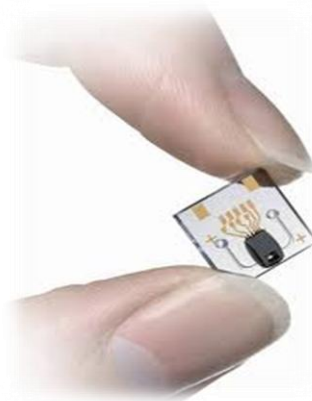


Bài giảng Kỹ Thuật Cảm Biến (sensors)

Hoang Si Hong

-----2011-----

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





Nguồn tham khảo

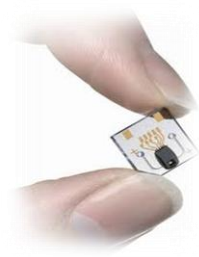
Note: Bài giảng môn học này được tham khảo, trích dẫn và lược dịch từ các nguồn sau:

✓ 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.



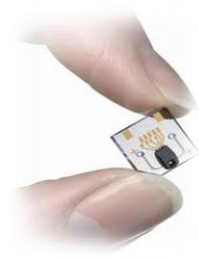
Chương 3: Cảm biến điện trở

Nội dung

- Cảm biến điện trở lực căng
- Biến trở

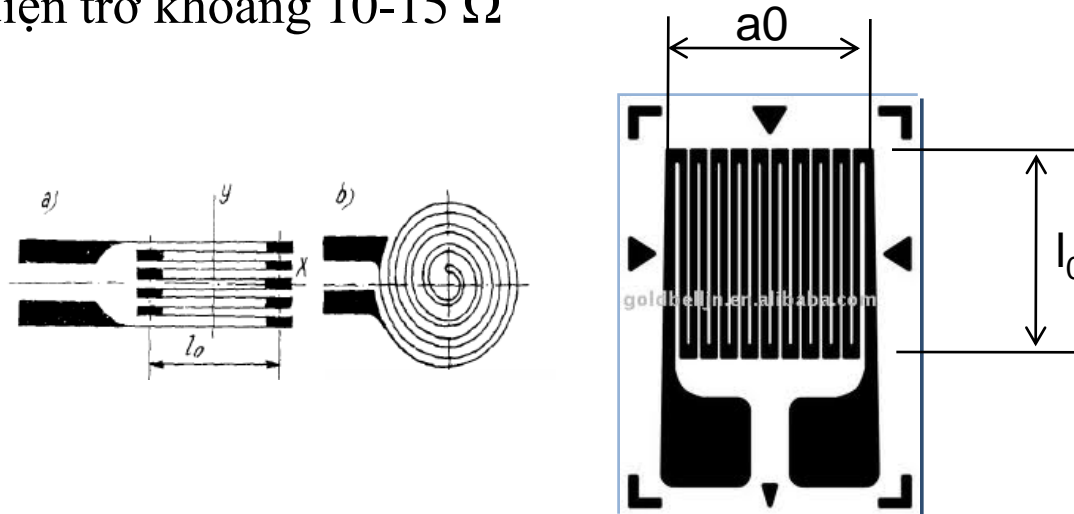


Bao nhiêu kg ?

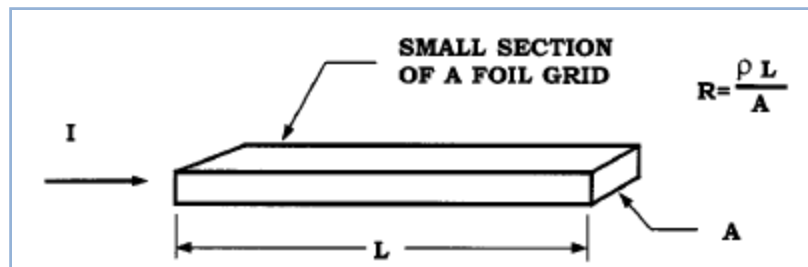


Điện trở lực căng (strain gage)-Cấu tạo

- Cấu tạo (dây điện trở, màng mỏng kim loại, bán dẫn (silicon, SiC...))
- Dây mảnh, lá mỏng và màng mỏng
- Trên giấy mỏng cách điện, dán dây điện trở (constantan, nicrom..) hình răng lược đường kính 0.02 – 0.03 mm. Chiều dài lo thường từ 8-15 mm, chiều rộng a0 3-10 mm. Điện trở ban đầu 800 – 1000 Ω , lượng thay đổi điện trở khoảng 10-15 Ω



Khi dây dẫn chịu biến dạng cơ khí thì điện trở của nó thay đổi, hiện tượng đó gọi là hiệu ứng tenzo (piezoresistive). Chuyển đổi làm việc dựa trên hiệu ứng đó gọi là chuyển đổi điện trở lực căng



where R = Resistance
 ρ = Resistivity
 L = Length
 A = Area of the cross-section

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

ư hay $\varepsilon_R = \varepsilon_l$

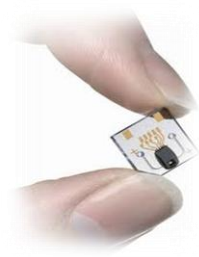
Mặt khác ta có $\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta S}{S}$

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

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: $K = \varepsilon_R / \varepsilon_l = 1 + 2K_p + m$

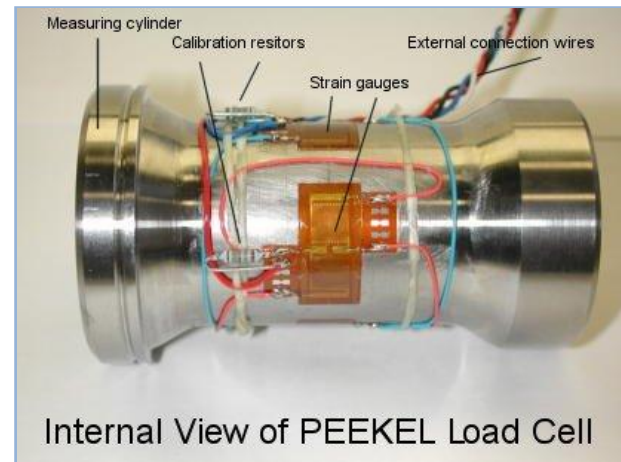
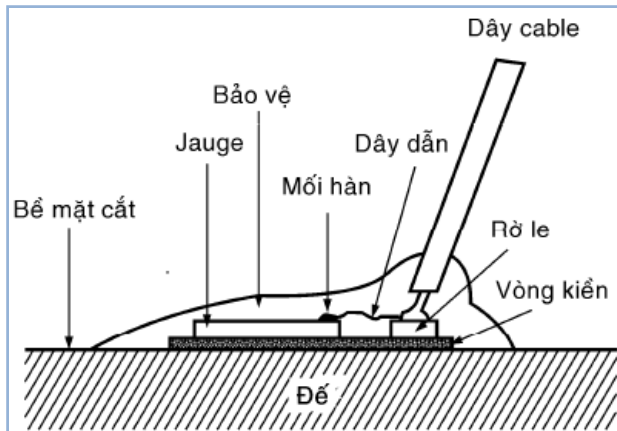


Một số tính chất của cảm biến

- Tuỳ theo đường kính dây sẽ có dòng cho phép đi qua tương ứng.
- Ví dụ: đường kính = 12 mm thì dòng cho phép là 15 mA
- Đường kính = 15 mm thì dòng cho phép là 35 mA
- Thông thường độ nhạy theo lí thuyết sẽ khác so với đặc tính thực tế. Do vậy khi sản xuất người ta sẽ chế tạo hàng loạt. Sau đó các cảm biến sẽ được hiệu chuẩn đơn chiếc tùy theo ứng dụng thực tế
- Hệ số nhiệt độ của vật liệu cần phải bé hoặc cần có bù nhiệt trong mạch đo
- Vật liệu chế tạo dây điện trở cần có điện trở suất lớn để giảm kích thước chuyển đổi
- Tăng độ dài tác dụng lo để tăng độ nhạy

Cách dán tenzo

- Kỹ thuật dán (hình vẽ): trước khi dán phải làm sạch bề mặt vật liệu bằng hoá chất-> phủ lớp keo dán
- Chọn vị trí dán: có độ biến dạng lớn nhất để tăng độ nhạy



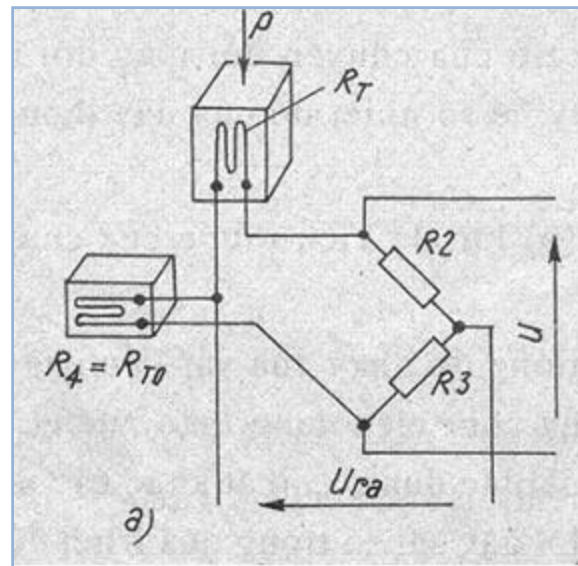


Mạch đo

3. *Mạch đo.* Thông thường chuyển đổi điện trở lực căng được dùng với mạch cầu một chiều hoặc xoay chiều và mạch phân áp.

