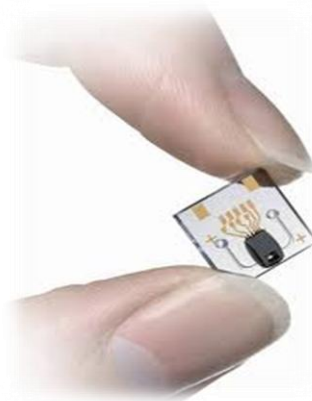


Bài giảng Kỹ Thuật Cảm Biến (sensors)

Hoang Si Hong

-----2011-----

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





Nguồn tham khảo

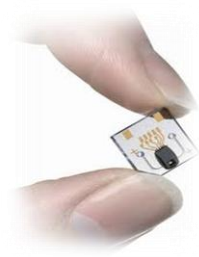
Note: Bài giảng môn học này được tham khảo, trích dẫn và lược dịch từ các nguồn sau:

✓ 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) và siêu âm
- Chương 5: **Cảm biến tĩnh điện (2b) và một số cảm biến tiệm cận**
- Chương 6: Cảm biến Hall và hoá điện
- Chương 7: 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.



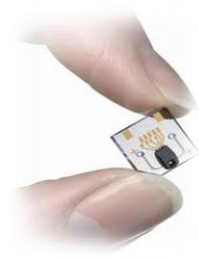
Chương 5: Cảm biến tĩnh điện và tiệm cận

Nội dung

- Cảm biến điện dung và tiệm cận
- Cảm biến áp điện



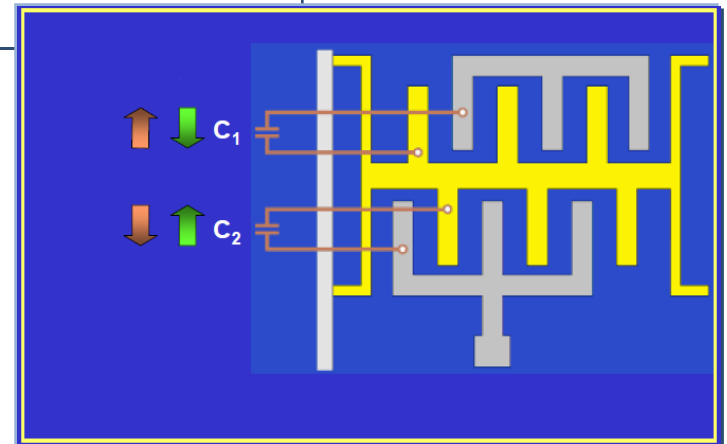
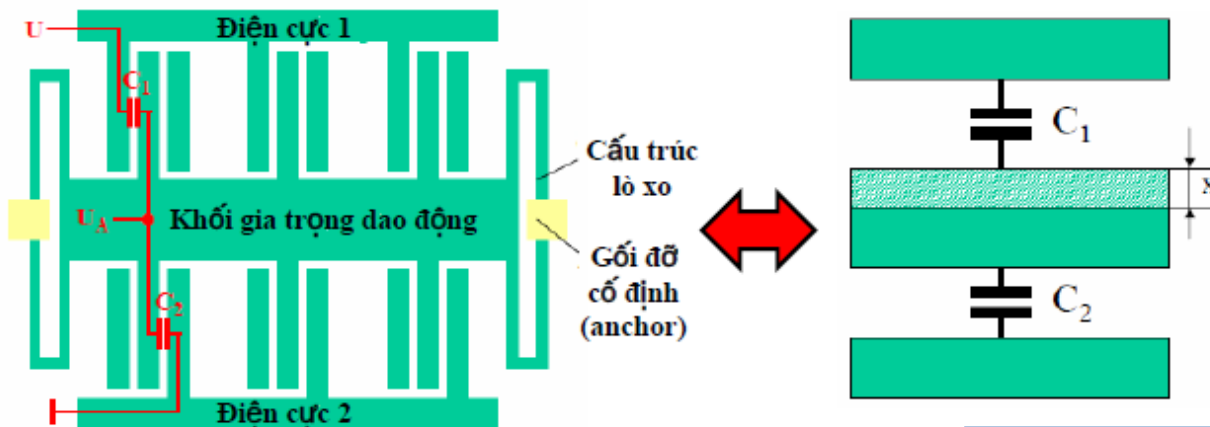
- Thụ động hay chủ động ?
- Khoảng cách phát hiện ?

