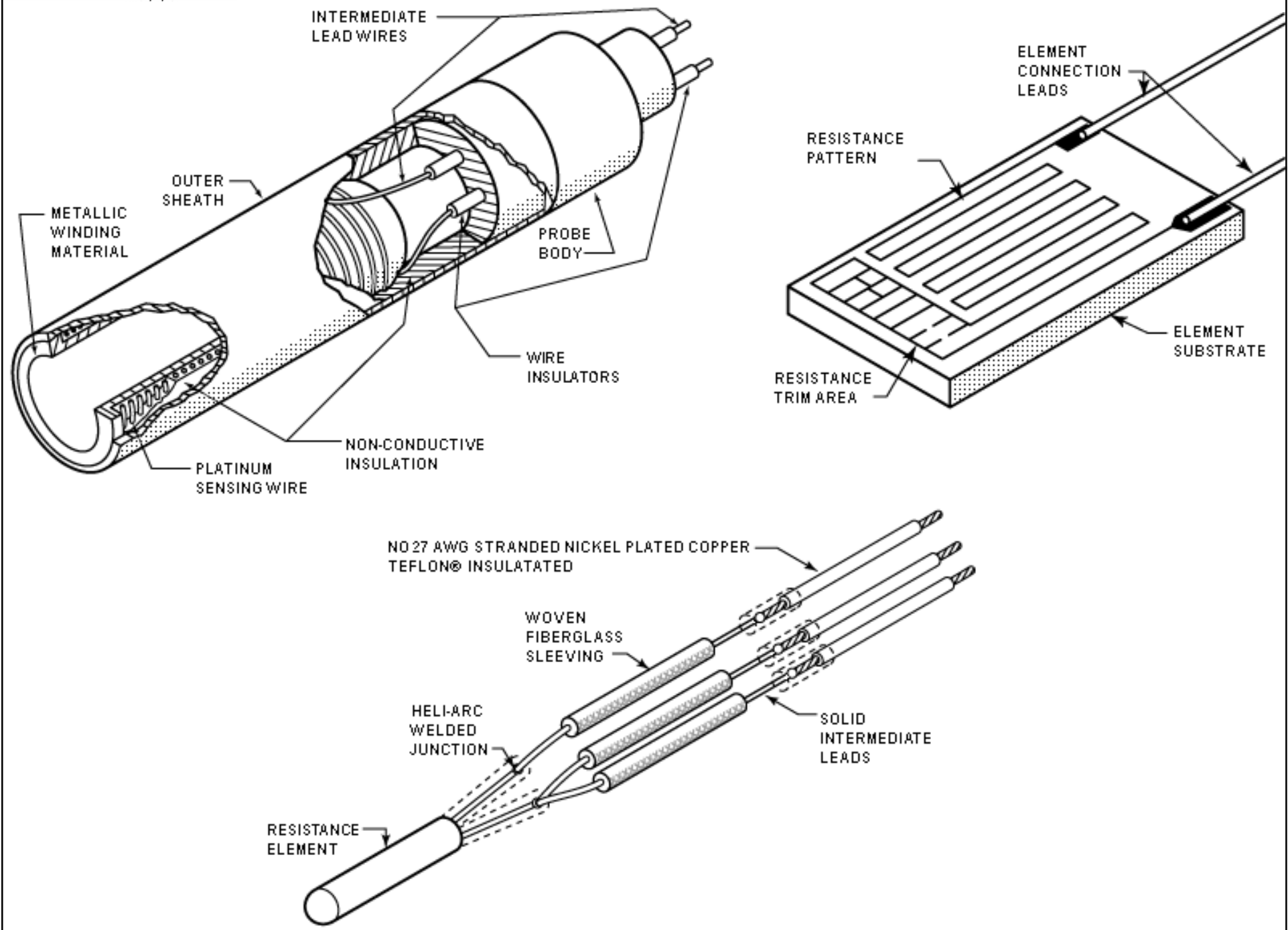
**Cấu tạo bên ngoài**

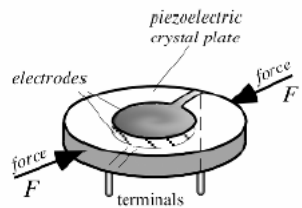


**Cấu tạo bên trong**



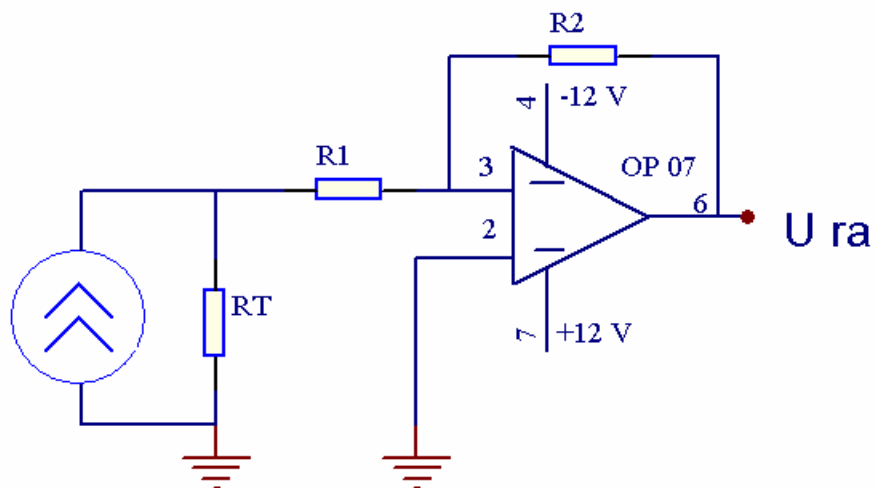
piezoelectric

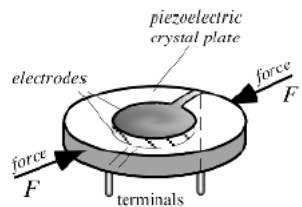




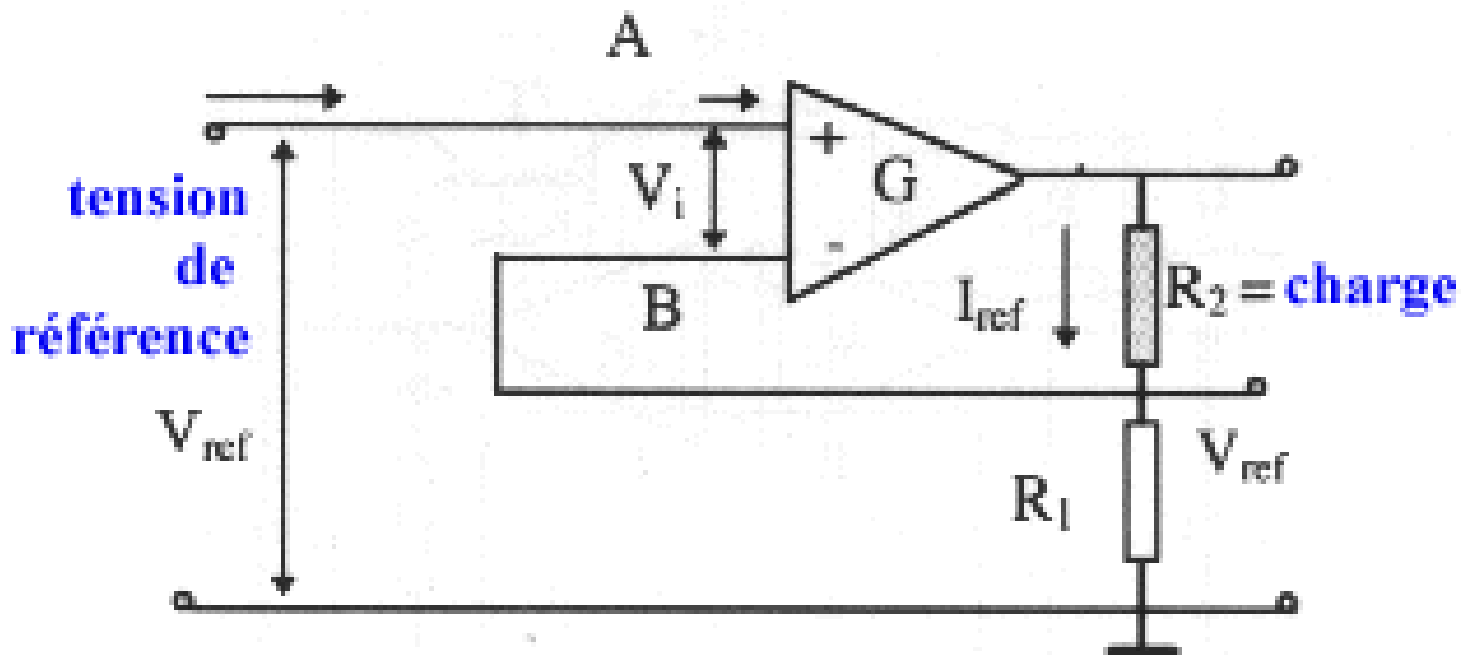
## D, Mạch đo- phương pháp nguồn dòng

$$U_R = U_{Rt} \frac{R_2}{R_1} = I \cdot R_t \frac{R_2}{R_1}$$



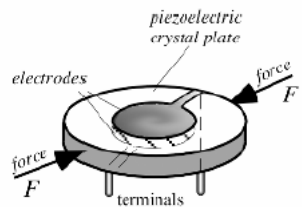


# Mạch tạo nguồn dòng



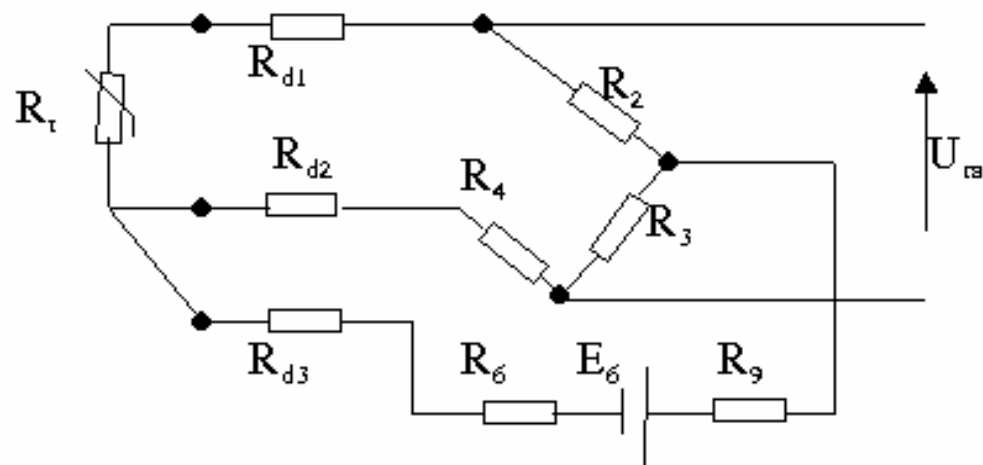
$$I_{ref} = V_{ref}/R_1.$$



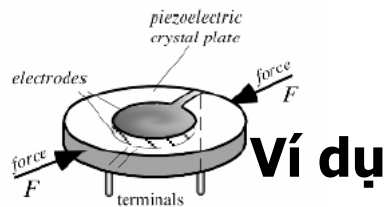


# Phương pháp sử dụng nguồn áp

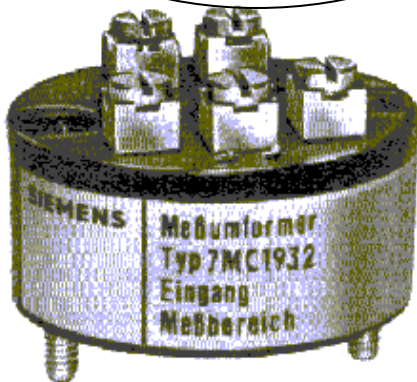
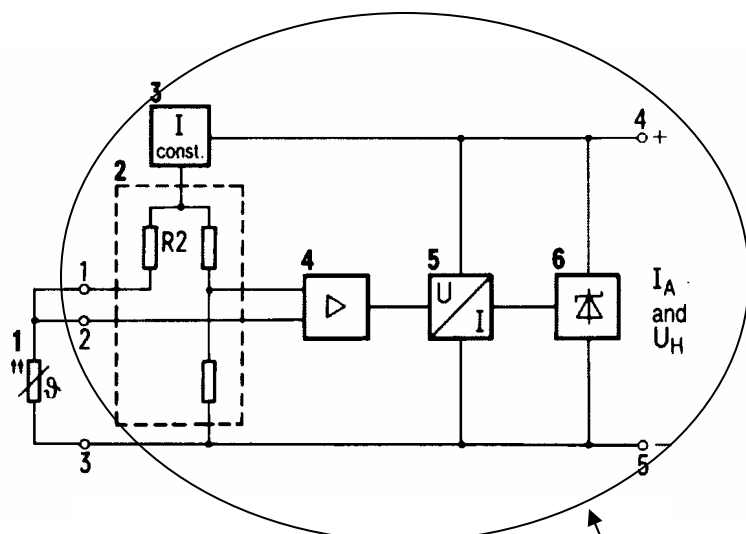
Bù điện trở dây



$$U_R = E \left( \frac{R_t}{R_t + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right)$$



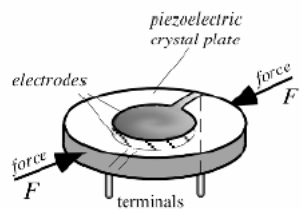
## Sơ đồ bộ biến đổi nhiệt điện trở



**Mạch chuẩn hoá**

- ✓ Nguồn dòng 2.5mA tạo ra một sự biến thiên điện áp trên điện trở là 100mV/100°C.
- $R_T = R_0 (1 + \alpha t); \quad \alpha = 0.385\% / ^\circ\text{C}$
- ✓ Nếu  $R_T$  được cung cấp bằng nguồn dòng 259 mA thì khi nhiệt độ biến thiên 100°C
- $\Delta U = \Delta R_T \cdot I = 0.385 \times 2.58 = 100\text{mV}$
- ✓ Điện áp rơi trên  $R_T$  được đưa vào khuếch đại bù điện áp ở 0°C và biến đổi áp thành dòng (4-20mA) để đưa vào hệ thống thu thập số đo.