Khi mạch cầu chỉ có một nhánh hoạt động (tức là chỉ một chuyển đổi hoạt động) vấn đề bù nhiệt độ phải được thực hiện do vậy người ta dùng một chuyển đổi cùng loại dán lên chi tiết không làm việc cùng vật liệu với đối tượng đo và đặt trong cùng một nhiệt độ (h.7-9a).

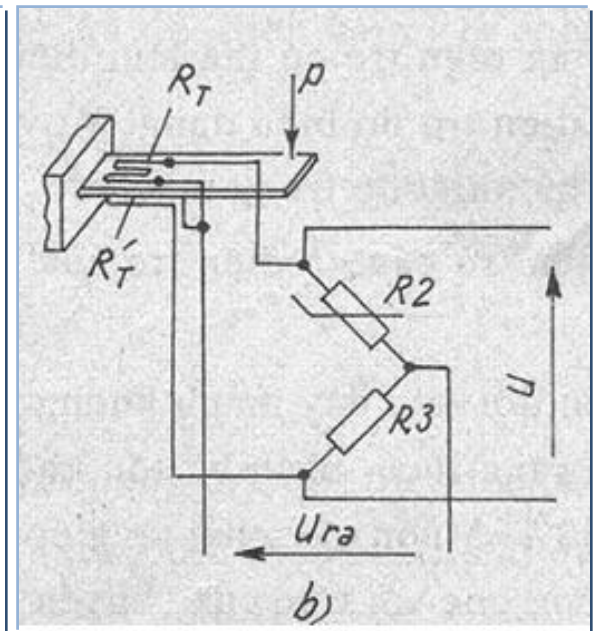
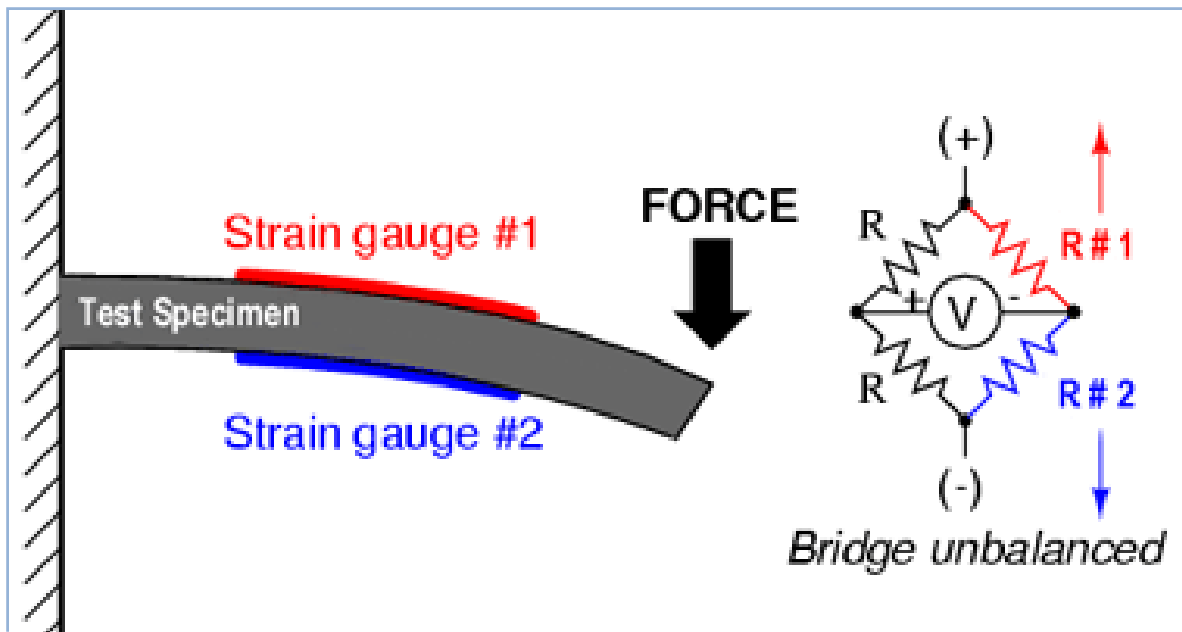
Khi cầu không làm việc ở trạng thái cân bằng $\frac{R_T}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} = K$,



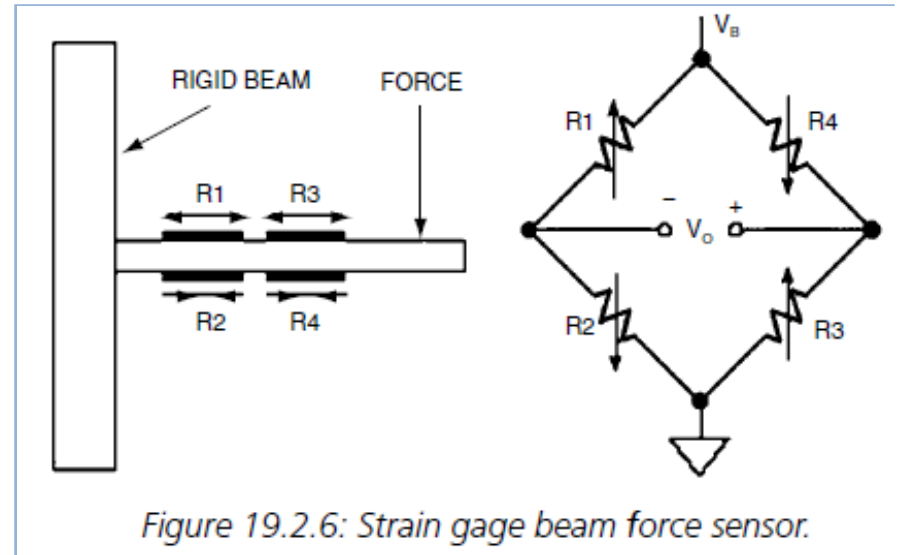
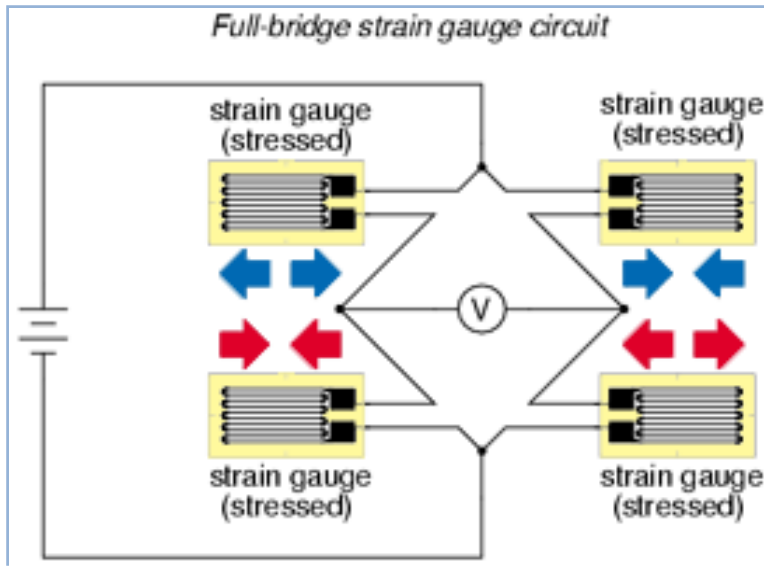
Mạch đo

Thuận tiện hơn là sơ đồ hình 7–9b. Trong đó hai nhánh cầu được dán chuyển đổi tenzô và cùng hoạt động. Điện áp ra của mạch cầu tăng gấp hai lần và bù nhiệt độ tốt hơn; sai số nhiệt độ bị loại trừ.