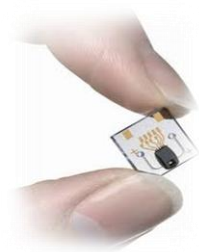


Ví dụ về cảm biến điện dung đo gia tốc

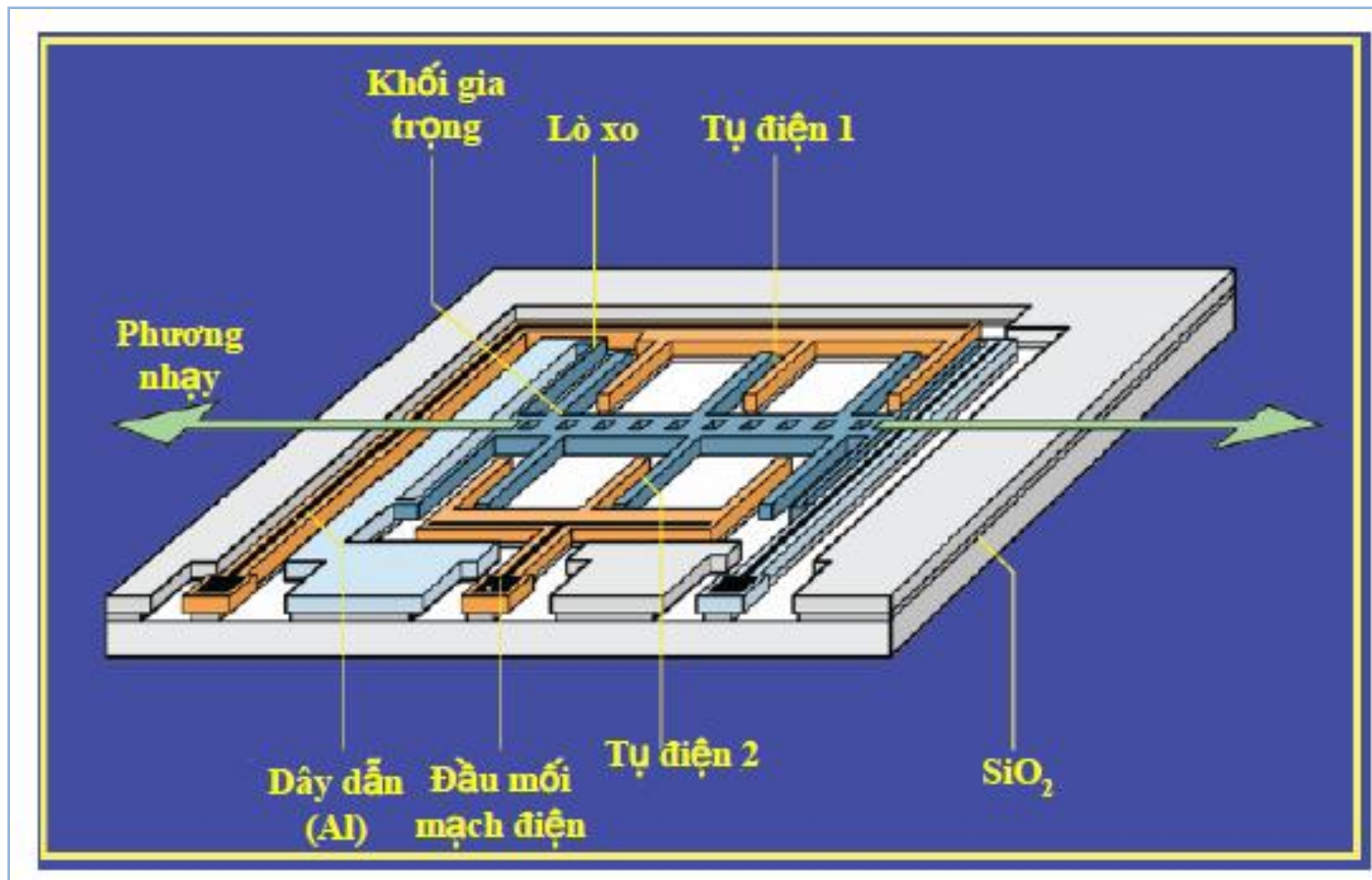
- Tham khảo bài giảng của viện vật lý và ITIMS -BKHN (capacitive acceleration sensors)