- 1- Nhiệt điện trở      2- Modul vào
- 3- Dòng cung cấp (hằng)
- 4- Điện áp một chiều khuếch đại
- 5- Modul ra              6- Điều chỉnh điện áp



## 2.2. Cặp nhiệt ngẫu

Nguyên lý : Hiệu ứng Seebeck

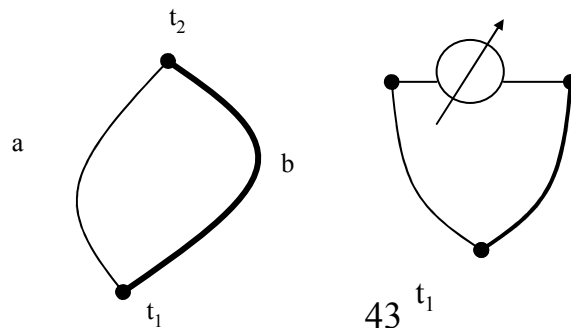
Dựa trên hiện tượng nhiệt điện. Nếu hai dây dẫn khác nhau (hình vẽ) nối với nhau tại hai điểm và một trong hai điểm đó được đốt nóng thì trong mạch sẽ xuất hiện một dòng điện gây bởi sức điện động gọi là sức điện động nhiệt điện, được cho bởi công thức

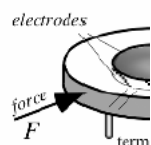
$$E_T = K_T (t_n - t_{td})$$

Trong đó:  $K_T$  - hệ số hiệu ứng nhiệt điện

$t_n$  - nhiệt độ đầu nóng

$t_{td}$  - nhiệt độ đầu tự do

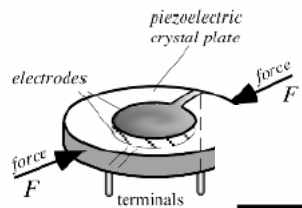




**TABLE** caractéristiques essentielles des principaux thermocouples

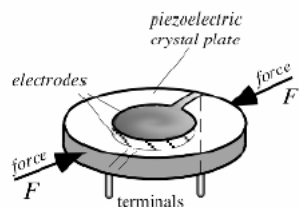
Type	nom usuel	couleur des isolants (code US)	point fusion (°C)	plage d'utilisation (°C)	f.e.m. 400°C, (mV)	tolérance mini maxi	$\rho$ ( $\mu\Omega$ -cm)
B	—	Brown <sup>a</sup>	1810	870 to 1700	0.787	0.25%	34.4
BX	—	Gray <sup>a</sup>	—	—	—	0.50%	—
BP	Pt30Rh	Gray	1910	—	—	—	18.6
BN	Pt6Rh	Red	1810	—	—	—	15.8
E	—	Brown <sup>a</sup>	1270	-200 to 870	28.946	1.0°C or 0.40%	127
EX	—	Purple <sup>a</sup>	—	—	—	1.7°C or 0.50%	—
EP	Chromel <sup>b</sup>	Purple	1430	—	—	—	80
EN	Constantan	Red	1270	—	—	—	46
J	—	Brown <sup>a</sup>	1270	0 to 760	21.848	1.1°C or 0.40%	56
JX	—	White <sup>a</sup>	—	—	—	2.2°C or 0.75%	—
JP	Iron	White	1536	—	—	—	10
JN	Constantan	Red	1270	—	—	—	46
K	—	Brown <sup>a</sup>	1400	-200 to 1260	16.397	1.1°C or 0.40%	112
KX	—	Yellow <sup>a</sup>	—	—	—	2.2°C or 0.75%	—
KP	Chromel	Yellow	1430	—	—	—	80
KN	Alumel <sup>b</sup>	Red	1400	—	—	—	31
N	—	Brown <sup>a</sup>	—	0 to 1260	12.974	1.1°C or 0.40%	—
NX	—	Orange <sup>a</sup>	—	—	—	2.2°C or 0.75%	—
NP	Nisil	Orange	—	—	—	—	—
NN	Nicrosil	Red	—	—	—	—	—
R	—	Brown <sup>a</sup>	1769	0 to 1480	3.408	0.6°C or 0.10%	29
RX	—	Green <sup>a</sup>	—	—	—	1.5°C or 0.25%	—
RP	Pt13Rh	Green	1840	—	—	—	19
RN	Pt	Red	1769	—	—	—	10
S	—	Brown <sup>a</sup>	1769	0 to 1480	3.259	0.6°C or 0.10%	30
SX	—	Green <sup>a</sup>	—	—	—	1.5°C or 0.25%	—
SP	Pt10Rh	Green	1830	—	—	—	20
SN	Pt	Red	1769	—	—	—	10
T	—	Brown <sup>a</sup>	1083	-200 to 370	20.810	0.5°C or 0.40%	48
TX	—	Blue <sup>a</sup>	—	—	—	1.0°C or 0.75%	—
TP	Copper	Blue	1083	—	—	—	2
TN	Constantan	Red	1270	—	—	—	46

table réf. Measurement Instr. & Sensors, CRC press, New York, 1999



**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	



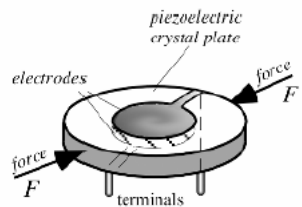
## Một số hiệu ứng nhiệt điện khác

- Hiệu ứng Peltier: Hiệu điện thế tiếp xúc của giữa hai dây dẫn khác nhau về bản chất

$$V_M - V_N = P_{A/B}^T$$

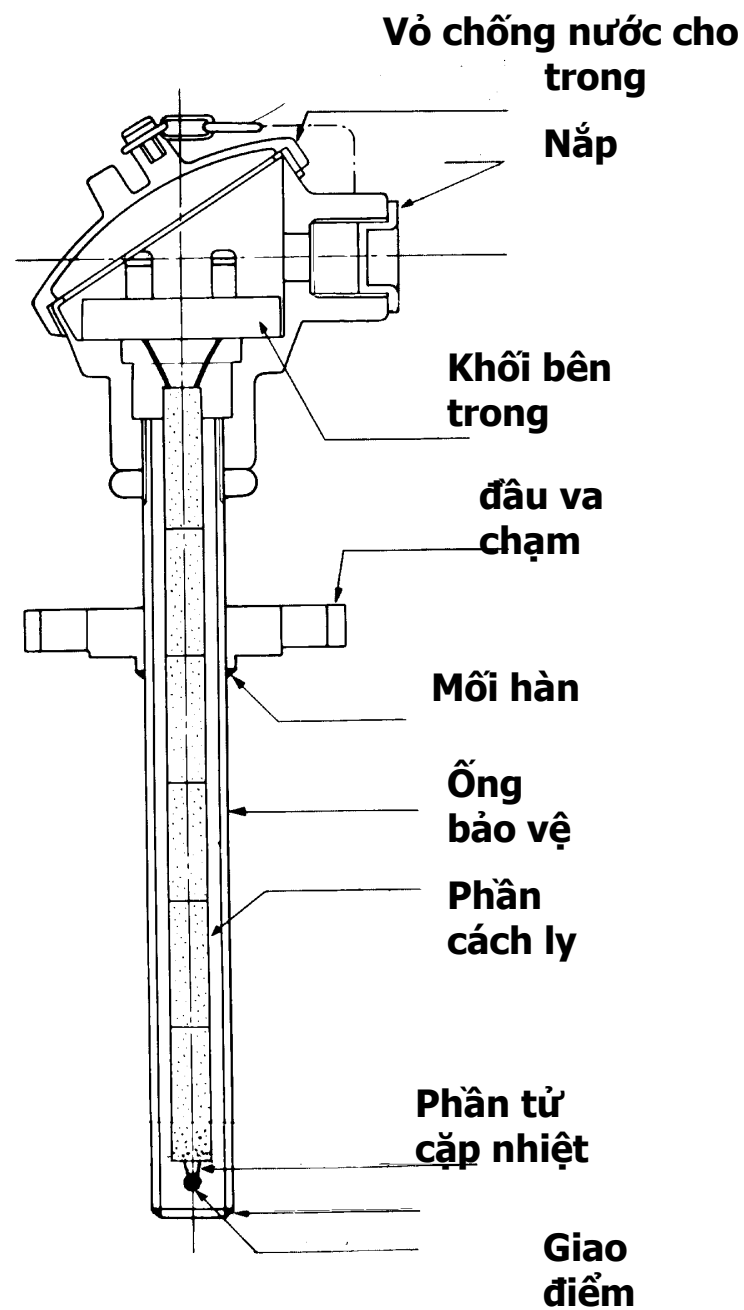
- Hiệu ứng Thomson: trong một vật dẫn đồng nhất, giữa hai điểm có nhiệt độ khác nhau sinh ra một suất điện động

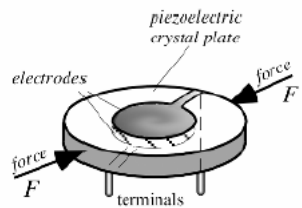
$$E_A^{T_M T_N} = \int_{T_M}^{T_N} h_A dT$$



## B, Cấu tạo

- Có nhiều hình dáng khác nhau





## Ví dụ cấu tạo bên trong của cảm biến



Cut-away of NB2 style to show detail of spring mechanism and terminal block.

**SUPER OMEGA CLAD<sup>®</sup>**  
THERMOCOUPLE WIRE

MAXIMUM PERFORMANCE SHEATHING  
RESISTS HIGH TEMPERATURE DRIFT

For Type K Thermocouples only.  
Consult Sales for Specifications and Pricing.

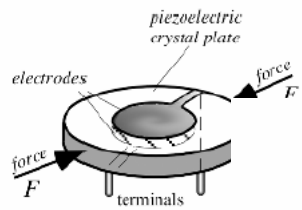
## Weld Pad Probes

and availability

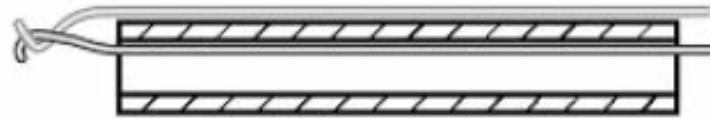
Dual elements available. Consult Sales Department for quotation

Discount Schedule	
1-10 Units .....	Net
11-24 Units .....	.10%
25-49 Units .....	.20%
50 and up .....	Consult Sales





A. Bare thermocouple twisted and welded



B. Thermocouple wires on a plastic tubular carrier

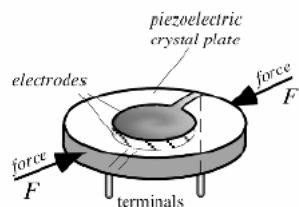


C. Insulated thermocouple twisted and welded



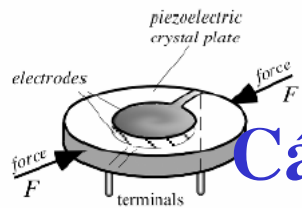
D. Butt-welded thermocouple with fish-spine insulator

**Fig. 16.18.** Some thermocouple assemblies.

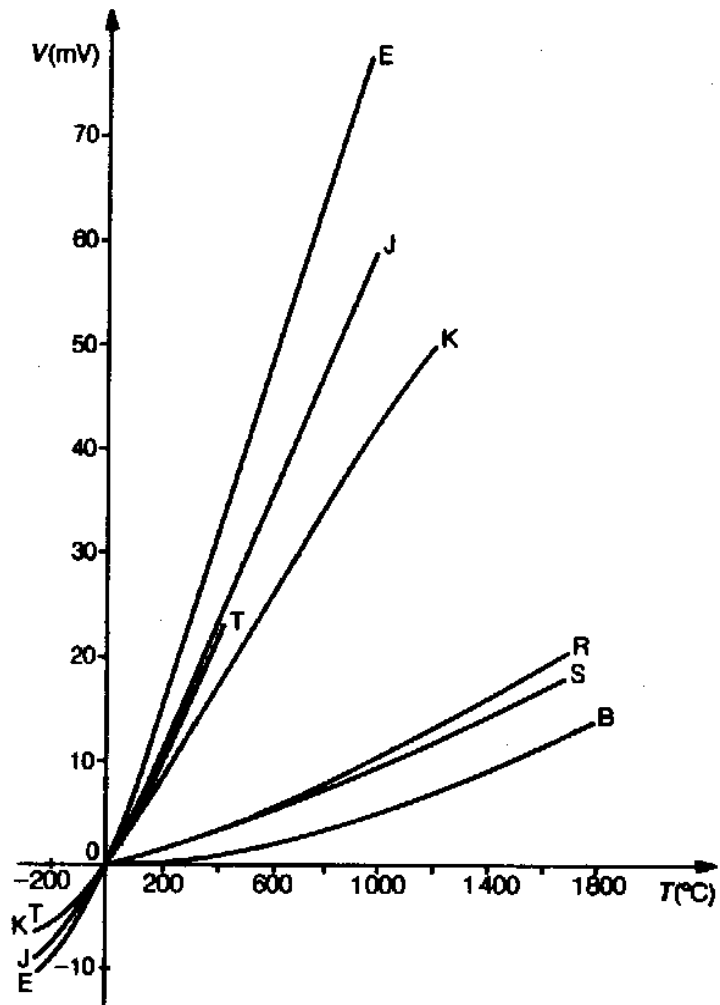


## Các kiểu cặp nhiệt ngẫu

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, dải 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 <sub>2</sub> hay khí S có H
E	CRC	Cromel- Constantan	Dây dương như đối với loại K. Dây âm như loại J. Có sức điện động nhiệt điện cao và thường dùng ở môi trường acid



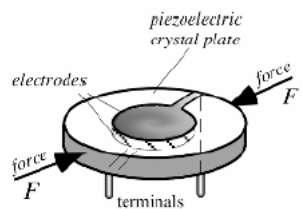
## Các kiểu cặp nhiệt ngẫu



- 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/Atumel)
- R platine-rhodium 13%/platine
- S platine-rhodium 10%/platine
- B platine-rhodium 30%/platine-rhodium 6%

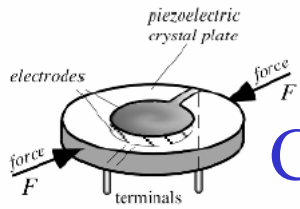
51

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



## Giới hạn nhiệt độ và các ống bảo vệ

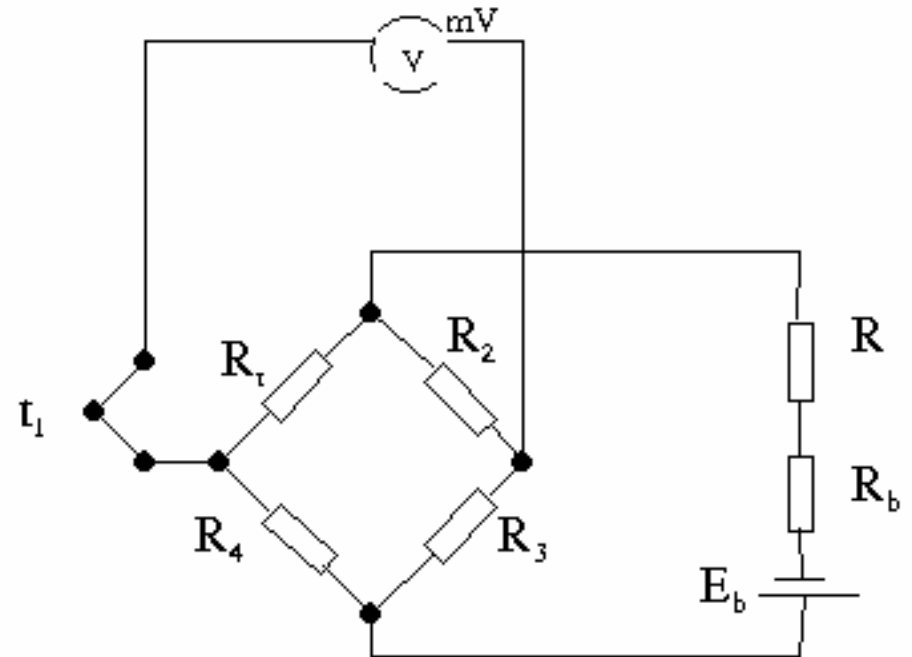
Dạng của cặp nhiệt		Đường kính của dây		Giới hạn nhiệt độ làm việc		Ống bảo vệ O.D x I.D	
		ký hiệu	đường kính bên ngoài	giới hạn chuẩn	giới hạn trên	ống bảo vệ bằng kim loại (φ mm)	ống bảo vệ không bằng kim loại (φ mm)
B	Pt Rh 30%/ Pt Rh 6%	L	0.5	1500 <sup>0</sup> C	1700 <sup>0</sup> c	–	15 x 11
R	Pt Rh 13%- Pt	L	0.5	1400 <sup>0</sup> C	1600 <sup>0</sup> C	–	15 x 11
S	Pt Rh 10%-Pt	L	0.5	1400 <sup>0</sup> C	1600 <sup>0</sup> C	–	15 x 11
K (Chromel_Alumel)		D	3.2	1000 <sup>0</sup> C	1200 <sup>0</sup> C	21.7 x 16.1	17 x 13
		C	2.3	900 <sup>0</sup> C	1100 <sup>0</sup> C	21.7 x 16.1	17 x 13
		B	1.6	860 <sup>0</sup> C	1050 <sup>0</sup> C	15 x 11	15 x 11
		A	1.0	750 <sup>0</sup> C	950 <sup>0</sup> C	12 x 9	15 x 11
		H	0.65	650 <sup>0</sup> C	850 <sup>0</sup> C	10 x 7	10 x 6