Với cầu 4 nhánh hoạt động, điện áp ra của mạch cầu là lớn nhất tăng gấp bốn lần, sai số nhiệt độ cũng bị loại trừ.



Cầu 4 nhánh





Mạch phân áp

Ngoài mạch cầu người ta còn dùng mạch phân áp như hình 7-9c.

Mạch trên dùng để đo biến dạng động với tần số lớn hơn 1000Hz ví dụ biến dạng do va đập. Điện áp ra được đo trên R_T mắc nối tiếp với điện trở R . Để loại trừ thành phần một chiều người ta mắc thêm tụ C .

Điện áp rơi trên tenzô: $U_T = U \cdot \frac{R_T}{R + R_T}$

Khi có biến dạng với tần số ω :

$$U_T = U \cdot \frac{R_T(1 + \varepsilon_R \sin \omega t)}{R + R_T(1 + \varepsilon_R \sin \omega t)}$$

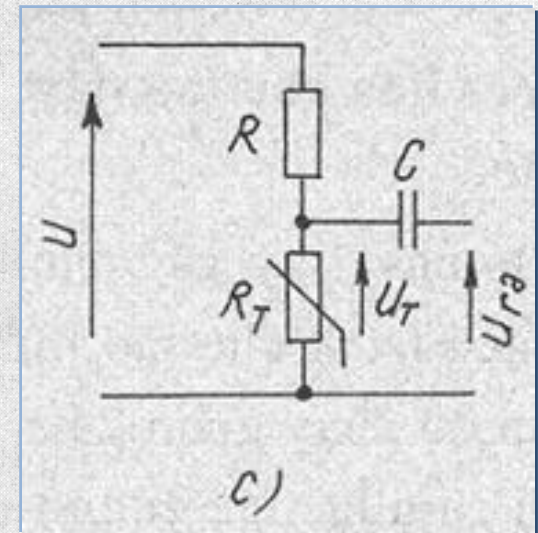
với $\varepsilon_R \ll 1$.

Ta có:

$$U_T \approx U \left[\frac{R_T}{R + R_T} + \frac{R_T \varepsilon_R \sin \omega t}{R + R_T} \right]$$

Điện áp ra chỉ lấy với thành phần xoay chiều :

$$U_{ra} \approx U \frac{R_T}{R + R_T} \varepsilon_R \sin \omega t.$$





Sai số và ứng dụng

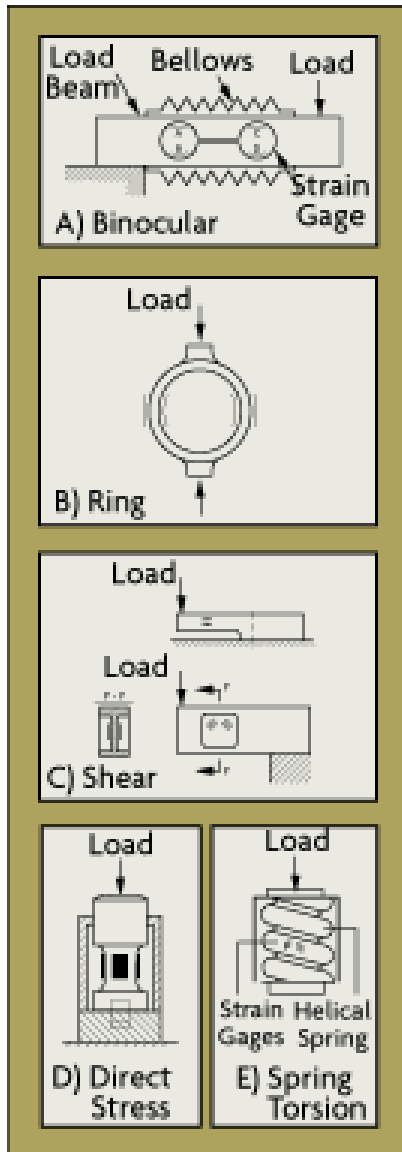
4. Sai số và phạm vi ứng dụng : Sai số của thiết bị đo dùng chuyển đổi tenzô chủ yếu do độ chính xác khác độ các chuyển đổi. Không thể khắc độ trực tiếp đơn chiếc, chúng được chế tạo hàng loạt và được chuẩn sơ bộ.

Khi sử dụng cần phải có công nghệ dán chuẩn và chọn vị trí chính xác. Sai số có thể đạt tới $1 \div 5\%$.

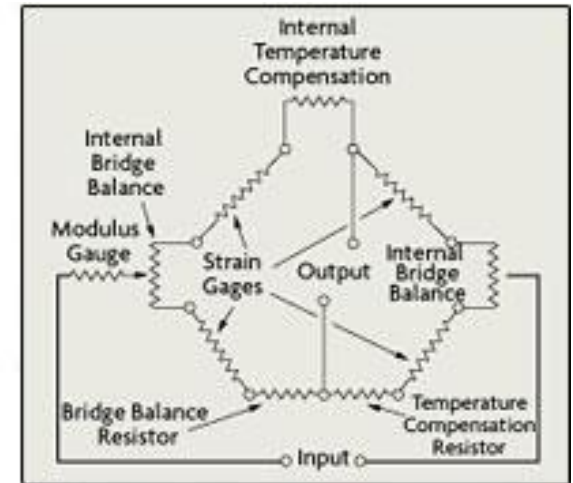
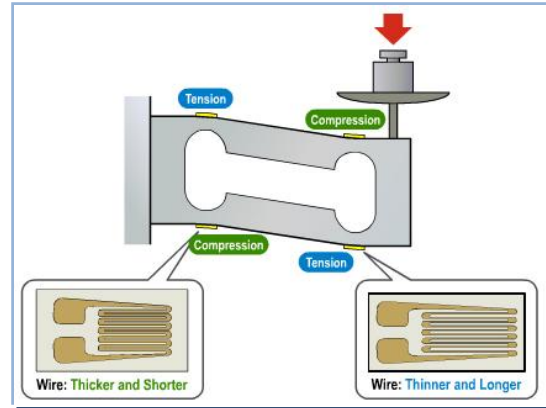
Khi chuẩn trực tiếp chuyển đổi với mạch đo sai số có thể giảm đến $0,2 \div 0,5\%$ khi đo biến dạng tĩnh và $1 \div 1,5\%$ khi đo biến dạng động. Ngoài ra còn có sai số biến dạng dư của keo dán khi sấy khô, do sự giãn nở khác nhau giữa chuyển đổi và chi tiết dán. Các chuyển đổi lực căng được dùng để đo lực áp suất, mô men quay, gia tốc và các đại lượng khác nếu có thể biến đổi thành biến dạng đàn hồi với ứng suất không bé hơn $(1 \div 2) 10^7 \text{ N/m}^2$.

Chuyển đổi điện trở lực căng có thể đo các đại lượng biến thiên tới vài chục kHz.

Loadcell (chế tạo cân điện tử)

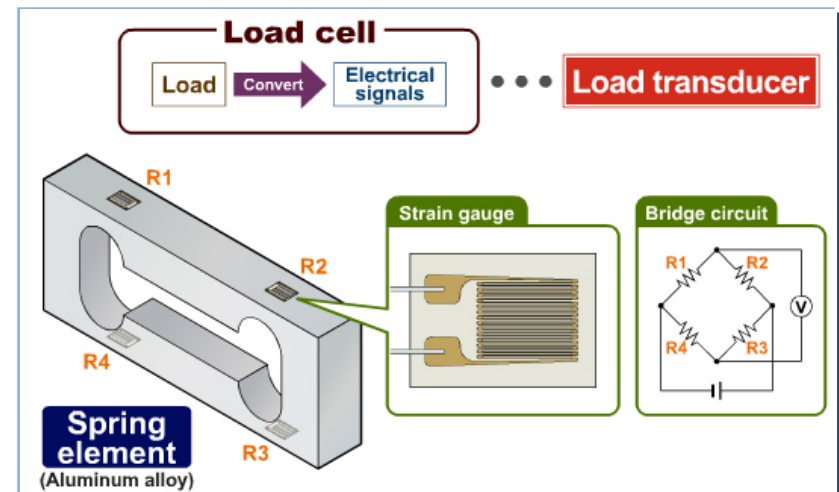


Load Cell Spring Elements



Wheatstone Circuit with Compensation

- Cân ô tô
- Cân băng định lượng
- Cân phối liệu



Loadcell

Styles of Load Cells



Compression Load Cells

Compression load cells often have an integral button design. They are ideal for mounting where space is restricted. They offer excellent long term stability.