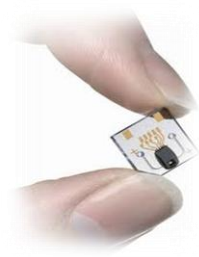
Cấu trúc kiểu điện cực răng lược





Ví dụ về cảm biến điện dung đo gia tốc





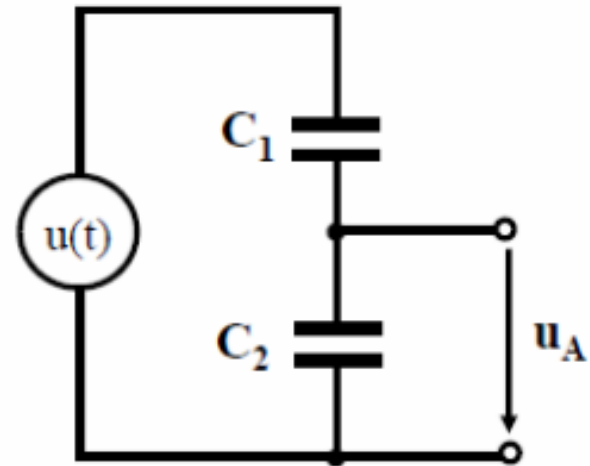
Ví dụ về cảm biến điện dung đo gia tốc

Nguyên lý đo

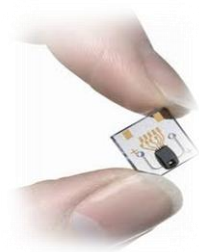
☛ Thế lối ra: $u_A = u(t) \cdot \frac{\frac{1}{C_2}}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}} = u(t) \cdot \frac{1}{1 + \frac{C_2}{C_1}}$

Vì: $\frac{C_2}{C_1} = \frac{d+x}{d-x} = \frac{d+a\frac{m}{k}}{d-a\frac{m}{k}}$

$$\Rightarrow u_A = \frac{1}{2} u(t) \left(1 - \frac{m}{k \cdot d} a \right) \quad a = \frac{k}{m} \cdot x$$