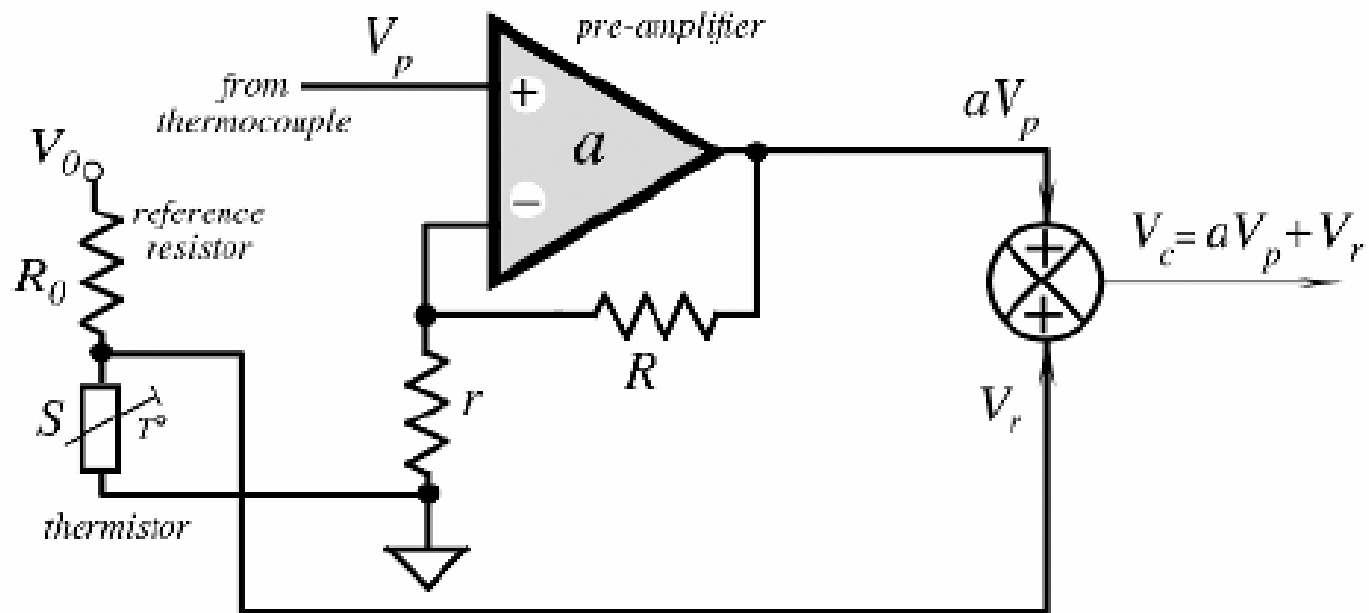
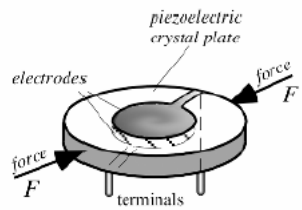


## C, Phương pháp đo nhiệt độ bằng cặp nhiệt ngẫu

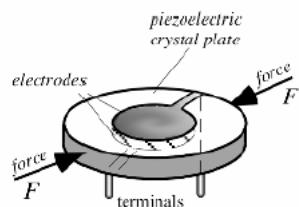
- Thống nhất hoá bằng mạch điện áp tích cực
- Bù đầu tự do
- Bù điện trở dây nối

$$U_{ra} = E \frac{R_5}{R_4} \left( 1 + \frac{R_1 + R_3}{R_2} \right)$$





**Fig. 16.17.** Combining thermopile and thermistor signals.



## 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:  $0^{\circ}\text{C}$  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:

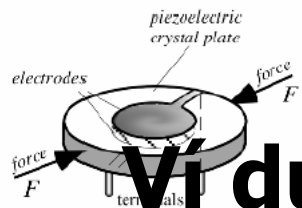
$$\Delta U = \frac{U_{CC}}{4} \frac{\Delta R_T}{R_T} = \frac{U_{CC}}{4} \alpha t_{td}$$

Ta lại có

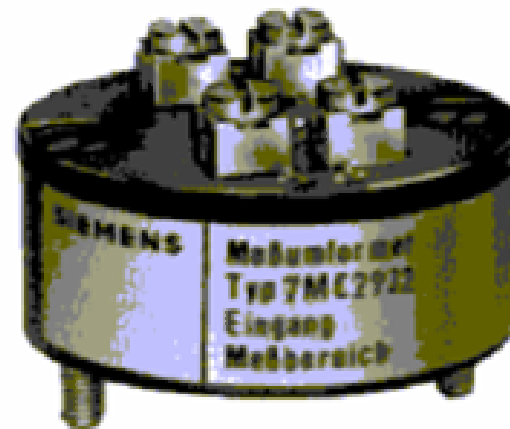
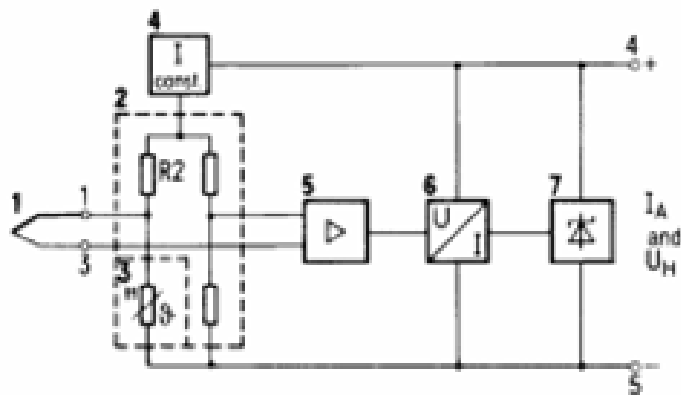
$$E_T = K_T (t_{\text{nóng}} - t_{\text{tự do}}) = K_T t_{\text{nóng}} - K_T t_{\text{tự do}}$$

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

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



# Ví dụ Bộ cặp nhiệt ngẫu của SIEMENS



**Hình 1.2**

$I_A$  và  $U_H$  - Tín hiệu ra một chiều và nguồn cung cấp.

1- Cặp nhiệt ngẫu cầu

2- Đầu vào của mạch

3- Đầu lạnh của cặp nhiệt

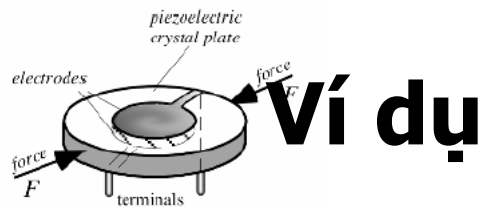
4- nguồn dòng hằng

5- Điện áp một chiều khuếch đại

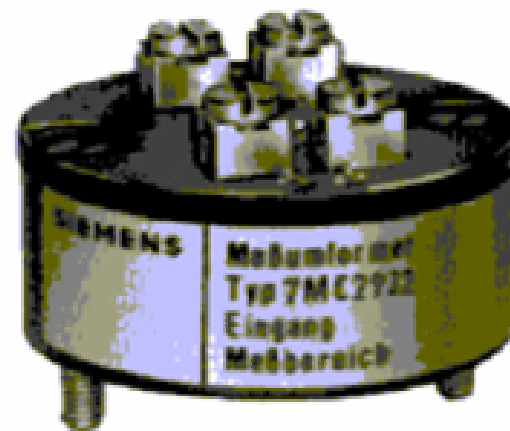
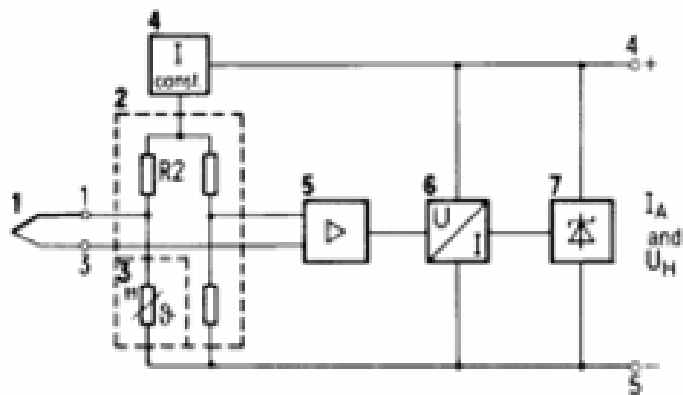
6- Modul ra

7- điều chỉnh điện áp





# Ví dụ



**Hình 1.2**

$I_A$  và  $U_H$  - Tín hiệu ra một chiều và nguồn cung cấp.

1- Cặp nhiệt ngẫu  
cầu

2- Đầu vào của mạch

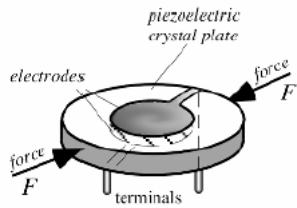
3- Đầu lạnh của cặp nhiệt

4- nguồn dòng hằng

5- Điện áp một chiều khuếch đại

6- Modul ra

7- điều chỉnh điện áp



## 2.3. Đo nhiệt độ bằng Điốt và transistor

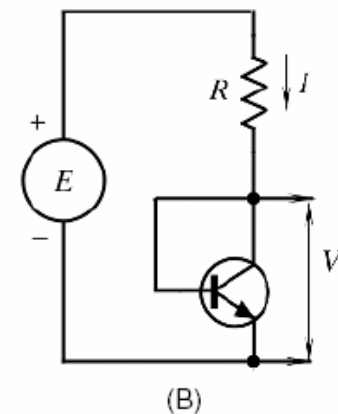
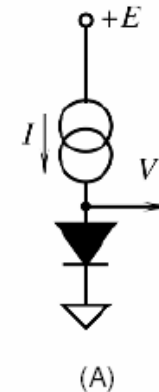
- Dựa trên lớp chuyển tiếp bán dẫn
- Quan hệ của dòng điện theo nhiệt độ

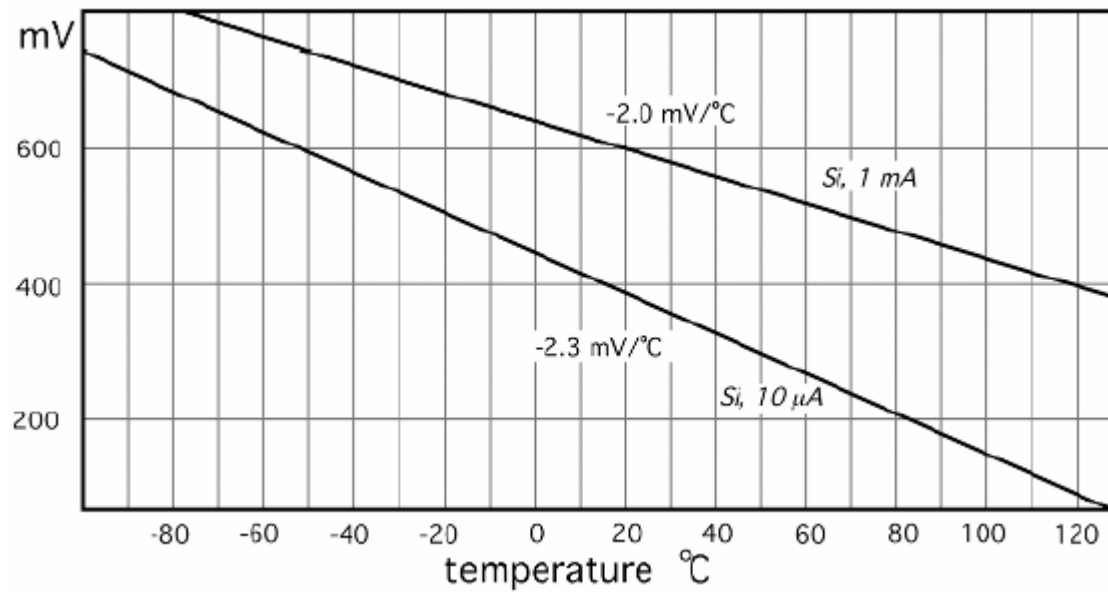
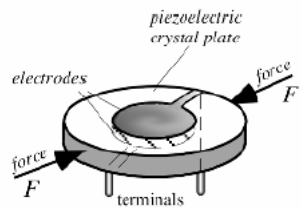
$$I = I_0 \left( \exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right)$$

- điện áp ra của điốt có thể viết như sau:

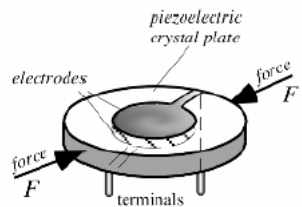
$$v = v_{\Phi} + \frac{kT}{q} \text{Log}I - \frac{kT}{q} .m\text{Log}T - \frac{kT}{q} .\text{Log}C$$

Thông thường độ nhạy  $-2,3 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$  với dòng điện khoảng  $1\mu\text{A}$



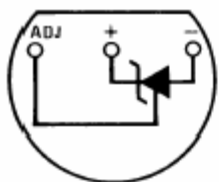


**Fig. 16.20.** Forward-biased p-n junction temperature sensors: (A) diode; (B) diode-connected transistor.



# Ví dụ về LM335

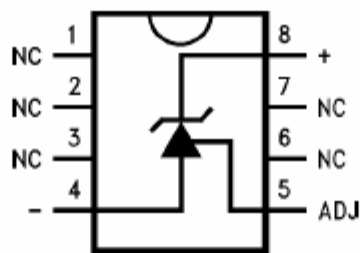
**TO-92  
Plastic Package**



DS005698-8

**Bottom View**  
**Order Number LM335Z**  
**or LM335AZ**  
**See NS Package**  
**Number Z03A**

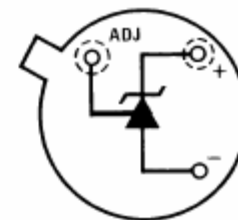
**SO-8  
Surface Mount Package**



DS005698-25

**Order Number LM335M**  
**See NS Package**  
**Number M08A**

**TO-46  
Metal Can Package\***



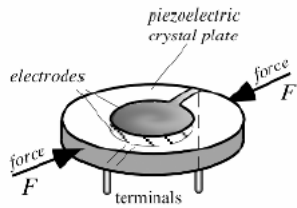
DS005698-26

\*Case is connected to negative pin

**Bottom View**  
**Order Number LM135H,**  
**LM135H-MIL, LM235H,**  
**LM335H, LM135AH,**  
**LM235AH or LM335AH**  
**See NS Package**  
**Number H03H**