S-Beam Load Cells

S-Beam load cells get their name from their S shape. S-Beam load cells can provide an output if under tension or compression. Applications include tank level, hoppers and truck scales. They provide superior side load rejection.



Platform and Single Point Load Cells

Platform and single point load cells are used to commercial and industrial weighing systems. They provide accurate readings regardless of the position of the load on the platform.



Low Profile Load Cells

Compression and tension/compression load cells. Mounting holes and female threads provide easy installation. Used frequently in weighing research and in-line force monitoring.



Compression/Tension Load Cells

Compression/tension load cells can be used for applications where the load may go from tension to compression and vice versa. They are ideal for space restricted environments. Threaded ends facilitate easy installation.



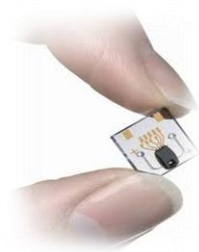
Bending Beam Load Cells

Used in multiple load cell applications, tank weighing and industrial process control. They feature low profile construction for integration into restricted areas.



Canister Load Cells

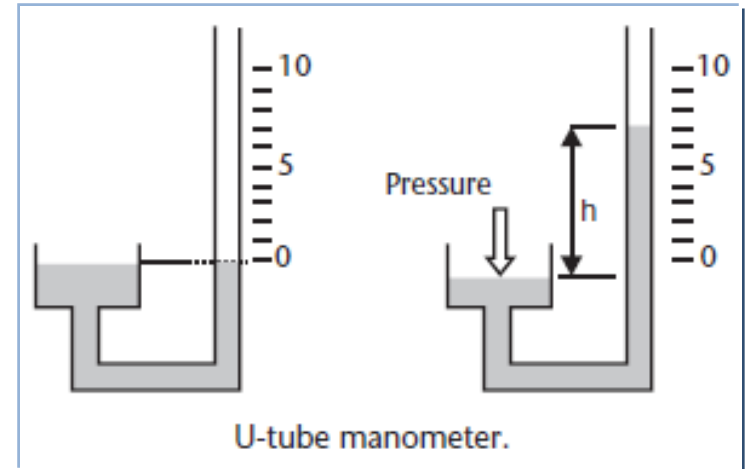
Canister load cells are used for single and multi-weighing applications. Many feature an all stainless steel design and are hermetically sealed for washdown and wet areas.



Ứng dụng phần tử điện trở lực căng cho cảm biến áp suất

• Stress : $\sigma = \pm \frac{F}{A}$ • Strain : $\epsilon = \pm \frac{\Delta L}{L}$

- $P = h \rho g$, $P = F/A$
- Trong đó h chiều cao cột chất lỏng.
- ρ là trọng lượng riêng chất lỏng
- g là gia tốc trọng trường
- F lực tác động lên đơn vị diện tích A
- $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 7.5 \times 10^{-4} \text{ cm Hg}$.
- $1 \text{ atm} = 760 \text{ torr} = 101,325 \text{ Pa}$.
- $1 \text{ psi} = 6.89 \times 10^3 \text{ Pa} = 0.0703 \text{ atm}$.
- Cảm biến áp suất kiểu biến dạng màng
- Cảm biến áp suất kiểu trên cơ sở MEMS



$$\sigma = F/A = \text{"Stress exerted on wire"}$$

$$\text{Gage Factor} = G = (\Delta R/R)/(\Delta L/L)$$

Young's Modulus

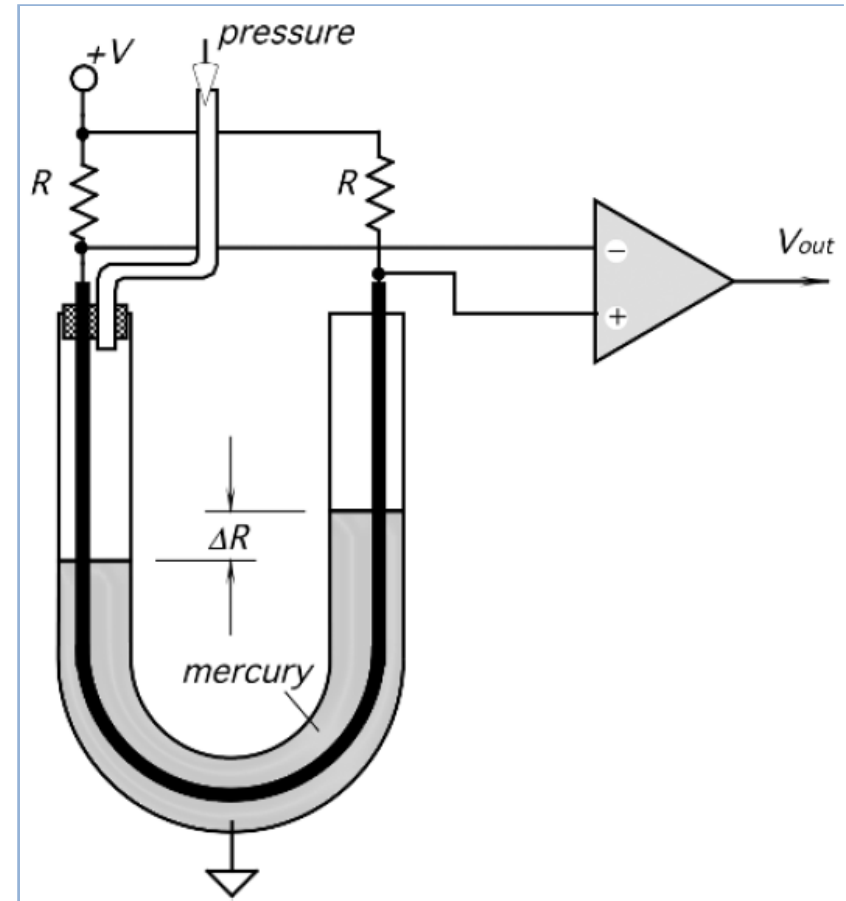
$$Y = \frac{\left(\frac{F}{A}\right)}{\left(\frac{\Delta L}{L}\right)} = \frac{F}{A \cdot \epsilon} = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

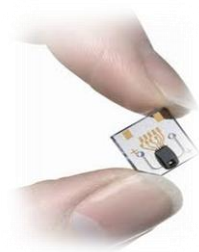


Cảm biến áp suất thủy ngân

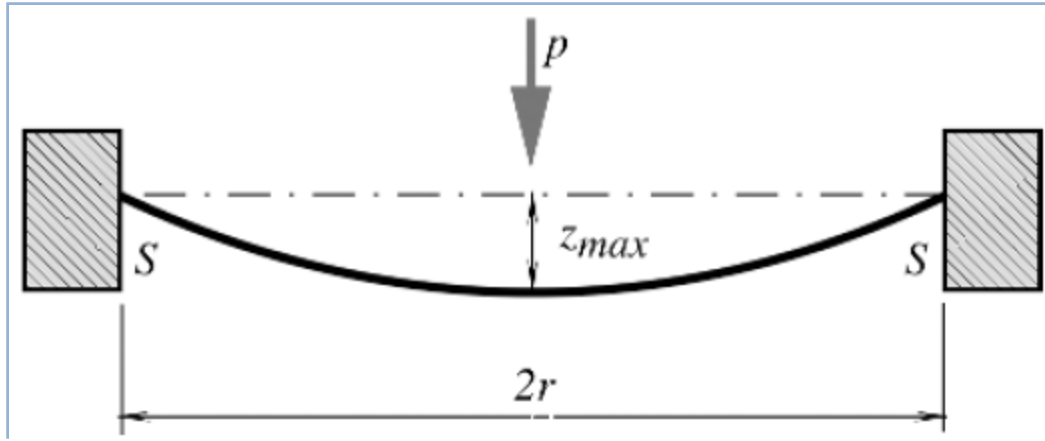
- Khi áp suất cần đo tác động, chiều cao cột thủy ngân giữa 2 nhánh ống lệch nhau, điều đó dẫn đến điện trở của hai khối không khí trong hai nhánh ống lệch nhau 1 lượng là ΔR và điện áp ra cầu điện trở sẽ là:

$$V_{out} = V \frac{\Delta R}{R} = V \beta \Delta p.$$





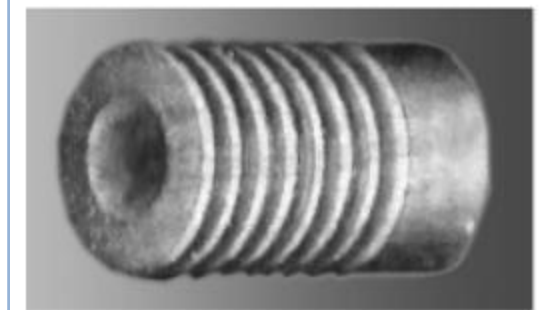
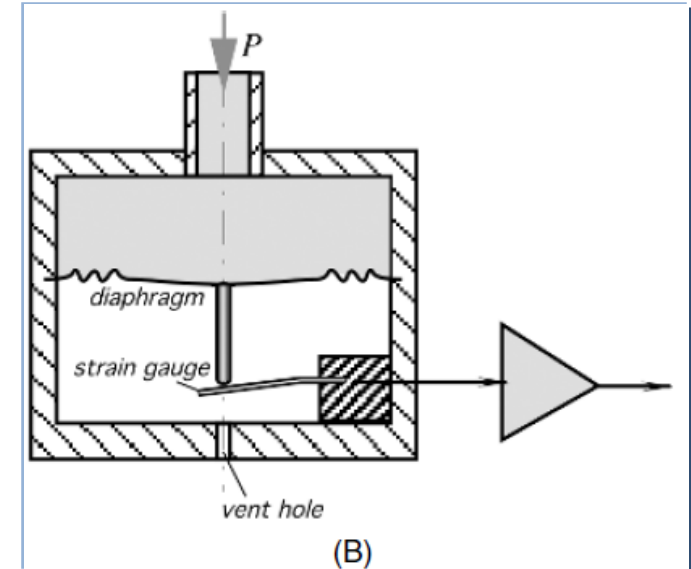
Cảm biến áp suất kiểu bản hoặc màng mỏng sử dụng các điện trở lực căng dây kim loại



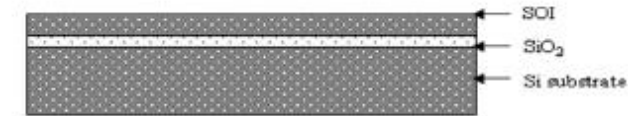
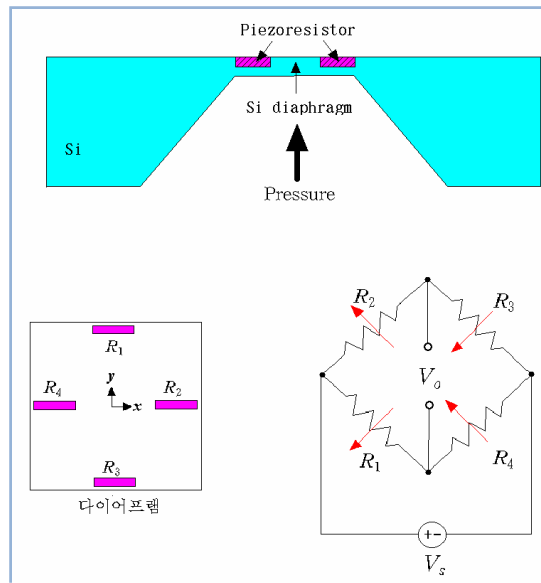
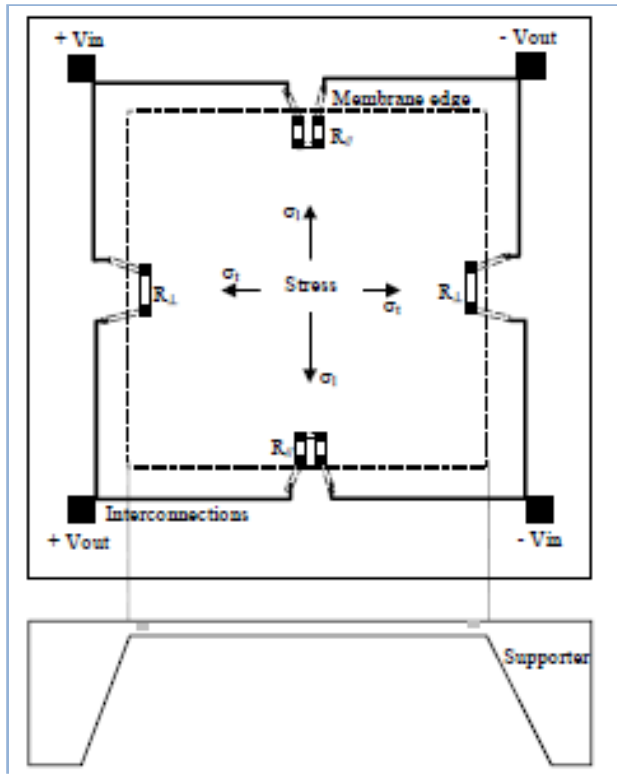
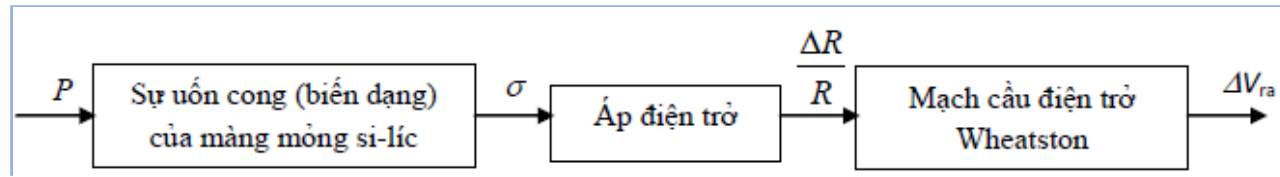
- Mối liên hệ giữa độ võng Z và áp suất p xác định như sau:

$$z_{\max} = \frac{3(1 - \nu^2)r^4 p}{16Eg^3},$$

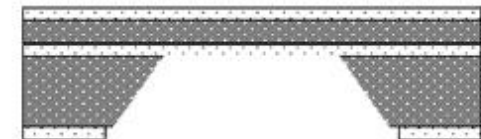
- Trong đó r là bán kính màng, E là Young's modulus (N/m²), ν is Poisson's ratio và g là độ dày của bản mỏng hoặc màng -> độ võng thay đổi tỷ lệ với sự thay đổi điện trở của các điện trở lực căng-> áp suất



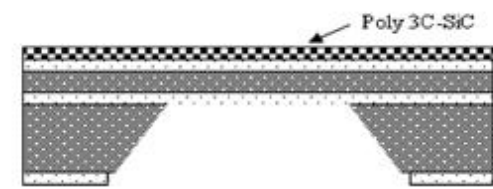
Cảm biến áp suất kiểu MEMS sử dụng vật liệu bán dẫn làm phần tử nhạy



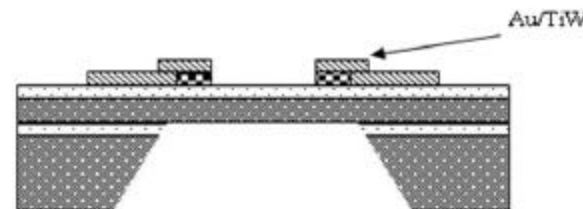
(a)



(b)



(c)



(d)

(e)