$u(t)$: thế lối vào



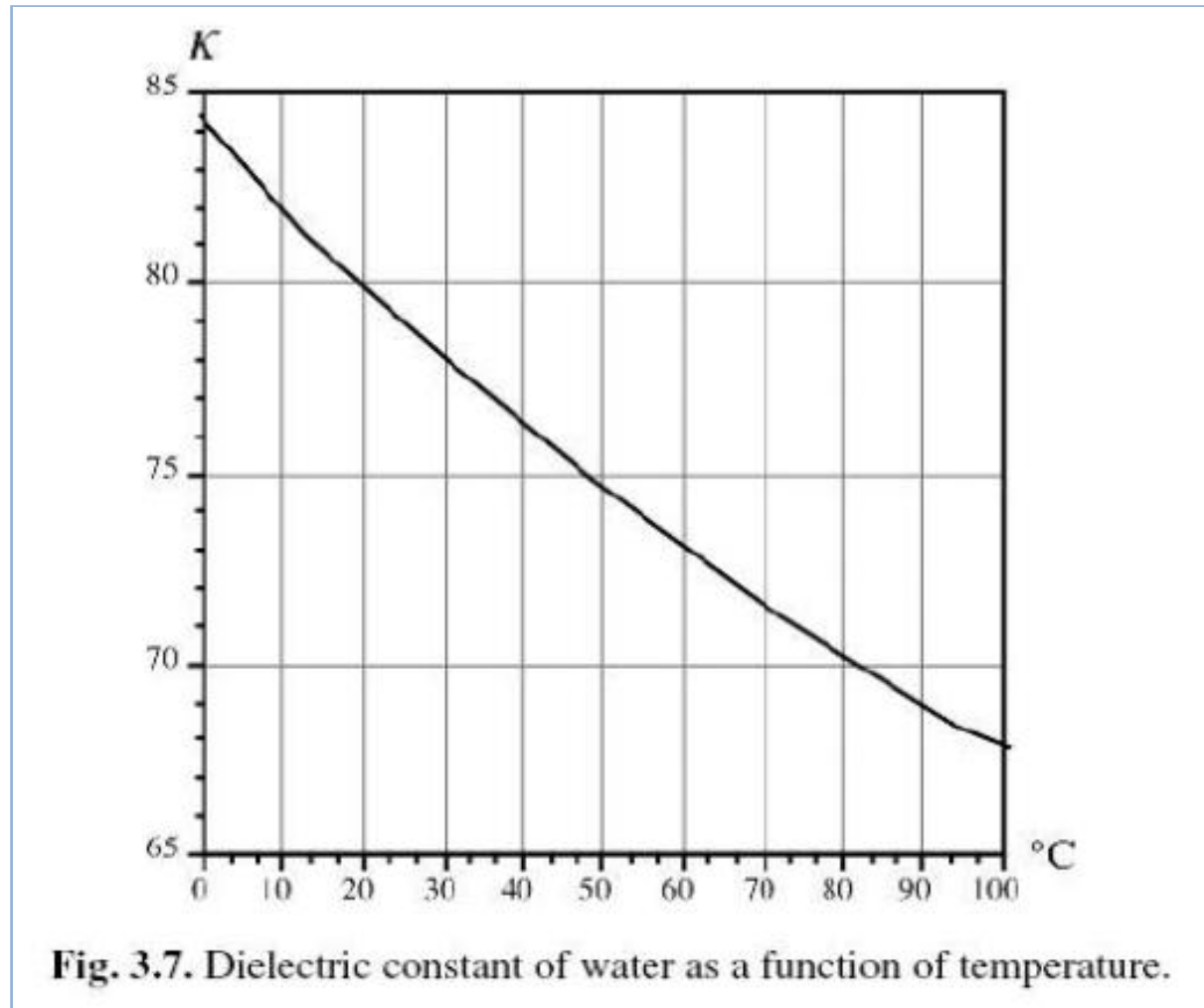
Một số hằng số điện môi

Table A.5. Dielectric Constants of Some Materials at Room Temperature (25°C)

Material	κ	Frequency (Hz)	Material	κ	Frequency (Hz)
Air	1.00054	0	Paraffin	2.0–2.5	10^6
Alumina ceramic	8–10	10^4	Plexiglas	3.12	10^3
Acrylics	2.5–2.9	10^4	Polyether sulfone	3.5	10^4
ABS/polysulfone	3.1	10^4	Polyesters	3.22–4.3	10^3
Asphalt	2.68	10^6	Polyethylene	2.26	10^3 – 10^8
Beeswax	2.9	10^6	Polypropylenes	2–3.2	10^4
Benzene	2.28	0	Polyvinyl chloride	4.55	10^3
Carbon tetrachloride	2.23	0	Porcelain	6.5	0
Cellulose nitrate	8.4	10^3	Pyrex glass (7070)	4.0	10^6
Ceramic (titanium dioxide)	14–110	10^6	Pyrex glass (7760)	4.5	0
Cordierite	4–6.23	10^4	Rubber (neoprene)	6.6	10^3
Compound for thick-film capacitors	300–5000	0	Rubber (silicone)	3.2	10^3
Diamond	5.5	10^8	Rutile \perp optic axis	86	10^8
Epoxy resins	2.8–5.2	10^4	Rutile \parallel optic axis	170	10^8
Ferrous oxide	14.2	10^8	Silicone resins	3.4–4.3	10^4
Flesh (skin, blood, muscles)	97	40×10^6	Tallium chloride	46.9	10^8
Flesh (fat, bones)	15	40×10^6	Teflon	2.04	10^3 – 10^8
Lead nitrate	37.7	6×10^7	Transformer oil	4.5	0
Methanol	32.63	0	Vacuum	1	—
Nylon	3.5–5.4	10^3	Water	78.5	0
Paper	3.5	0			



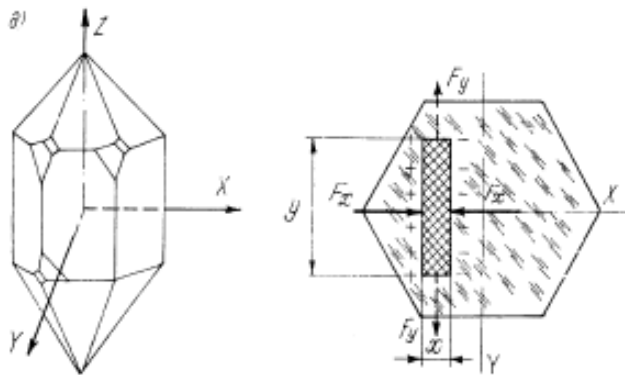
Cảm biến điện dung



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 (SiO_2), titanatbari (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