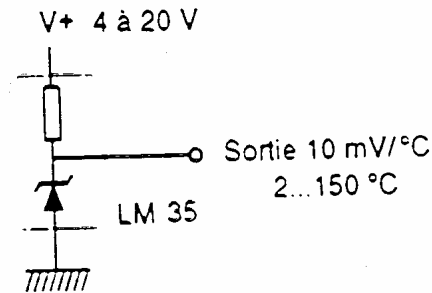
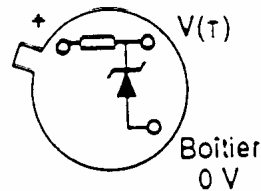
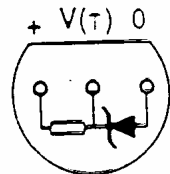
Specified Operating Temp. Range

	<b>Continuous</b>	<b>Intermittent</b> (Note 2)
LM135, LM135A	-55°C to +150°C	150°C to 200°C
LM235, LM235A	-40°C to +125°C	125°C to 150°C
LM335, LM335A	-40°C to +100°C	100°C to 125°C

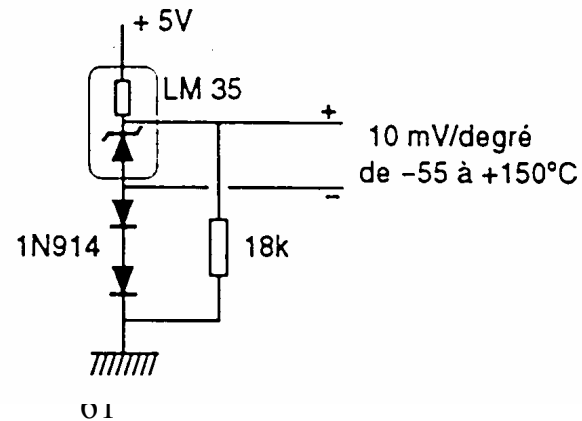
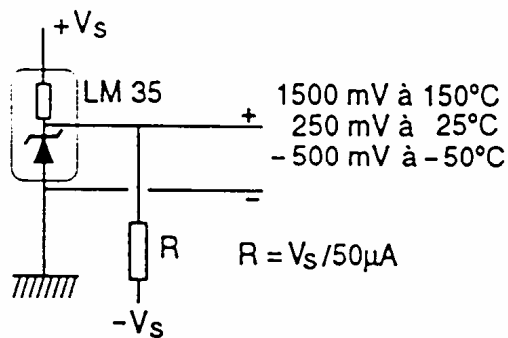


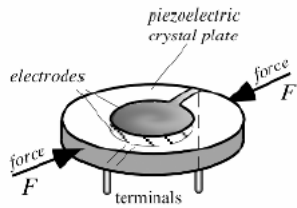
# Nhiệt điện trở bán dẫn

Nguồn áp : LM35

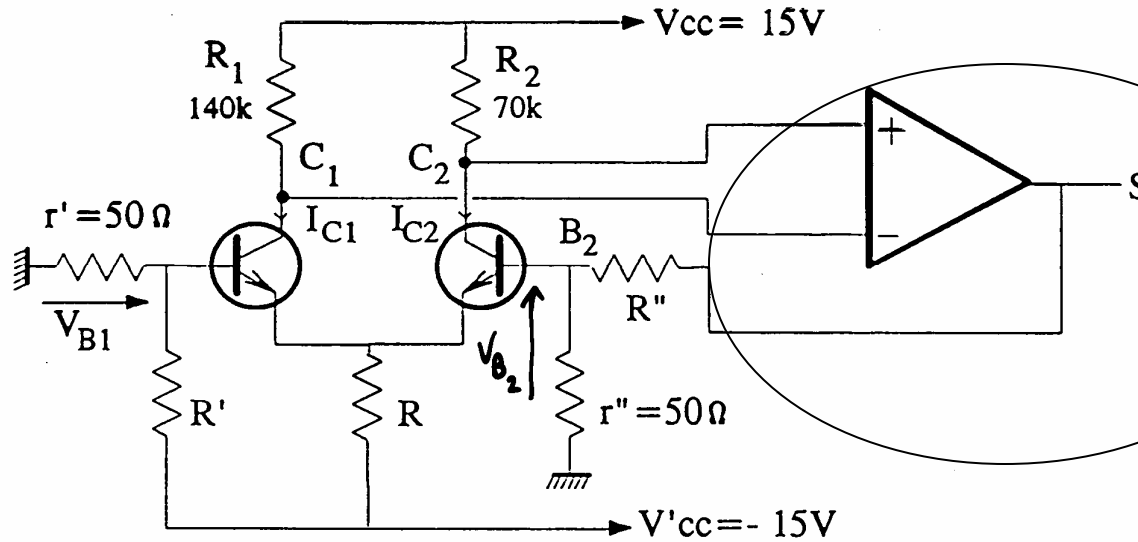


## Mạch đo với nhiệt điện trở bán dẫn





# Nhiệt điện trở bán dẫn



Độ nhạy nhiệt của diode và trans. mắc theo kiểu diode:  
 $S = dV/dT$  cỡ  $-25mV/^\circ C$

Mạch chuẩn hoá

$$V_{B1} - V_{B2} = \left( \frac{k}{q} T \right) \ln \left( \frac{I_{C1}}{I_{C2}} \right) \quad \text{avec} \quad \frac{k}{q} = 86,17 \mu V / ^\circ$$

Giả sử 2 Transistor giống nhau, có cùng nhiệt độ

$$R_1 I_{C1} = R_2 I_{C2} \quad V_{B2} = \frac{r''}{r'' + R''} S$$

Từ đó :

$$S = \left[ 1 + \frac{R''}{r''} \right] \left[ V_{B1} + \frac{kT}{q} \ln \left( \frac{R_1}{R_2} \right) \right]$$

$S = fct(T)$  được cải thiện

piezoelectric  
crystal plate

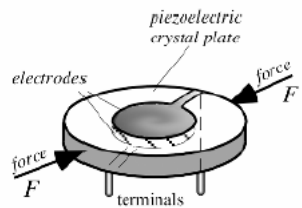
## Temperature Accuracy (Note 1)

LM335, LM335A

Parameter	Conditions	LM335A			LM335			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Operating Output Voltage	$T_C = 25^\circ\text{C}$ , $I_R = 1\text{ mA}$	2.95	2.98	3.01	2.92	2.98	3.04	V
Uncalibrated Temperature Error	$T_C = 25^\circ\text{C}$ , $I_R = 1\text{ mA}$		1	3		2	6	$^\circ\text{C}$
Uncalibrated Temperature Error	$T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq T_{\text{MAX}}$ , $I_R = 1\text{ mA}$		2	5		4	9	$^\circ\text{C}$
Temperature Error with $25^\circ\text{C}$ Calibration	$T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq T_{\text{MAX}}$ , $I_R = 1\text{ mA}$		0.5	1		1	2	$^\circ\text{C}$
Calibrated Error at Extended Temperatures	$T_C = T_{\text{MAX}}$ (Intermittent)		2			2		$^\circ\text{C}$
Non-Linearity	$I_R = 1\text{ mA}$		0.3	1.5		0.3	1.5	$^\circ\text{C}$

## Electrical Characteristics (Note 1)

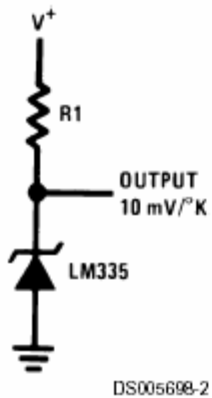
Parameter	Conditions	LM135/LM235 LM135A/LM235A			LM335 LM335A			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Operating Output Voltage Change with Current	$400\ \mu\text{A} \leq I_R \leq 5\text{ mA}$ At Constant Temperature		2.5	10		3	14	mV
Dynamic Impedance	$I_R = 1\text{ mA}$		0.5			0.6		$\Omega$
Output Voltage Temperature Coefficient			+10			+10		$\text{mV}/^\circ\text{C}$
Time Constant	Still Air		80			80		sec
	100 ft/Min Air		10			10		sec
	Stirred Oil		1			1		sec
Time Stability	$T_C = 125^\circ\text{C}$		0.2			0.2		$^\circ\text{C}/\text{hr}$



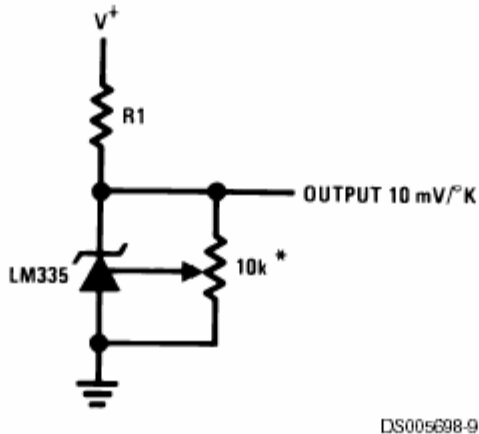
# Mạch đo

## Typical Applications

Basic Temperature Sensor

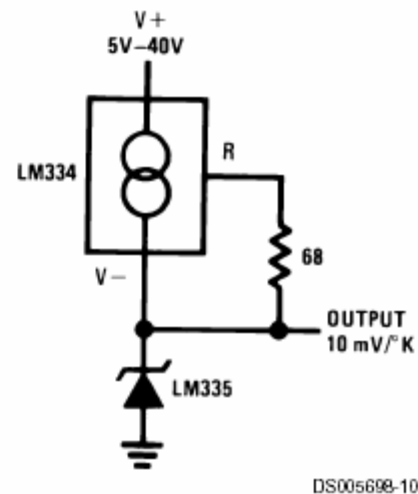


Calibrated Sensor

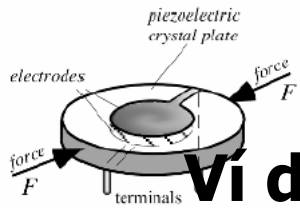


\*Calibrate for 2.982V at 25°C

Wide Operating Supply

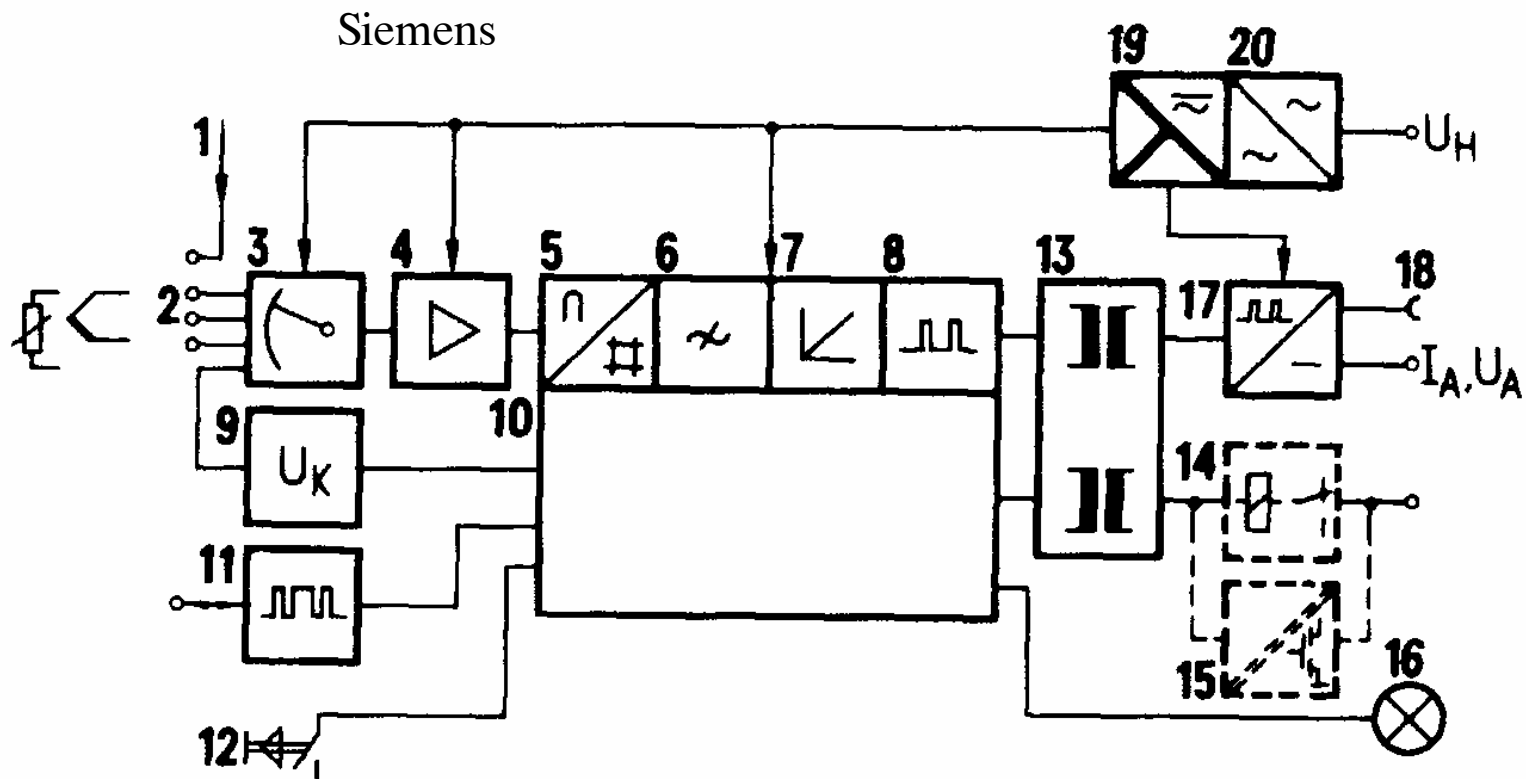


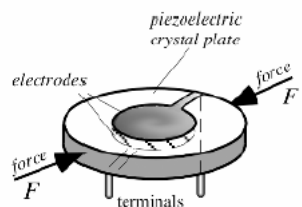




**Ví dụ**

# Bộ biến đổi thông minh đo nhiệt độ





## •Đầu vào

Các đầu vào (2)

Hợp kênh MUX (3)

Khuếch đại (4)

Nguồn dòng dùng để đo nhiệt độ

Nhiệt điện trở (1)

Mạch khắc độ (9)

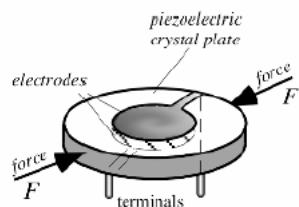
Vi điều khiển(10)

Bộ biến đổi tương tự số (5)

Lọc thông thấp để là bằng kết quả (6)

Khối tuyến tính hoá phục vụ cho các đặc tính phi tuyến của cảm biến (7)

Bộ điều chế độ rộng xung đầu ra (8)



- **Đầu ra**

- Bộ cách ly về điện (13)

- Bộ ra với tín hiệu xung điều chế độ rộng (17) và bộ biến đổi số tương tự

- Đầu ra để kiểm tra để theo dõi tín hiệu ra (18)

- Cảm biến phụ, rơle (14)

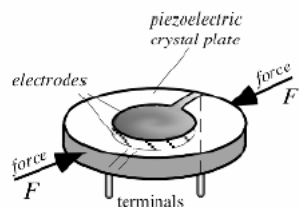
- **Kiểm tra và hiển thị**

- Giao diện nối tiếp (11) để hỏi đáp và đặt các thông số

- Nút ấn để kiểm tra cho nhiệt điện trở hay để khắc độ các cảm biến điện trở

- Đầu báo (làm việc và có sự cố)