Cảm biến áp suất kiểu MEMS sử dụng vật liệu bán dẫn làm phần tử nhạy

- Khi có ứng suất tác động vào màng thì điện trở của phần tử nhạy thay đổi là:

$$\frac{\Delta R}{R} = \pi_1 \sigma_1 + \pi_t \sigma_t,$$

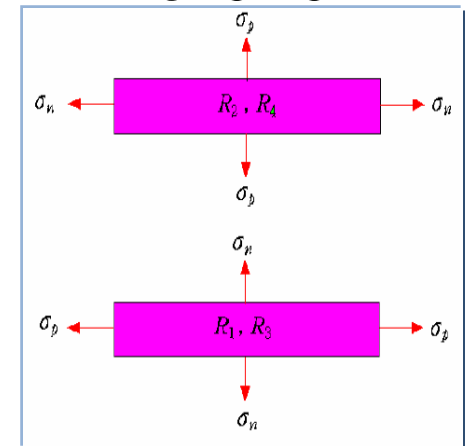
- Trong đó π_1 và σ_1 là hệ số áp trở (piezoresistive) và ứng suất theo hướng dọc
- σ_t và π_t là hệ số áp trở (piezoresistive) và ứng suất theo hướng ngang

$$\pi_1 = -\pi_t = \frac{1}{2} \pi_{44}.$$

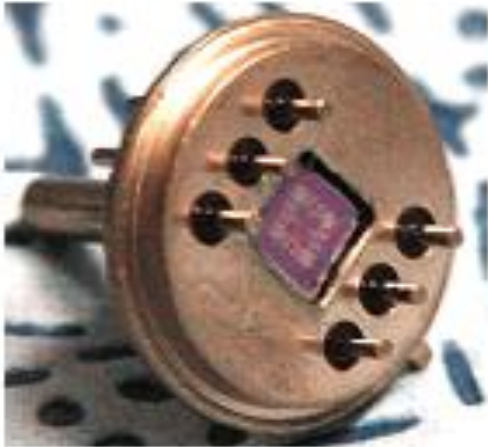
$$\frac{\Delta R_1}{R_1} = -\frac{\Delta R_2}{R_2} = \frac{1}{2} \pi_{44} (\sigma_{1y} - \sigma_{1x}).$$

- Điện áp ra cầu

$$V_{\text{out}} = \frac{1}{4} E \pi_{44} (\sigma_{1y} - \sigma_{1x}).$$



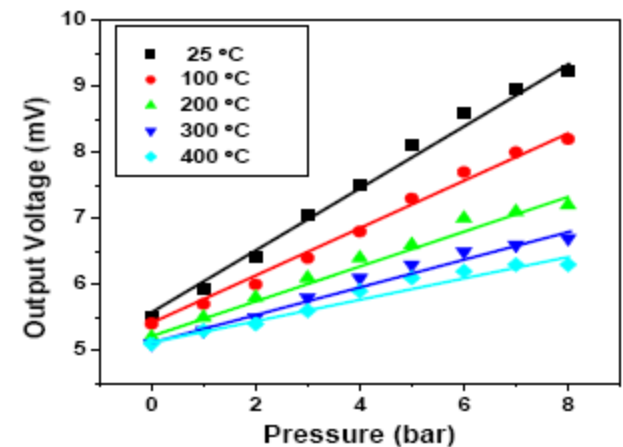
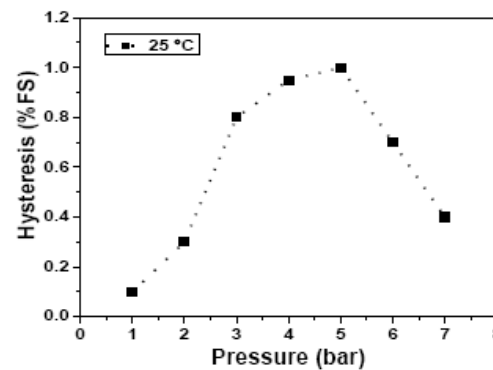
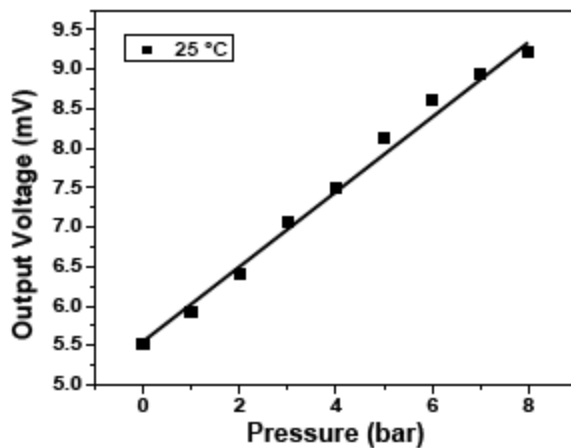
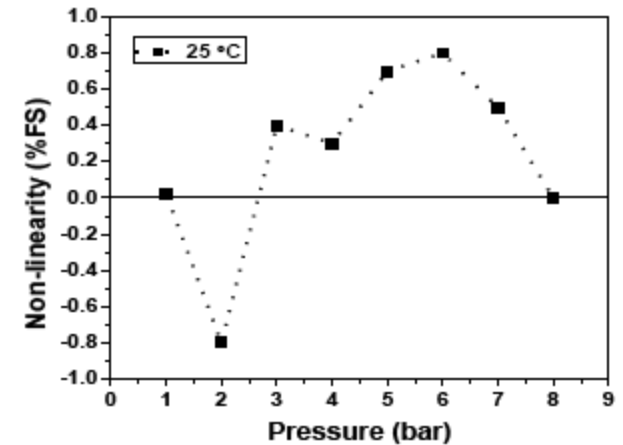
ứng dụng SiC cho việc chế tạo cảm biến đo áp suất (MEMS)

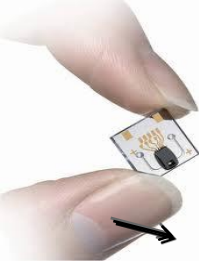


(a)



(b)





Thuộc tính một số vật liệu thông dụng cho chế tạo điện trở lực căng

Table 2.1 Properties of Strain-gage Materials

Material	Composition (%)	Gage Factor	Temperature Coefficient of Resistivity ($^{\circ}\text{C}^{-1} - 10^{-5}$)
Constantan (advance)	Ni ₄₅ , Cu ₅₅	2.1	± 2
Isoelastic	Ni ₃₆ , Cr ₈ (Mn, Si, Mo) ₄ Fe ₅₂	3.52 to 3.6	+17
Karma	Ni ₇₄ , Cr ₂₀ , Fe ₃ Cu ₃	2.1	+2
Manganin	Cu ₈₄ , Mn ₁₂ , Ni ₄	0.3 to 0.47	± 2
Alloy 479	Pt ₉₂ , W ₈	3.6 to 4.4	+24
Nickel	Pure	-12 to -20	670
Nichrome V	Ni ₈₀ , Cr ₂₀	2.1 to 2.63	10
Silicon (<i>p</i> type)		100 to 170	70 to 700
Silicon (<i>n</i> type)		-100 to -140	70 to 700
Germanium (<i>p</i> type)		102	
Germanium (<i>n</i> type)		-150	

Cảm biến gia tốc trên cơ sở điện trở lực căng

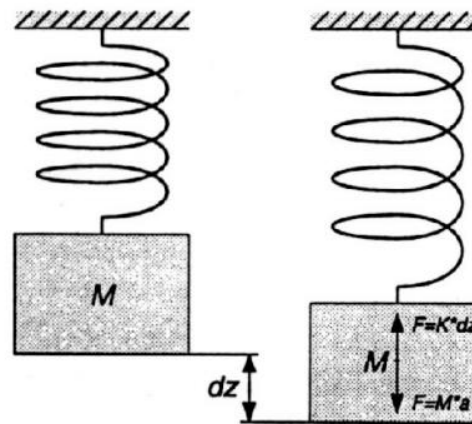
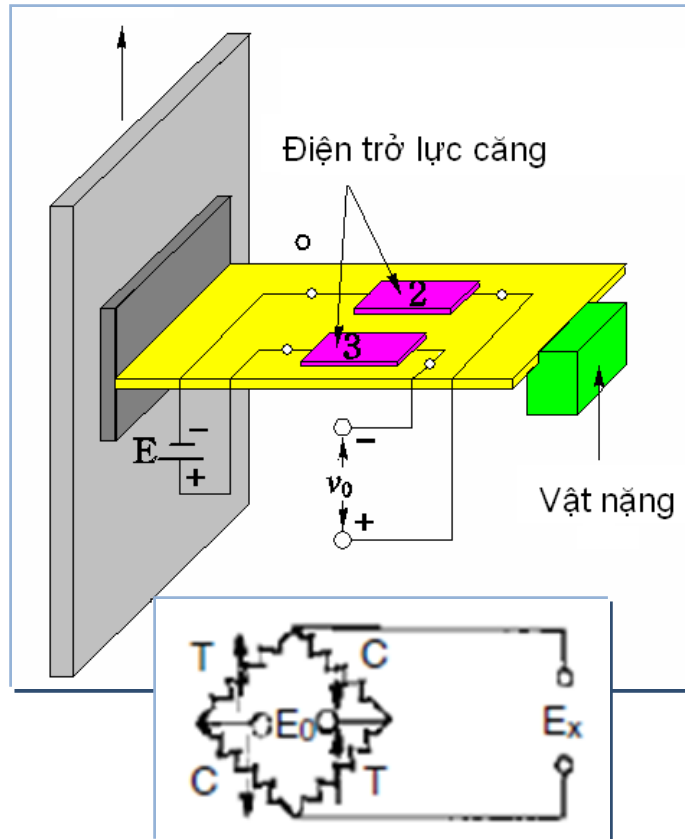
Piezoresistive Accelerometer