Cảm biến áp điện

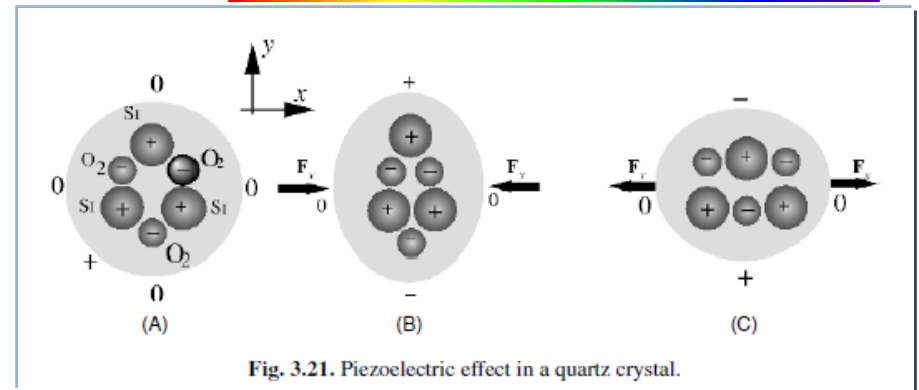
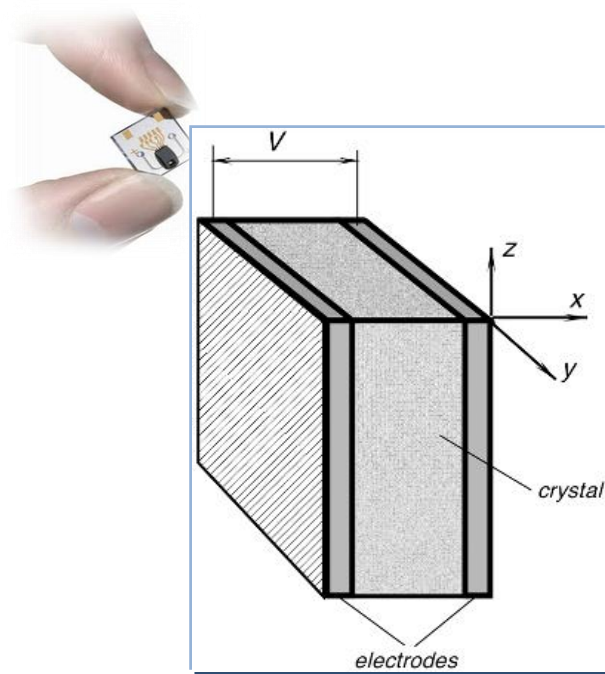


Fig. 3.22. Piezoelectric sensor is formed by applying electrodes to a poled crystalline material.

The magnitude of the piezoelectric effect in a simplified form can be represented
By the vector of polarization [4]:

$$\mathbf{P} = P_{xx} + P_{yy} + P_{zz}, \quad (3.64)$$

where x , y , and z refer to a conventional orthogonal system related to the crystal axes.

In terms of axial stress, σ , we can write (6)

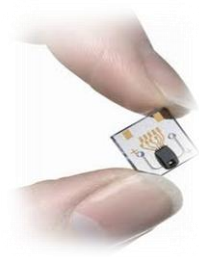
$$P_{xx} = d_{11}\sigma_{xx} + d_{12}\sigma_{yy} + d_{13}\sigma_{zz},$$

$$P_{yy} = d_{21}\sigma_{xx} + d_{22}\sigma_{yy} + d_{23}\sigma_{zz},$$

$$P_{zz} = d_{31}\sigma_{xx} + d_{32}\sigma_{yy} + d_{33}\sigma_{zz}, \quad (3.65)$$

where constants d_{mn} are the piezoelectric coefficients along the orthogonal axes of the crystal cut. Dimensions of these coefficients are C/N (coulomb/newton) (i.e., charge unit per unit force).

Cảm biến áp điện



The piezoelectric elements may be used as a single crystal or in a multilayer form where several plates of the material are laminated together. This must be done with electrodes placed in between. Figure 3.24 shows a two-layer force sensor. When an external force is applied, the upper part of the sensor expands while the bottom compresses. If the layers are laminated correctly, this produces a double output signal. Double sensors can have either a parallel connection as shown in Fig. 3.25A or a serial connection as in Fig. 3.24C. The electrical equivalent circuit of the piezoelectric sensor is a parallel connection of a stress-induced current source (i), leakage resistance (r), and capacitance (C). Depending on the layer connection, equivalent circuits for the

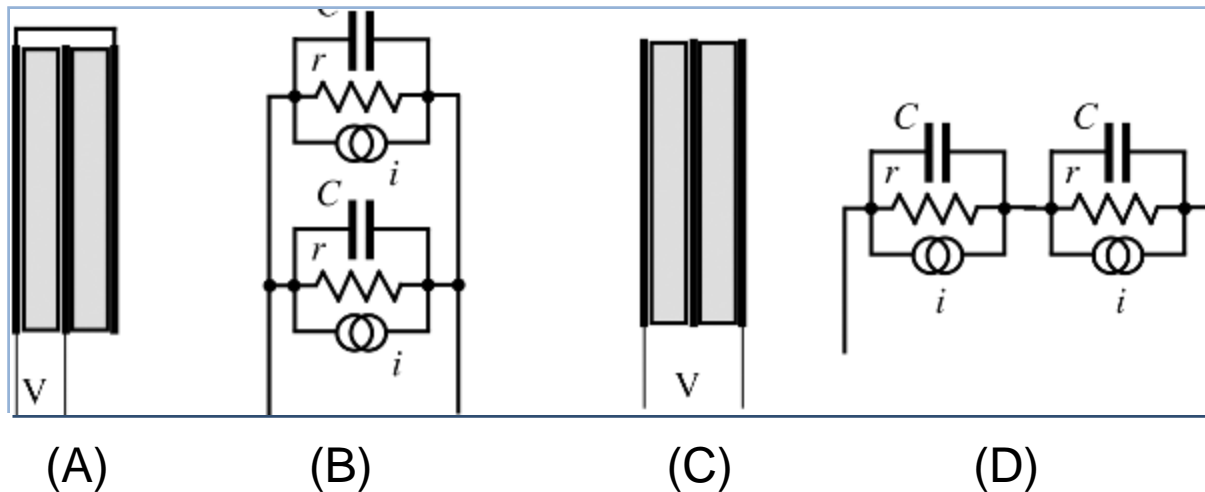
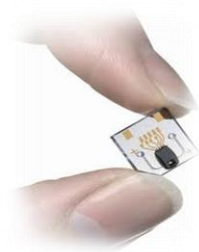