- **Nguồn cung cấp 24V một chiều nối vào lưới điện**



## 2.4. Hoả quang kế

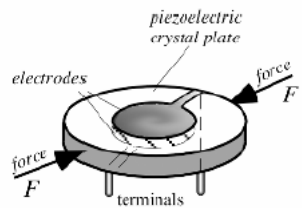
- ✓ Đo nhiệt độ không tiếp xúc dải nhiệt độ cao > 1600°C
- ✓ Mật độ phổ năng lượng phát xạ theo bước sóng của vật đen lý tưởng khi bị đốt nóng

$$E_{\lambda} = C_1 \lambda^{-5} \frac{1}{e^{C_2/\lambda T} - 1}$$

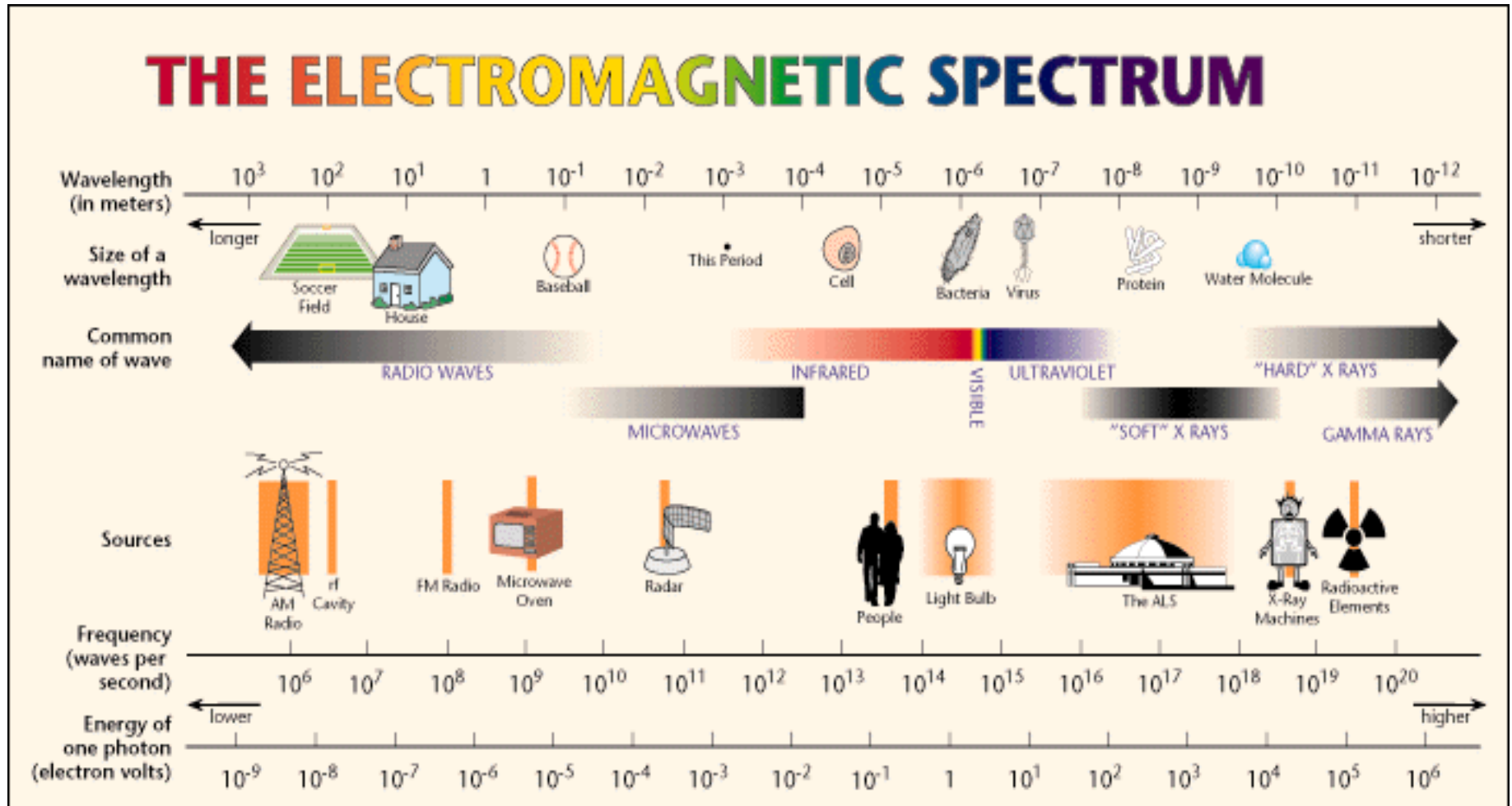
$\lambda$  - bước sóng; T - nhiệt độ tuyệt đối ;

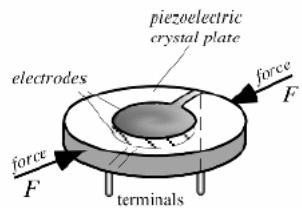
$C_1 = 37,03 \cdot 10^{-17} \text{ Jm}^2/\text{s}^0\text{C}$  ;  $C_2 = 1,432 \cdot 10^{-2} \text{ m}^0\text{C}$

- ✓ 3 phương pháp:
  - Hoả quang kế bức xạ
  - Hoả quang kế cường độ sáng
  - Hoả quang kế màu sắc: 68

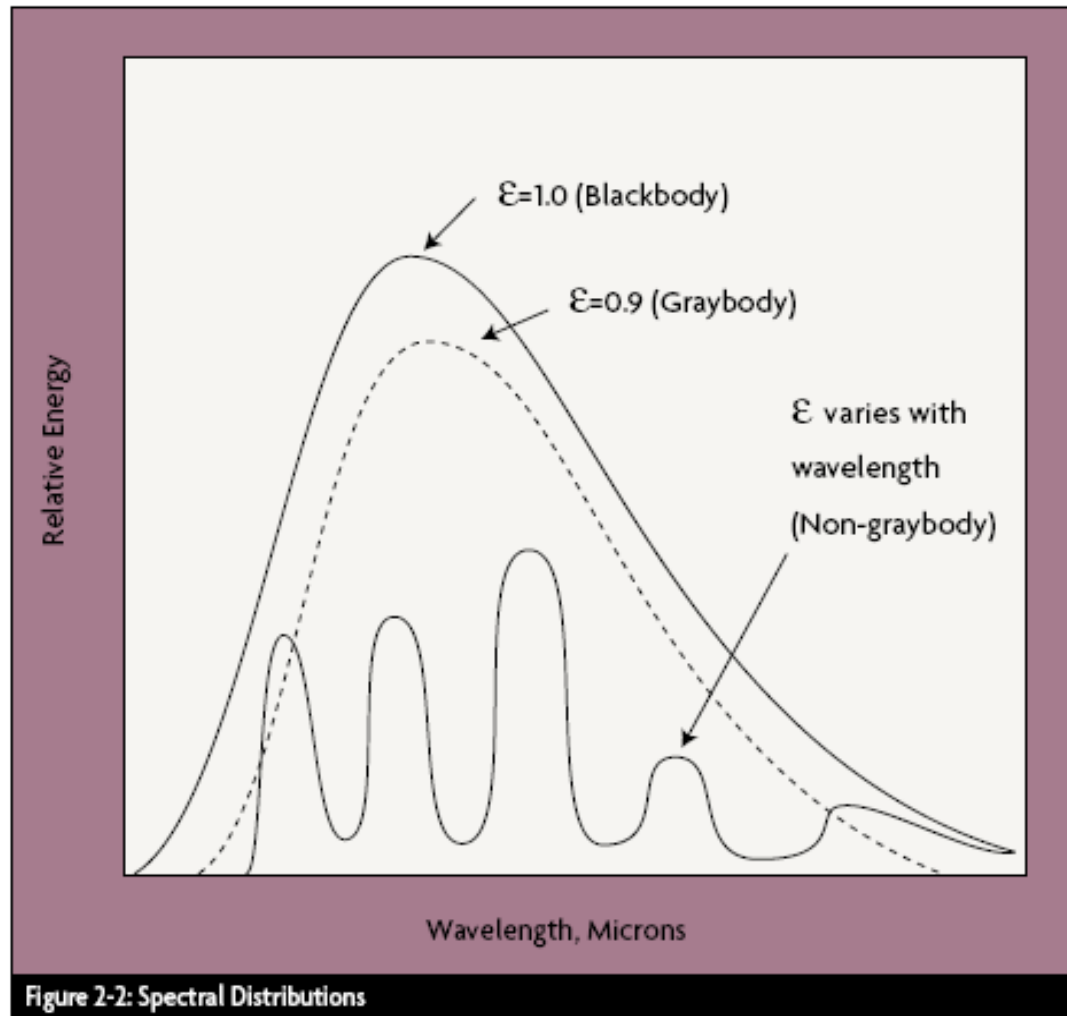


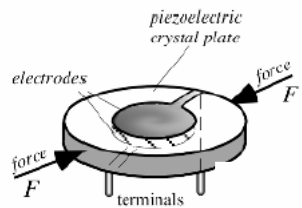
# Sóng điện từ



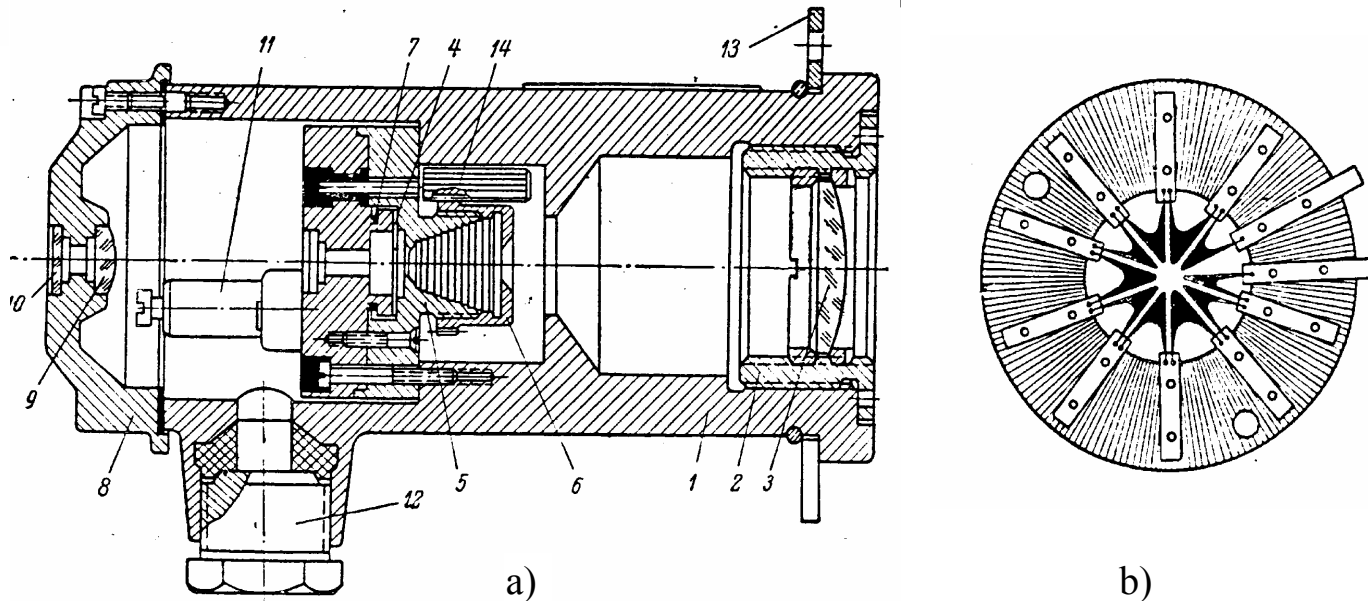


# Phân bố phổ của các vật





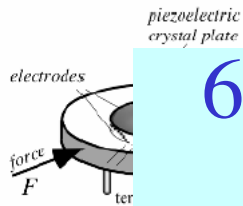
## 6.4.1. Hoả quang kế bức xạ



- a) Cấu tạo của hoả quang kế bức xạ

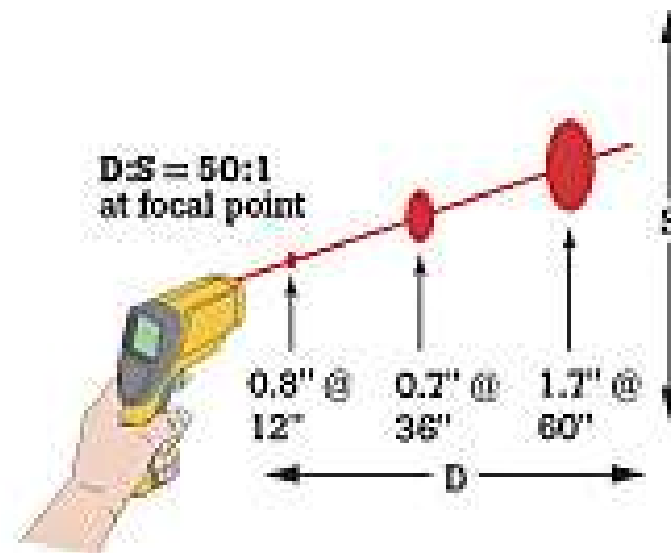
b) Cặp nhiệt hình rẽ quạt cromelcopel

- 1. Thân dụng cụ
- 2- vít chỉnh vật kính
- 3- Vật kính
- 4- Rãnh đặt cặp nhiệt thu
- 5- Thân g cặp nhiệt
- 6- Toa nhiệt đầu tự do
- 7- đầu ra của bộ thu
- 8- Giá đỡ vật kính
- 9- vật kính
- 10- lọc ánh sáng
- 11- đầu dây cáp ra
- 12 - ống dẫn cáp ra
- 13- Tai để gá thiết bị
- 14- chỉnh tiêu điểm

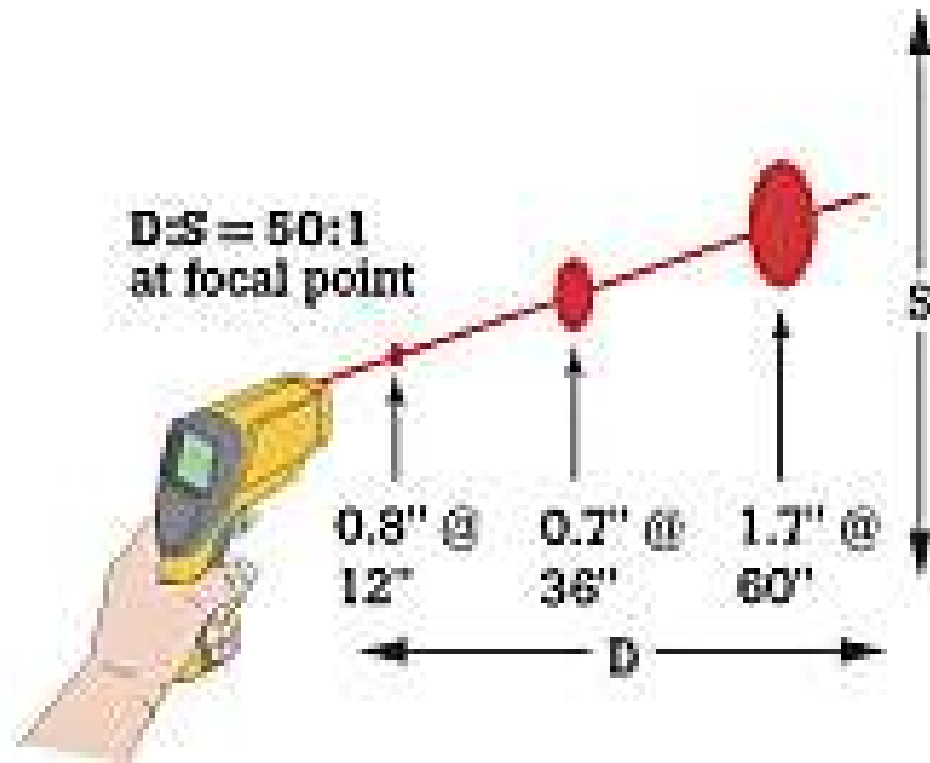
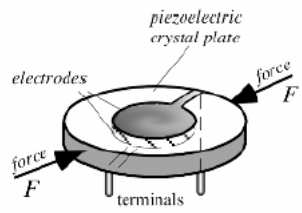