Model 2262A

- Rugged, Fluid Damped
- DC Response
- 25 to 2000 g Full Scale
- 500 mV Full Scale Output
- Hermetically Sealed



ENDEVCO
MODEL
2262A



• Newton second law:

$$F = dP/dt = M a = K dZ$$

where

P: impulse momentum

M: mass

a: acceleration

K: spring stiffness

dZ: displacement

Displacement dZ => Acceleration a

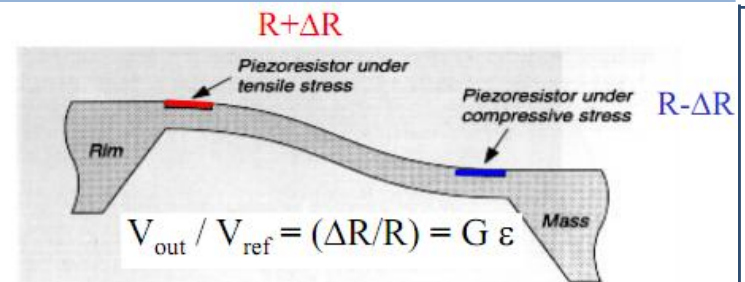
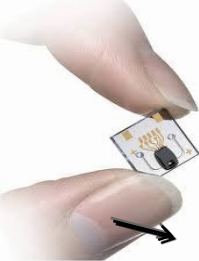


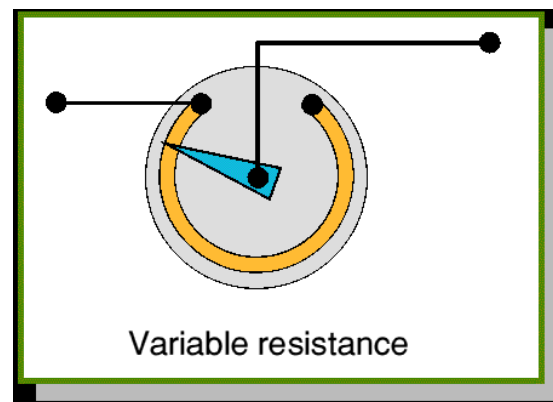
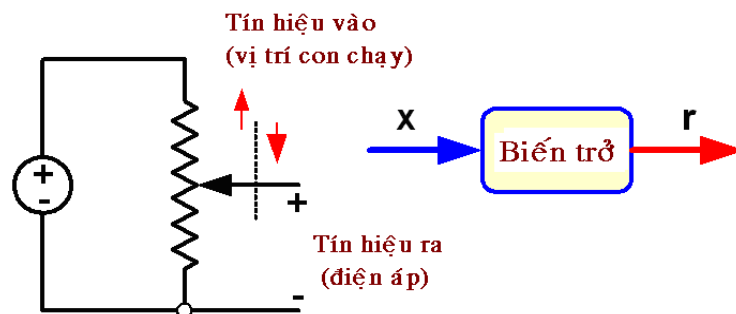
Fig. 1-5 Location of the piezoresistors to obtain an output signal with moving mass position.

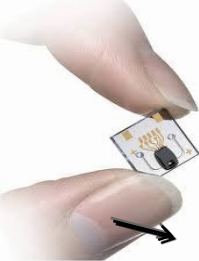
G Gauge factor
ε Strain



Chuyển đổi biến trở

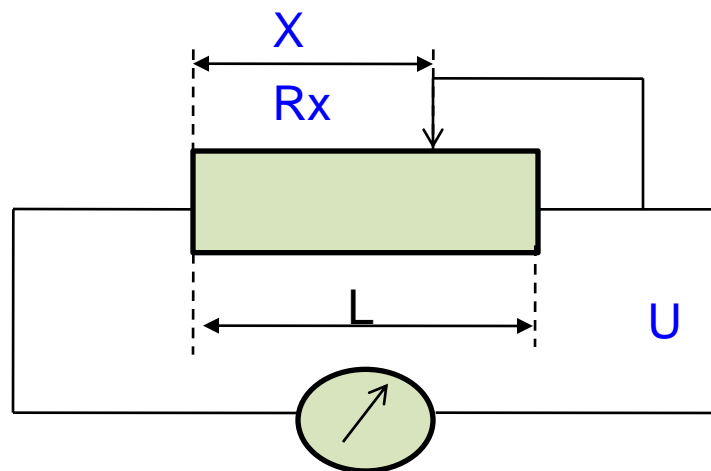
- Cấu tạo: gồm một lõi bằng vật liệu cách điện: gốm, sứ có hình dạng khác nhau
- Trên lõi quấn dây điện trở bằng maganin, niken, crom.. Đường kính từ 0.02 – 0.1 mm
- Trên lõi và dây quấn có con trượt chế tạo bằng hợp kim platin-iridi, lực tì khoảng 0.01-0.1N



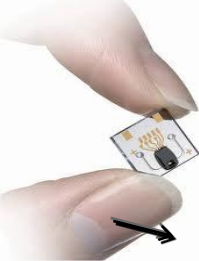


Chuyển đổi biến trở

- Nếu điện trở toàn phần của chuyển đổi là R với số vòng dây W . Thì điện trở có thể phát hiện bé nhất là $R_o = R/W \rightarrow$ ngưỡng nhạy.

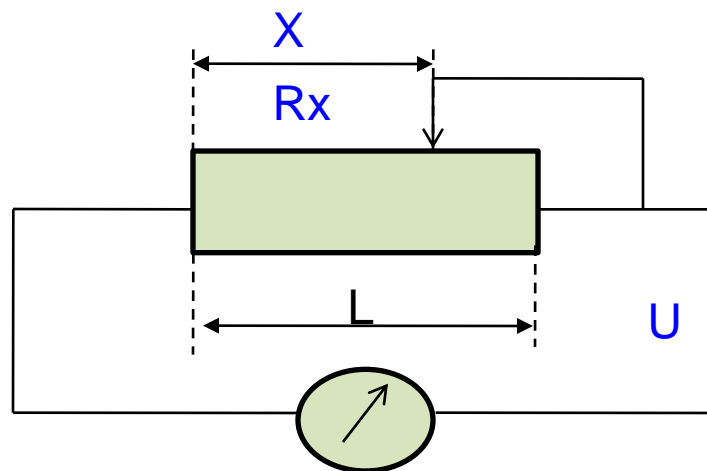


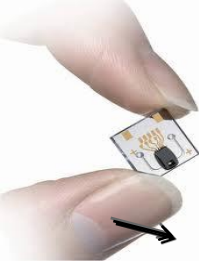
- Nếu chiều dài biến trở là l , thì độ di chuyển bé nhất có thể phát hiện được là $X_o = l/W$.
- Sai số rời rạc của chuyển đổi với cuộn dây quấn như là: $\gamma = \Delta R_{min}/2R = 1/(2W)$
- ΔR_{min} là điện trở toàn phần của một vòng dây
- Sai số phi tuyến từ 0.1 đến 0.03%, ss nhiệt độ 0.1%/10 độ C



Chuyển đổi biến trở

- mạch biến trở
- $I = U / (R_x + R_{ct}) = U / (R_{ct} + R \cdot (x/l))$
- dòng điện trong mạch tỷ lệ nghịch với điện trở cần đo, không tuyến tính, dòng điện ko biến thiên từ 0 trở đi