Fig. 3.24. Laminated two-layer piezoelectric sensor.



Cảm biến áp điện

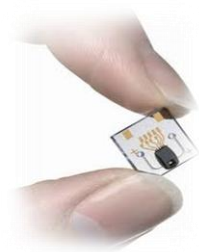
Đặc trưng vật lý của một số vật liệu áp điện được trình bày trên bảng 6.1.

Bảng 6.1

Vật liệu	Độ thấm thấu	Điện trở suất ($\Omega \cdot m$)	Modun Young ($10^9 N \cdot m^{-2}$)	Ứng lực cực đại ($10^7 N \cdot m^{-2}$)	Nhiệt độ làm việc T_{max} ($^{\circ}C$)
Thạch anh	$\epsilon_{11}=4,5$	10^{12}	$Y_{11}=80$	10	550
Muối seignette	$\epsilon_{11}=350$	$>10^{10}$	$Y_{11}=19,3$ $Y_{22}=30$	1,4	45
L.H.	$\epsilon_{11}=5,6$	$>10^{10}$	46	1,5	75
PZT5A	$\epsilon_{11}=1.700$	10^{11}	$Y_{33}=53$	7-8	365

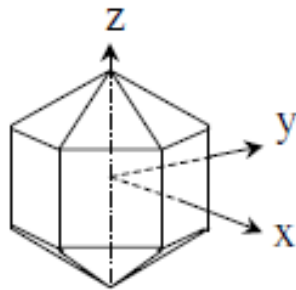
Table A.8. Properties of Piezoelectric Materials at $20^{\circ}C$

	PVDF	BaTiO ₃	PZT	Quartz	TGS
Density ($\times 10^3 kg/m^3$)	1.78	5.7	7.5	2.65	1.69
Dielectric constant, ϵ_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 ($10^{-4} C/m^2 K$)	4	20	27	—	30
Electromechanical coupling constant (%)	11	21	30	10	—
Acoustic impedance ($10^6 kg/m^2 s$)	2.3	25	25	14.3	—

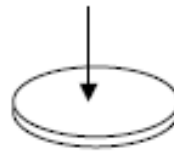


Cảm biến áp điện thạch anh nhiều thành phần

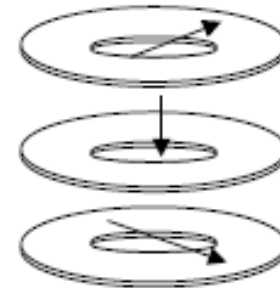
Trong cảm biến loại này, các vòng đệm thạch anh được cắt theo các hướng khác nhau, khi đó chúng chỉ nhạy với một hướng xác định của lực.



a)



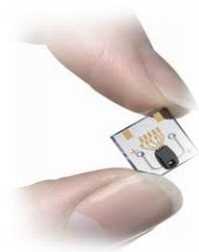
b)