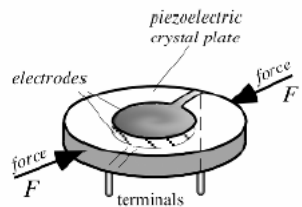
## 6.4.2. Đo nhiệt độ bằng phương pháp quang học: hồng ngoại IR

- Năng lượng bức xạ:
  - $E_T = K_T \cdot E_{bx} = K_T \sigma T^4$
  - Người ta dùng điốt hồng ngoại để thu năng lượng này
- Người ta đặt một điốt laser phát ra một chùm tia hẹp song song với trục của hoá quang kế. Vòng tròn sáng của Laser chiếu vào vùng ta đo nhiệt độ



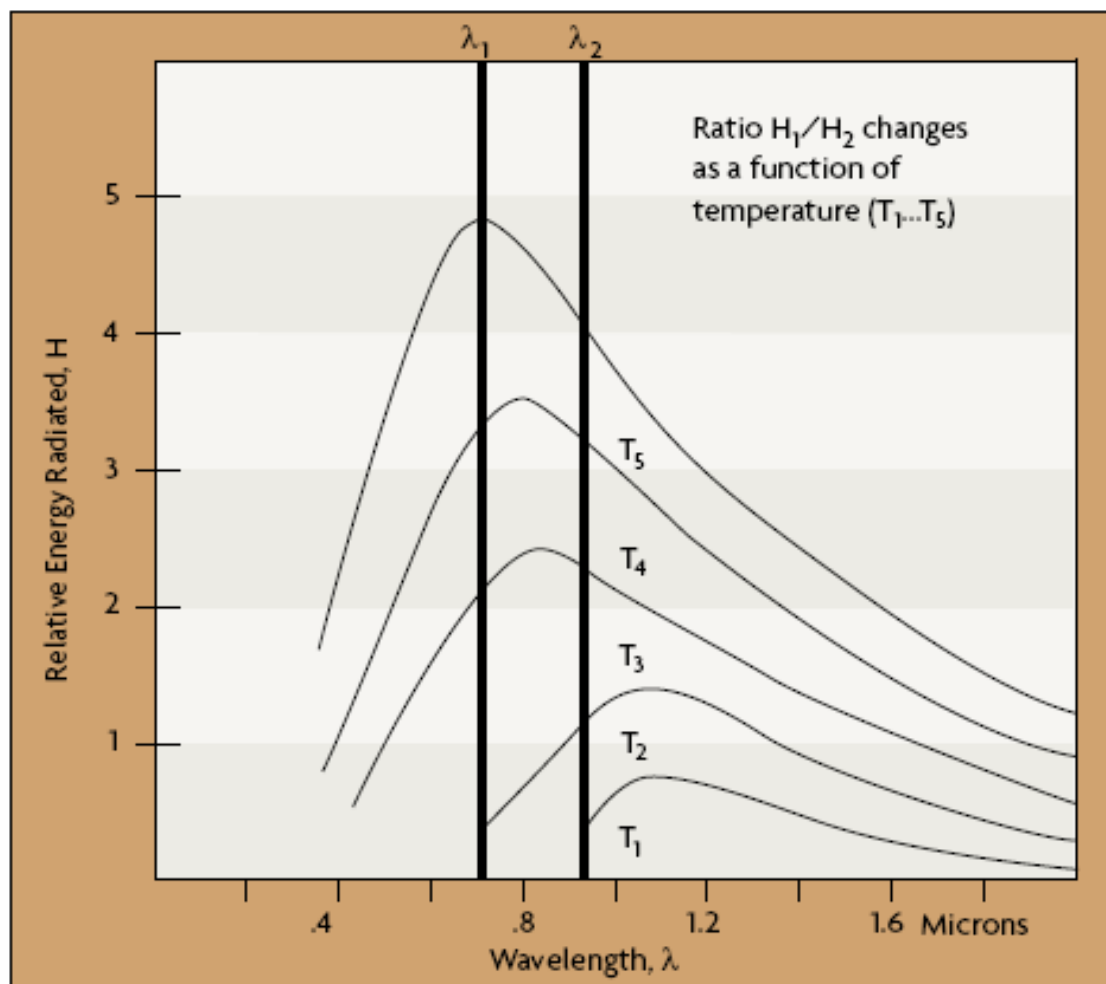


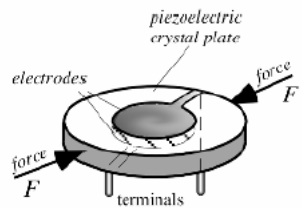




## 6.4.3. Hoả quang kế màu sắc

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)





# Hỏa quang kế màu sắc

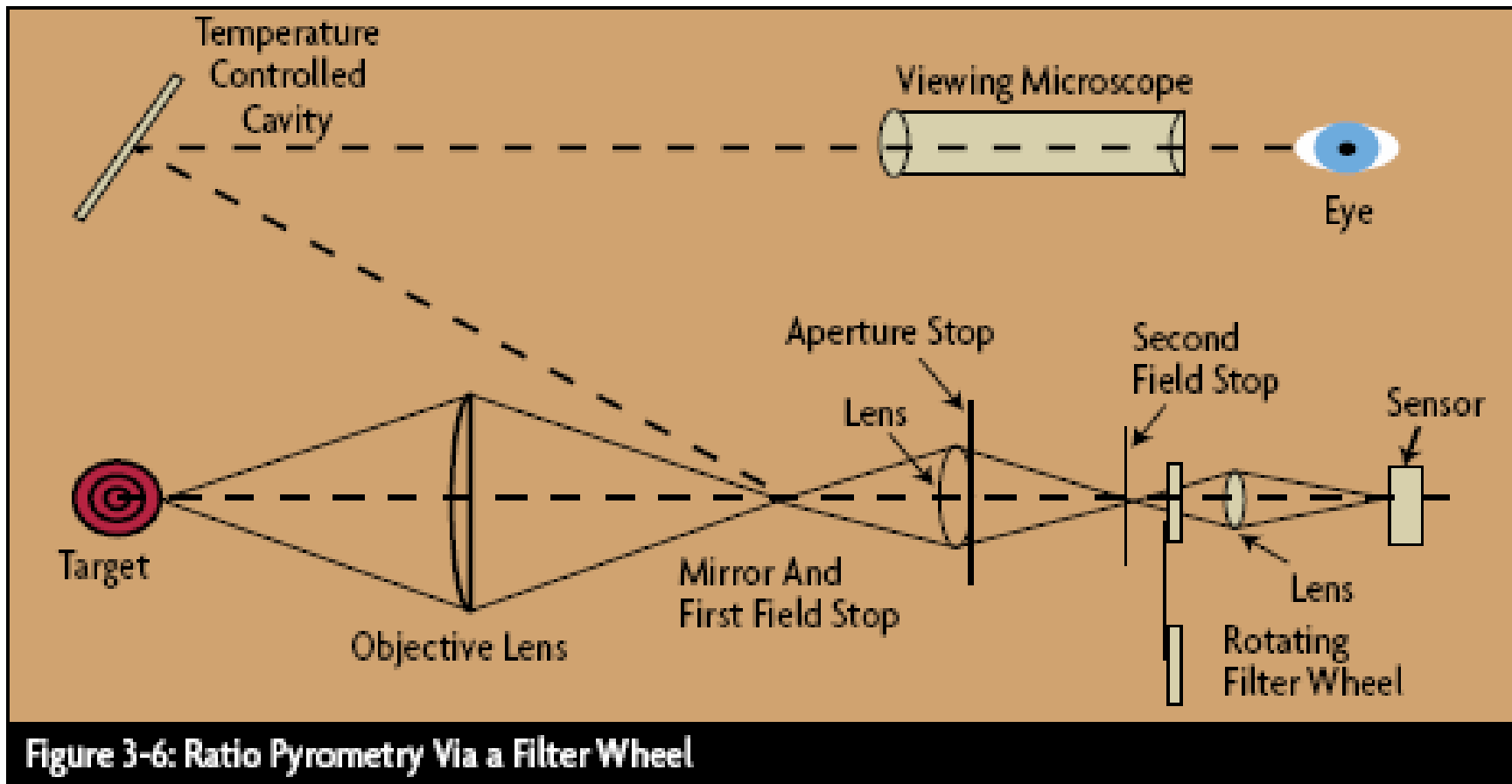
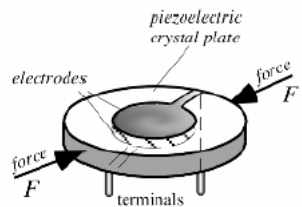
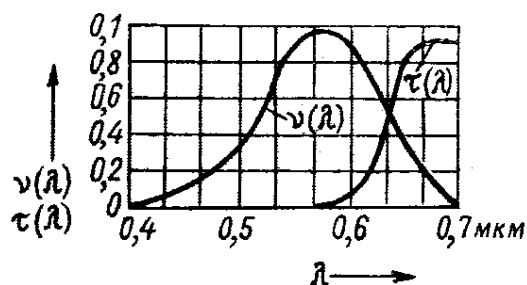


Figure 3-6: Ratio Pyrometry Via a Filter Wheel

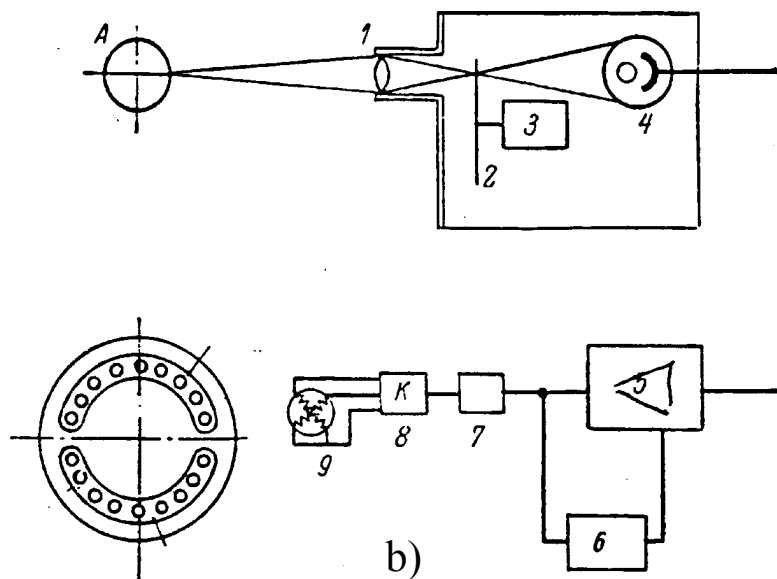


## 6.4.3. Hoả quang kế màu sắc

- A- đôi tượng đo nhiệt độ; 1- vật kính;
- 2- đĩa lọc xanh đỏ; 3- mô tơ đồng bộ;
- 4- tế bào quang điện; 5- khuếch đại;
- 6- Tự động chỉnh hệ số khuếch đại; 7- lọc
- 8- khoá đổi nối; 9- logomet chia đỏ xanh



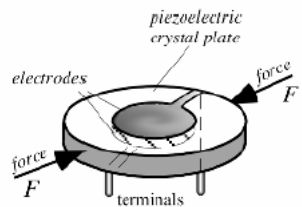
a)



b)

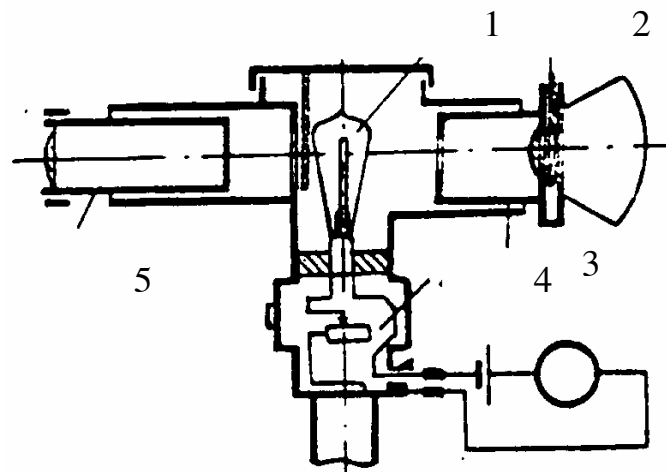
*a) đặc tính phổ củ vật đốt nóng*

*b) sơ đồ khối của hoả quang kế màu sắc*

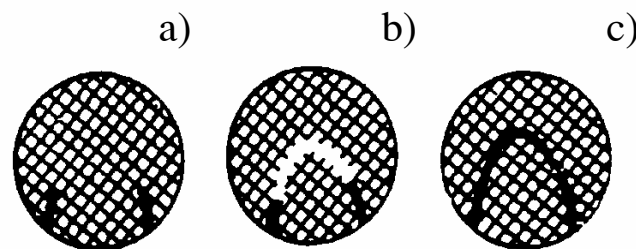


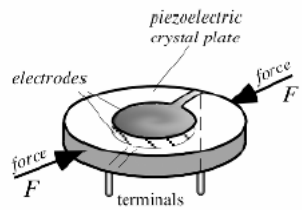
# Hoả quang kế cường độ sáng

1. Đèn sợi đốt
2. Vật kính, chỉnh vật kính
3. Ống trượt và vật kính
4. Chiết áp chỉnh dòng điện đèn
5. Thấu kính

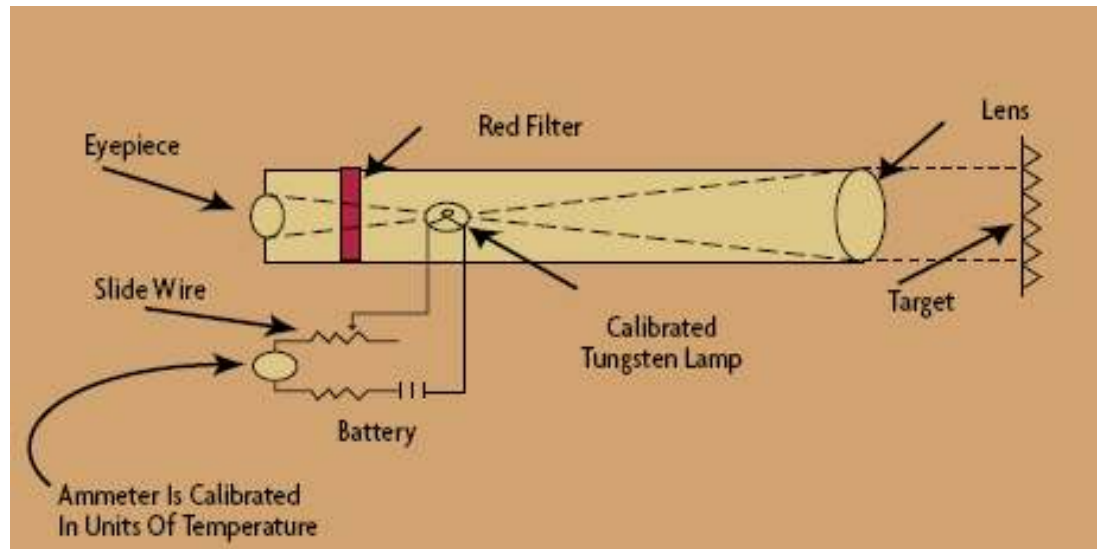


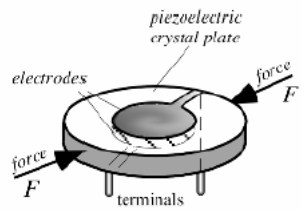
- a) Nhiệt độ dây đèn bằng nhiệt độ đối tượng
- b) Nhiệt độ dây đèn cao hơn nhiệt độ đối tượng
- c) Nhiệt độ dây đèn thấp hơn nhiệt độ đối tượng