Mạch phân áp

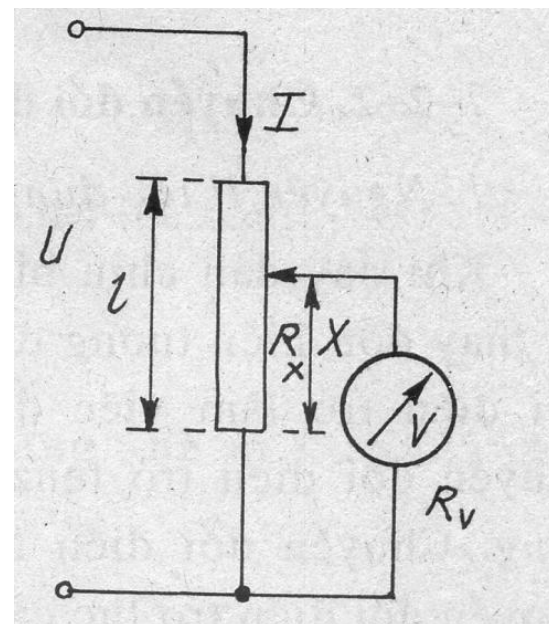
Ta có:

$$I = \frac{U}{R - R_x + \frac{R_x \cdot R_v}{R_x + R_v}}$$

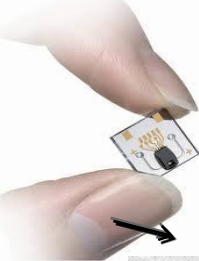
$$U_x = I \cdot \frac{R_x \cdot R_v}{R_x + R_v} = \frac{U}{R - R_x + \frac{R_x \cdot R_v}{R_x + R_v}} \cdot \frac{R_x \cdot R_v}{R_x + R_v}$$

nếu $R_v \gg R$ thì $\frac{R_x \cdot R_v}{R_x + R_v} \approx \frac{R_x \cdot R_v}{R_v} = R_x$

và $U_x = \frac{U \cdot R_x}{R - R_x + R_x} = U \cdot \frac{R_x}{R} = \frac{U}{R} \cdot R \frac{x}{l} = U \cdot \frac{x}{l}$



- Quan hệ giữa U_x và x là tuyến tính. U_x biến thiên từ 0 đến U khi R_x biến thiên từ 0 đến R



Mạch cầu

Nếu $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$ và $R_g \gg R$.

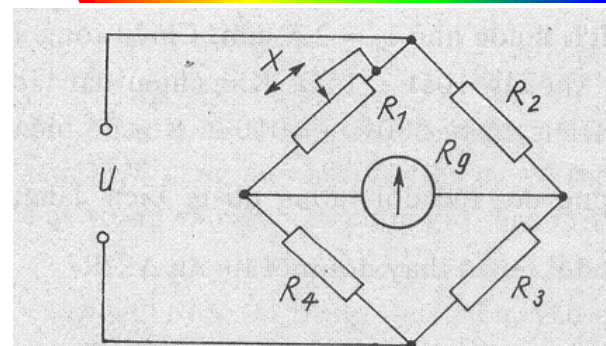
$$\text{Ta có } U_g \approx \frac{U}{4} \cdot \frac{\Delta R}{R}$$

$\frac{\Delta R}{R}$ lượng biến thiên điện trở tương đối khi biến trở di chuyển.

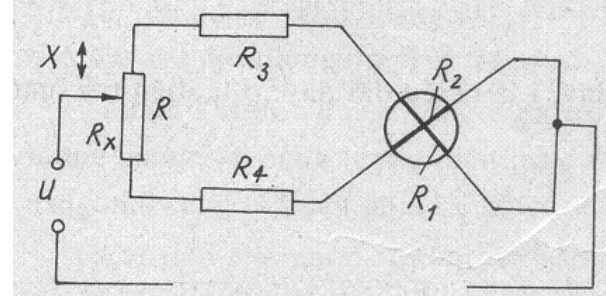
* Ngoài ra còn dùng *mạch lôgômet* (h.7-6)

R – biến trở;

R_1, R_2 – điện trở cuộn dây lôgômet;



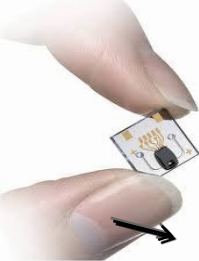
Hình 7-5



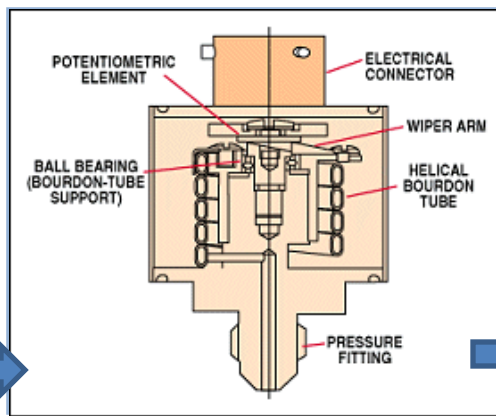
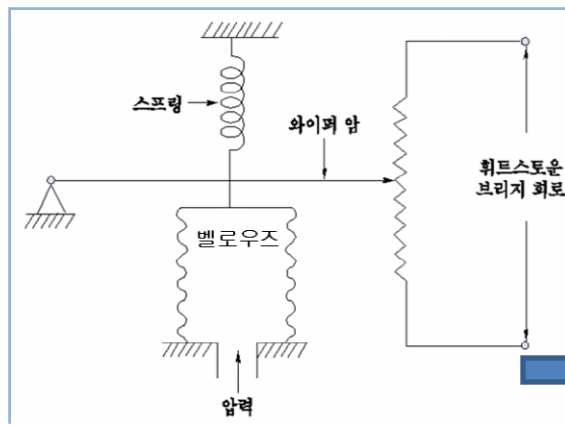
Hình 7-6

R_3, R_4 – điện trở phụ, xác định theo thông số của chuyển đổi và lôgômet. Khi R_x thay đổi làm dòng điện I_1 và I_2 thay đổi và góc quay $\alpha = f(I_1/I_2) = f(R_2/R_1) = f(x)$.

4. *Ứng dụng*: Chuyển đổi biến trở thường dùng để đo các di chuyển thẳng ($2 \div 3$ mm) hoặc di chuyển góc của các đối tượng đo.

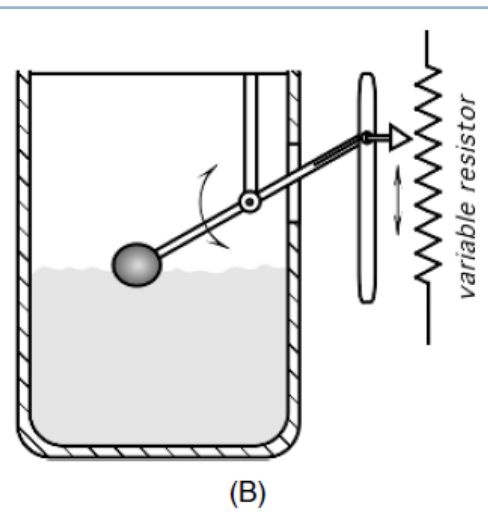
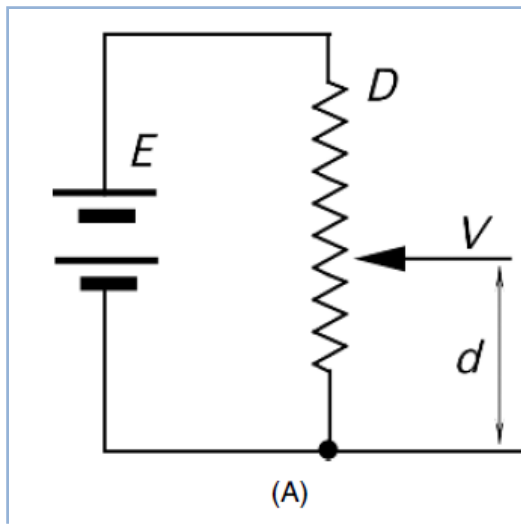
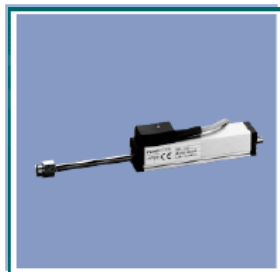


Một số kiểu chuyển đổi đo mức, độ dịch chuyển và áp suất trên cơ sở cảm biến biến trở



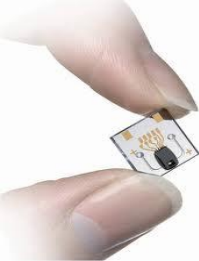
- pressure sensor

$$V = E \frac{d}{D},$$



- Displacement sensor

- level sensor



Lưu ý và câu hỏi

- Nguyên lý và ứng dụng của các cảm biến kiểu điện trở
- Ưu điểm và nhược điểm?
- Cảm biến áp suất trên cơ sở áp-trở và biến trở dịch chuyển đo thường đo khoảng áp suất nào?