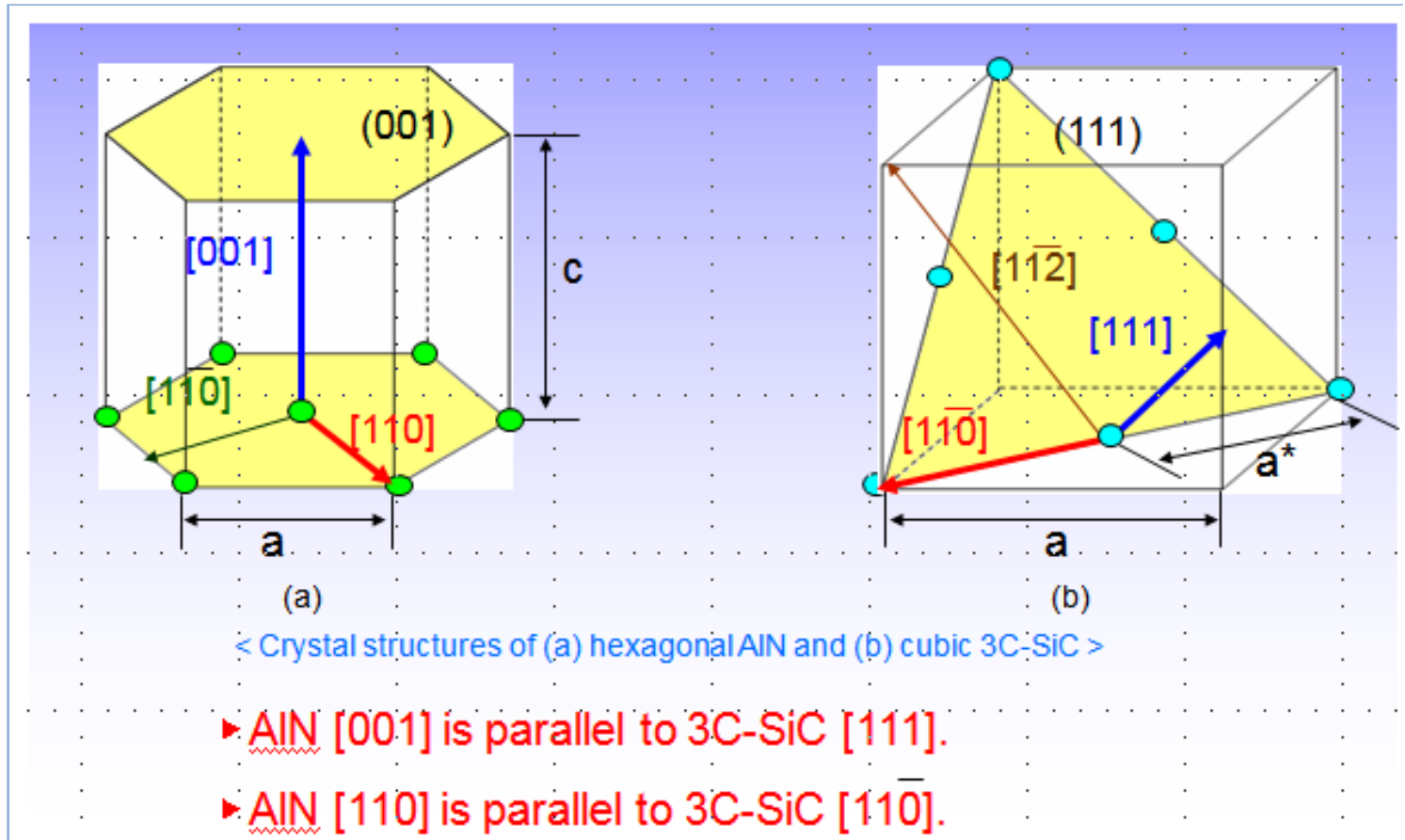
c)

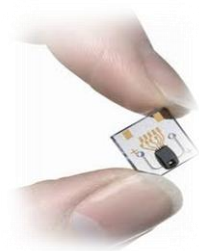
Hình 6.4 Cảm biến thạch anh nhiều thành phần

a) Ký hiệu các trục b) Các phiên cắt đặc biệt c) Cảm biến ba thành phần vuông góc



Ví dụ về hướng tinh thể





Cảm biến áp điện thạch anh nhiều thành phần

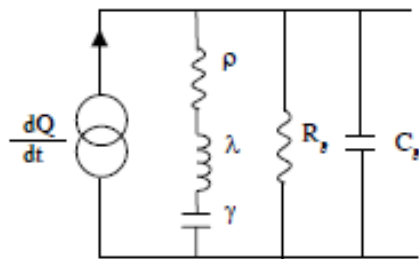
Thạch anh có năm hệ số điện áp d_{11} , d_{12} , d_{14} , d_{25} , d_{26} , do đó một vòng đệm cắt theo phương của trục X chỉ nhạy với lực nén (vì có d_{11}), các lực ký sinh tác động theo cạnh bên đều không gây nên hiệu ứng với vòng đệm và các ứng lực mà hiệu ứng của chúng liên quan đến d_{12} , d_{14} sẽ không có mặt. Tương tự như vậy, một vòng đệm cắt theo phương Y chỉ nhạy với lực cắt theo bề dày (vì có d_{26}) và bằng cách lắp ghép hợp lý có thể loại trừ hiệu ứng của các ứng lực liên quan đến d_{25} (cắt theo mặt). Hai mặt cắt đặc biệt này biểu diễn trên hình 6.4b, chúng được sử dụng để chế tạo các cảm biến thạch anh nhiều thành phần.