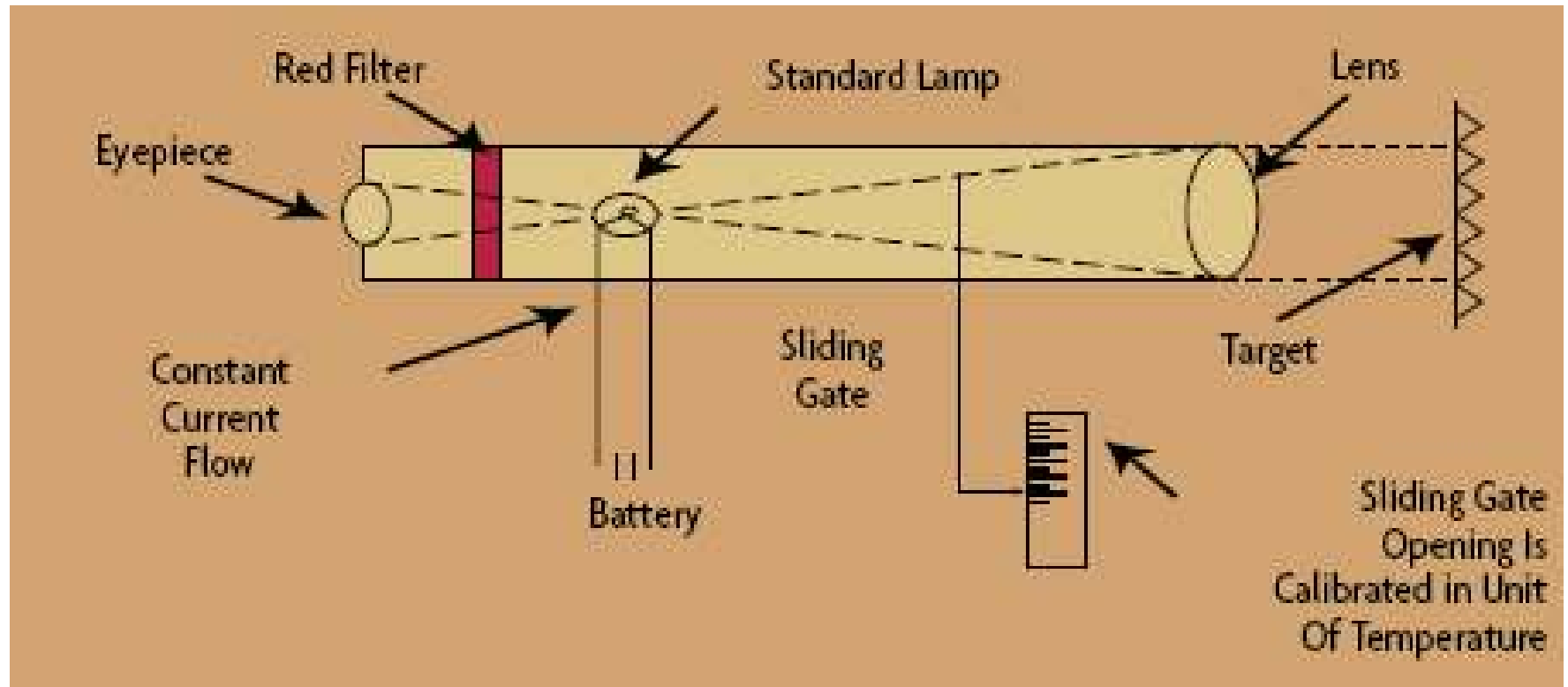


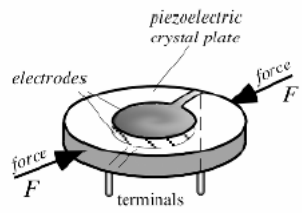
# Nguyên lý của hỏa quang kế cường độ sáng





# Chuẩn độ thiết bị



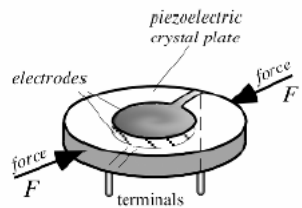


# Ví dụ

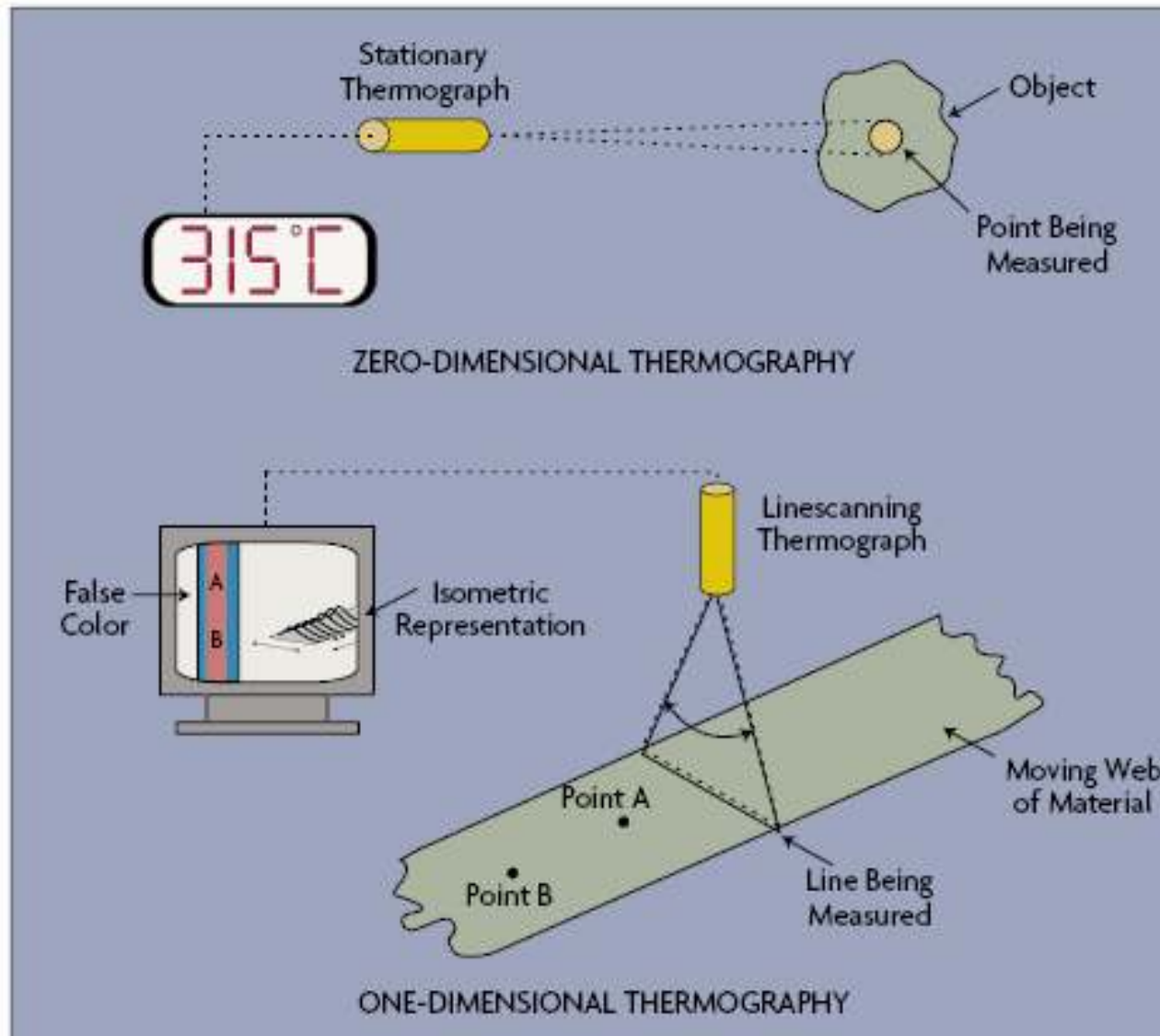


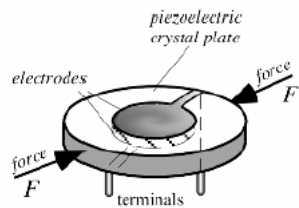
Figure 1-2: Glass Manufacture Using Visual IR Temperature Measurement





# Camera hồng ngoại

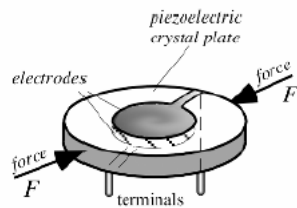




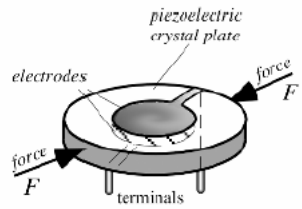
## Ví dụ

**Table 8-1: Strengths and Weaknesses of Non-Contact Temperature Sensors**

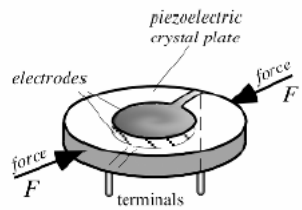
INSTRUMENT TYPE	STRENGTHS	WEAKNESSES
IR Thermocouple	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inexpensive (from \$99)</li> <li>Self-powered</li> <li>No measurement drift</li> <li>Plugs into standard thermocouple display and control devices</li> <li>Reaches into inaccessible areas</li> <li>Intrinsically safe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nonlinear output</li> <li>Susceptible to EMI</li> </ul>
Low-End IR Pyrometer/ Thermometer	<ul style="list-style-type: none"> <li>Portable and convenient</li> <li>Inexpensive (from \$235)</li> <li>Excellent maintenance tool</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Maximum probe cable length of 1 m limits use</li> </ul>
High-End IR Thermometer	<ul style="list-style-type: none"> <li>Can focus on any target at almost any distance</li> <li>Portable or fixed-place operation</li> <li>Camera-like operation (point and shoot)</li> <li>Low to medium cost (from \$350)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Measures only a fixed spot on target</li> <li>Accuracy affected by smoke, dust, etc. in line of sight</li> <li>Affected by EMI</li> </ul>



<p>Fiber Optic</p>	<p>Works in hostile, high-temperature, vacuum or inaccessible locations</p> <p>Can bypass opaque barriers to reach target</p> <p>Unaffected by EMI</p>	<p>Fairly expensive (\$1600-\$2600)</p> <p>Fixed Focus</p>
<p>Two-Color</p>	<p>Sees through smoke, dust and other contaminants in line of sight</p> <p>Independent of target emissivity</p>	<p>Fairly expensive (from \$3600 for sensor, and \$5000 for display/controller)</p>
<p>Linescanner</p>	<p>Only sensor that makes full-width temperature measurements across product</p> <p>Measures continuously as product passes by</p> <p>Computer can produce thermographic images of entire product and its temperature profile</p>	<p>Very expensive (from \$10,000 for sensor alone, \$50,000 for complete system)</p>

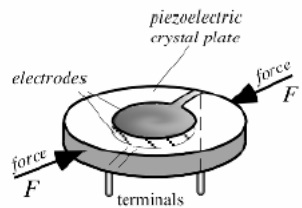


## Chương 3. Cảm biến đo lực, biến dạng, áp suất, hiệu áp suất và lưu tốc



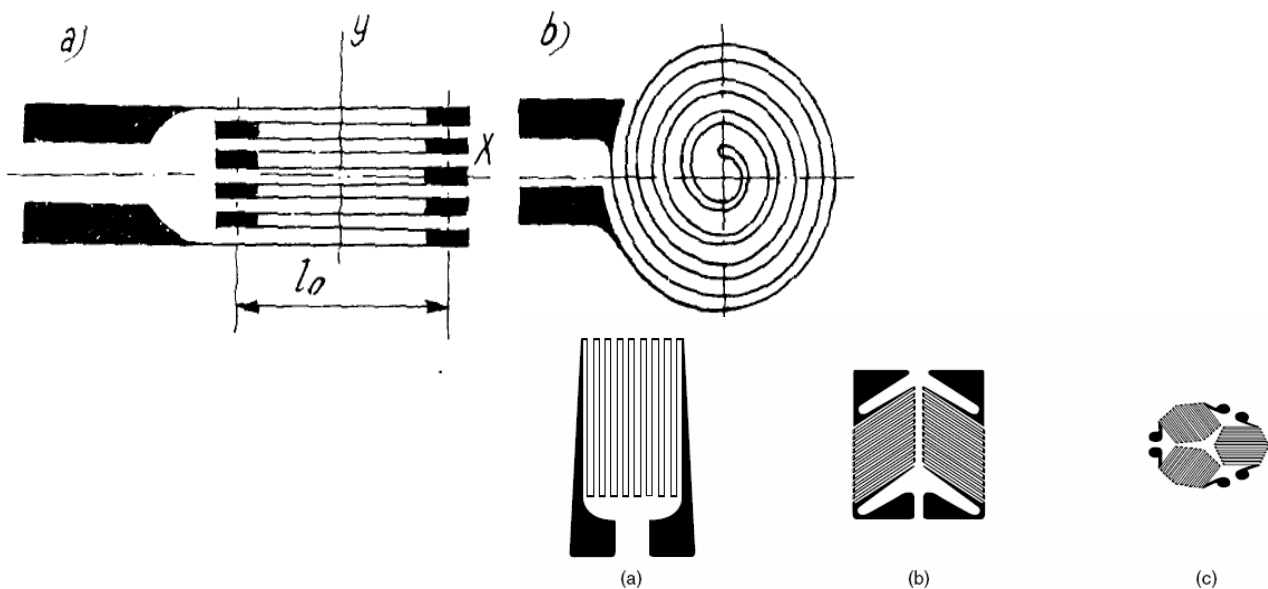
### 3.1. Các loại cảm biến được sử dụng để đo lực

- Cảm biến điện trở lực căng
- Cảm biến áp điện
- Cảm biến điện cảm
- Cảm biến áp từ

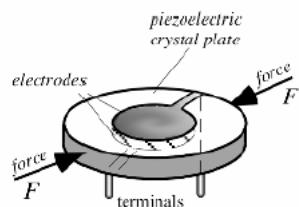


## A, Cảm biến điện trở lực căng

- Nguyên lý làm việc : hiệu ứng tenzo (piezoresistive/ strain gauge),
- Cảm biến loại này có 3 thông số chính
  - ◆ Kích thước của đế
  - ◆ Giá trị điện trở  $R_{cb}$
  - ◆ Dòng điện tối đa cho phép



a) điện trở lực căng lá mỏng;  
 b) điện trở lực căng kiểu màng mỏng



## A, Cảm biến điện trở lực căng

Ta có 
$$\frac{\Delta R}{R} = f\left(\frac{\Delta l}{l}\right)$$

hoặc 
$$\varepsilon_R = \varepsilon_l$$

Mặt khác ta có

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta S}{S}$$

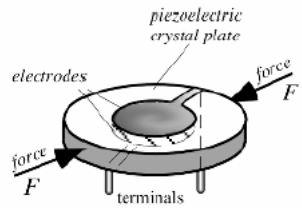


$$\varepsilon_R = \varepsilon_\rho + \varepsilon_l - \varepsilon_S$$

Trong cơ học ta có  $\varepsilon_S = -2K_p \varepsilon_l$ ;  $K_p$  hệ số Poisson

➔ 
$$\varepsilon_R = \varepsilon_l (1 + 2K_p + m) = K \varepsilon_l$$

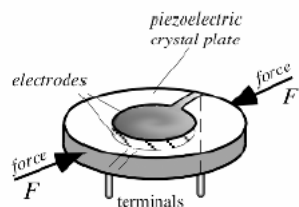
Độ nhạy của chuyển đổi:  $K = \varepsilon_R / \varepsilon_l = 1 + 2K_p + m$



## Characteristics of Some Resistance Strain Gauges

Material	Gauge factor ( $S_e$ )	Resistance, $\Omega$	Temperature coefficient of resistance ( $^{\circ}\text{C}^{-1} \times 10^{-6}$ )	Notes
57% Cu–43%Ni	2.0	100	10.8	$S_e$ is constant over a wide range of strain; for use under $260^{\circ}\text{C}$
Platinum alloys	4.0–6.0	50	2,160	For high-temperature use
Silicon	–100 to +150	200	90,000	High sensitivity, good for large strain measurements

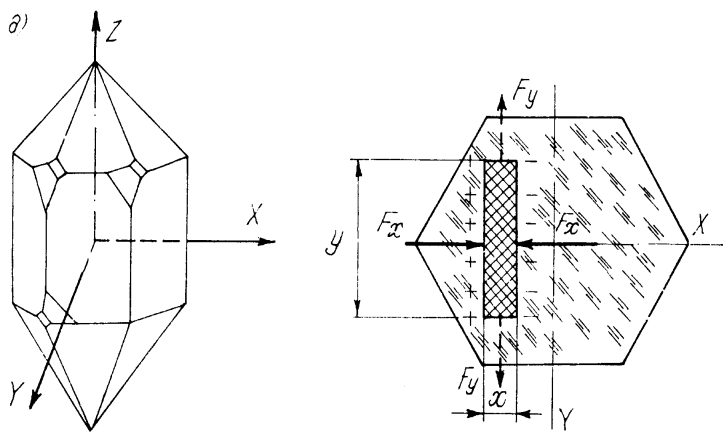




## B. Cảm biến áp điện

- Dựa trên hiệu ứng áp điện.
- Vật liệu dùng chế tạo các chuyển đổi áp điện thường là tinh thể thạch anh ( $\text{SiO}_2$ ), titanatbari ( $\text{BaTiO}_3$ ), muối Xenhét, tuamalin ...

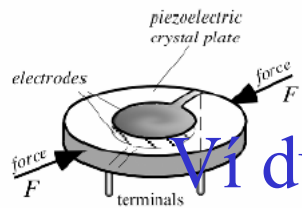
- Lực  $F_x$  gây ra hiệu ứng áp điện dọc với điện tích  $q = d_1 F_x$



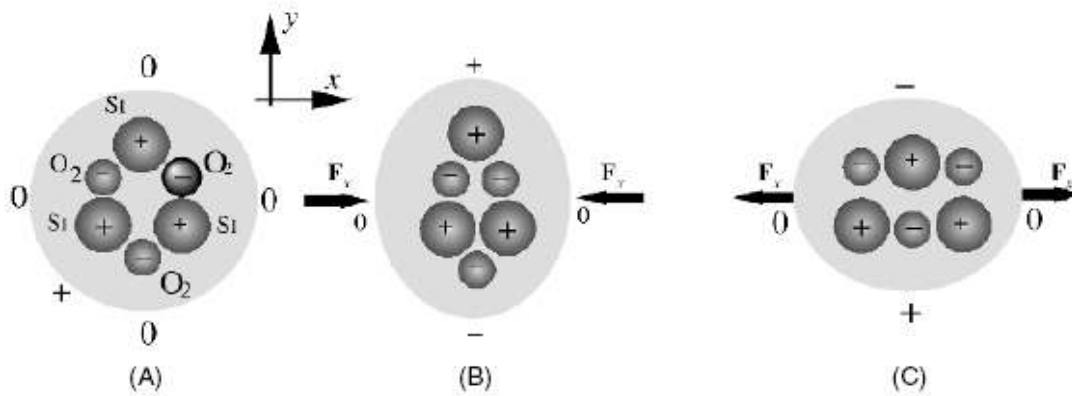
- Nếu tác động một lực theo trục Y, gây ra hiệu ứng áp điện ngang với điện tích  $q$ , phụ thuộc vào kích thước hình học của chuyển đổi:  $q = -d_1 (y/x) F_y$ .

$d_1$  - hằng số áp điện ( gọi là môđun áp điện)

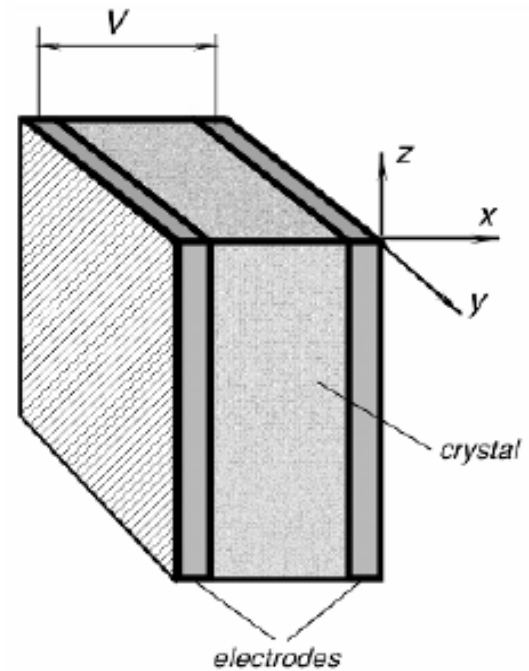
$y, x$  - kích thước của chuyển đổi theo trục X và Y



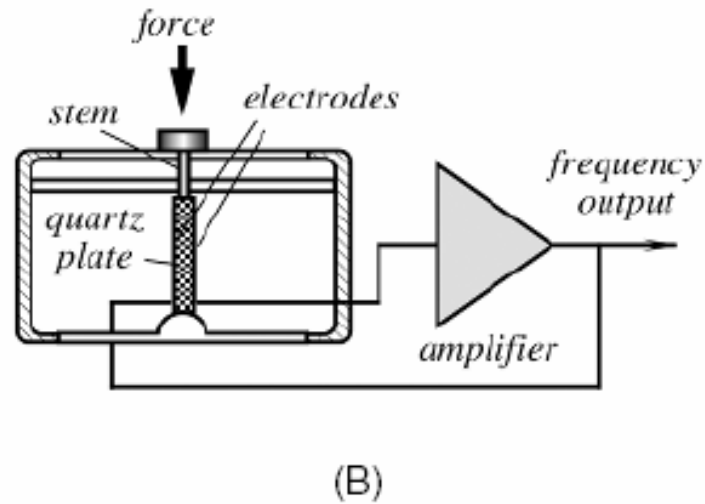
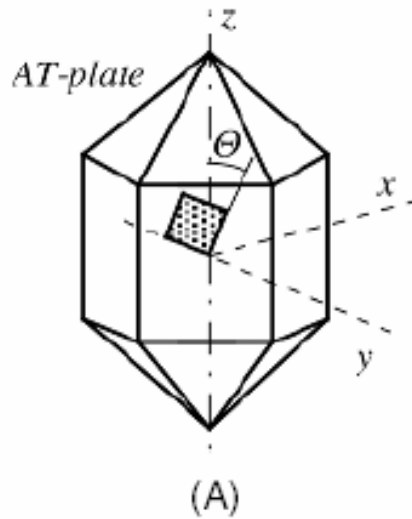
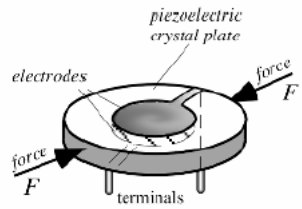
Ví dụ : hiệu ứng áp điện trên một tinh thể thạch anh



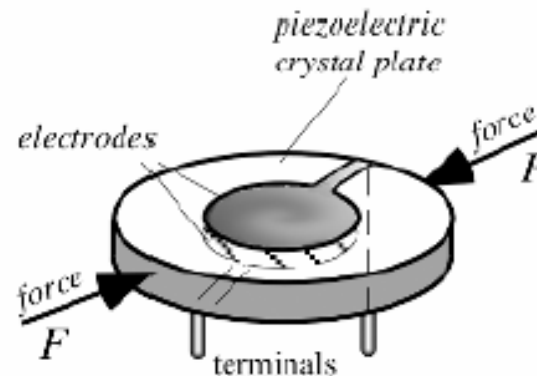
*Mạch tương đương  
Tụ điện !!!*

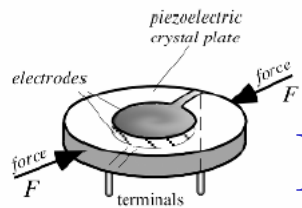


## B. Cảm biến áp điện (2)



**Fig. 9.13.** Quartz force sensor: (A) AT-cut of a quartz crystal; (B) structure of the sensor; (C) the outside appearance. (Courtesy of Quartzcell, Santa Barbara, CA.)

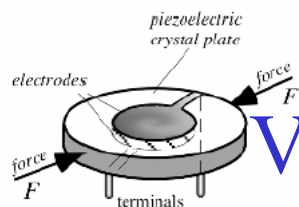




## Một số thuộc tính của vật liệu áp điện

**Table A.8.** Properties of Piezoelectric Materials at 20°C

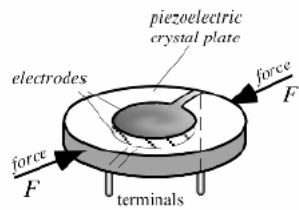
	PVDF	BaTiO <sub>3</sub>	PZT	Quartz	TGS
Density ( $\times 10^3$ kg/m <sup>3</sup> )	1.78	5.7	7.5	2.65	1.69
Dielectric constant, $\epsilon_r$	12	1700	1200	4.5	45
Elastic modulus ( $10^{10}$ N/m)	0.3	11	8.3	7.7	3
Piezoelectric constant (pC/N)	$d_{31} = 20$ $d_{32} = 2$ $d_{33} = -30$	78	110	2.3	25
Pyroelectric constant ( $10^{-4}$ C/m <sup>2</sup> K)	4	20	27	—	30
Electromechanical coupling constant (%)	11	21	30	10	—
Acoustic impedance ( $10^6$ kg/m <sup>2</sup> s)	2.3	25	25	14.3	—



## Ví dụ một số thông số của cảm biến áp điện

Some unique properties of the piezoelectric films are as follows 8:

- Wide frequency range: 0.001 Hz to 10<sup>9</sup> Hz
- Vast dynamic range: 10<sup>-8</sup>–10<sup>6</sup> psi or  $\mu$ torr to Mbar.
- Low acoustic impedance: close match to water, human tissue, and adhesive systems
- High elastic compliance
- High voltage output: 10 times higher than piezo ceramics for the same force input
- High dielectric strength: withstanding strong fields (75 V/ $\mu$ m), where most piezo ceramics depolarize
- High mechanical strength and impact resistance: 10<sup>9</sup>–10<sup>10</sup> P modulus.
- High stability: resisting moisture (<0.02% moisture absorption), most chemicals, oxidants, and intense ultraviolet and nuclear radiation
- Can be fabricated into many shapes
- Can be glued with commercial adhesives

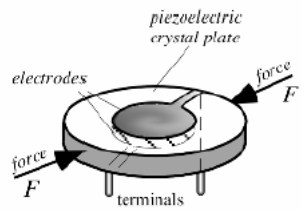


**Table A.14. Mechanical Properties of Some Crystalline Materials**

Material	Yield Strength ( $\times 10^{10}$ dyn/cm <sup>2</sup> )	Knoop Hardness (kg/mm <sup>2</sup> )	Young's Modulus ( $\times 10^{12}$ dyn/cm <sup>2</sup> )	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Thermal Conductivity (W/cm °C)	Thermal Expansion ( $\times 10^{-6}$ /°C)
Diamond <sup>a</sup>	53	7000	10.35	3.5	20.0	1.0
SiC <sup>a</sup>	21	1280	7.0	3.2	3.5	3.3
TiC <sup>a</sup>	20	1270	4.97	4.9	3.3	6.4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>a</sup>	15.4	2100	5.3	4.0	0.5	5.4
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> <sup>a</sup>	14	3486	3.85	3.1	0.19	0.8
Iron <sup>a</sup>	12.6	400	1.96	7.8	0.803	12.0
SiO <sub>2</sub> (fibers)	8.4	820	0.73	2.5	0.014	0.55
Si <sup>a</sup>	7.0	850	1.9	2.3	1.57	2.33
Steel (max. strength)	4.2	1500	2.1	7.9	0.97	12.0
W	4.0	485	4.1	19.3	1.78	4.5
Stainless steel	2.1	660	2.0	7.9	0.329	17.3
Mo	2.1	275	3.43	10.3	1.38	5.0
Al	0.17	130	0.70	2.7	2.36	25.0

<sup>a</sup>Single crystal.

Source: From Petersen, K. E. Silicon as a mechanical material. *Proc. IEEE* 70(5), 420–457, 1982.



**Table A.9. Physical Properties of Pyroelectric Materials**

Material	Curie Temperature (°C)	Thermal Conductivity (W/mK)	Relative Permittivity ( $\epsilon_r$ )	Pyroelectric Charge Coeff. (C/m <sup>2</sup> K)	Pyroelectric Voltage Coeff. (V/mK)	Coupling, $k_p^2$ (%)
<b>Single Crystals</b>						
TGS	49	0.4	30	$3.5 \times 10^{-4}$	$1.3 \times 10^6$	7.5
LiTaO <sub>3</sub>	618	4.2	45	$2.0 \times 10^{-4}$	$0.5 \times 10^6$	1.0
<b>Ceramics</b>						
BaTiO <sub>3</sub>	120	3.0	1000	$4.0 \times 10^{-4}$	$0.05 \times 10^6$	0.2
PZT	340	1.2	1600	$4.2 \times 10^{-4}$	$0.03 \times 10^6$	0.14
<b>Polymers</b>						
PVDF	205	0.13	12	$0.4 \times 10^{-4}$	$0.40 \times 10^6$	0.2
<b>Polycrystalline Layers</b>						
PbTiO <sub>3</sub>	470	2	200	$2.3 \times 10^{-4}$	$0.13 \times 10^6$	0.39
		(monocrystal)				

*Note:* The above figures may vary depending on manufacturing technologies.

*Source:* From Meixner, H., Mader, G., and Kleinschmidt, P. Infrared sensors based on the pyroelectric polymer polyvinylidene fluoride (PVDF). *Siemens Forsch. Entwickl. Ber. Bd.* 15(3), 105–114, 1986.