Trên hình 6.4c biểu diễn một cảm biến ba thành phần vuông góc gồm ba cặp vòng tròn ghép với nhau, một cặp nhạy với lực nén F_x , hai mặt còn lại nhạy với lực cắt F_y và F_z vuông góc với F_x .

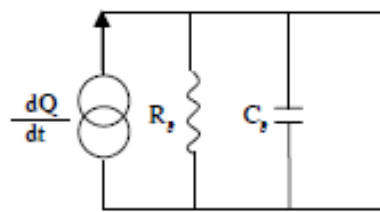


Mạch đo

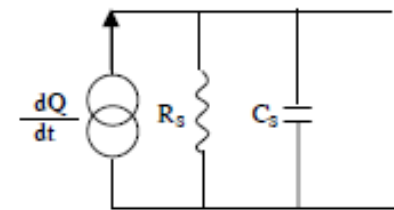
a) Sơ đồ tương đương của cảm biến



a)



b)



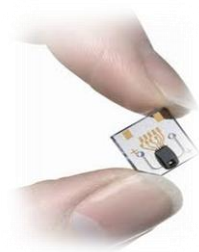
c)

$$\frac{1}{R_s} = \frac{1}{R_g} + \frac{1}{R_l}$$

$$C_s = C_g + C_l$$

Hình 6.5 Sơ đồ tương đương của cảm biến áp điện

a) Trong dải thông rộng b) Trong dải thông có ích c) Nối với mạch ngoài

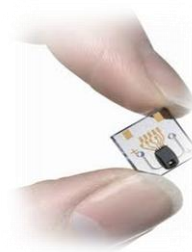


Cảm biến áp điện

Trong dải thông rộng, cảm biến tương đương với một nguồn dòng mắc song song với trở kháng trong (gồm ba nhánh) của cảm biến (hình 6.5a). Nhánh ρ , λ , γ đặc trưng cho cộng hưởng điện cơ thứ nhất ở tần số cao nằm ngoài dải thông của cảm biến. Điện trở trong R_g là điện trở cách điện của vật liệu áp điện, khi ở tần số thấp nó trở thành trở kháng trong của cảm biến. Tụ điện C_g là điện dung của nguồn phát điện tích, khi ở tần số trung bình và cao nó trở thành trở kháng của cảm biến.

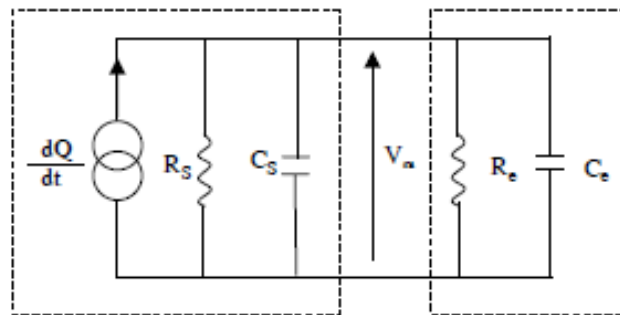
Trên thực tế ở dải thông thường sử dụng, người ta dùng mạch tương đương biểu diễn ở hình 6.5b.

Khi nối cảm biến với mạch ngoài bằng cáp dẫn, trở kháng của cáp dẫn tương đương điện trở R_1 và tụ điện C_1 mắc song song với cảm biến, khi đó mạch tương đương có dạng hình 6.5c.



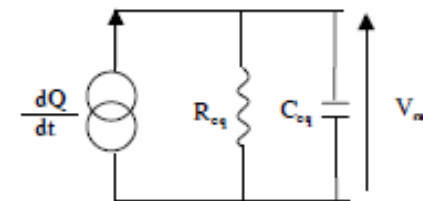
Cảm biến áp điện-Sơ đồ khuếch đại điện áp

Trở kháng vào của bộ khuếch đại điện áp tương đương với một điện trở R_e mắc song song với một tụ C_e , khi đó mạch tương đương có dạng hình 6.6.



Cảm biến và cáp nối

Trở kháng vào và khuếch đại điện thế



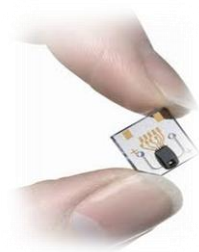
$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_s} + \frac{1}{R_e}$$

$$C_{eq} = C_s + C_e$$

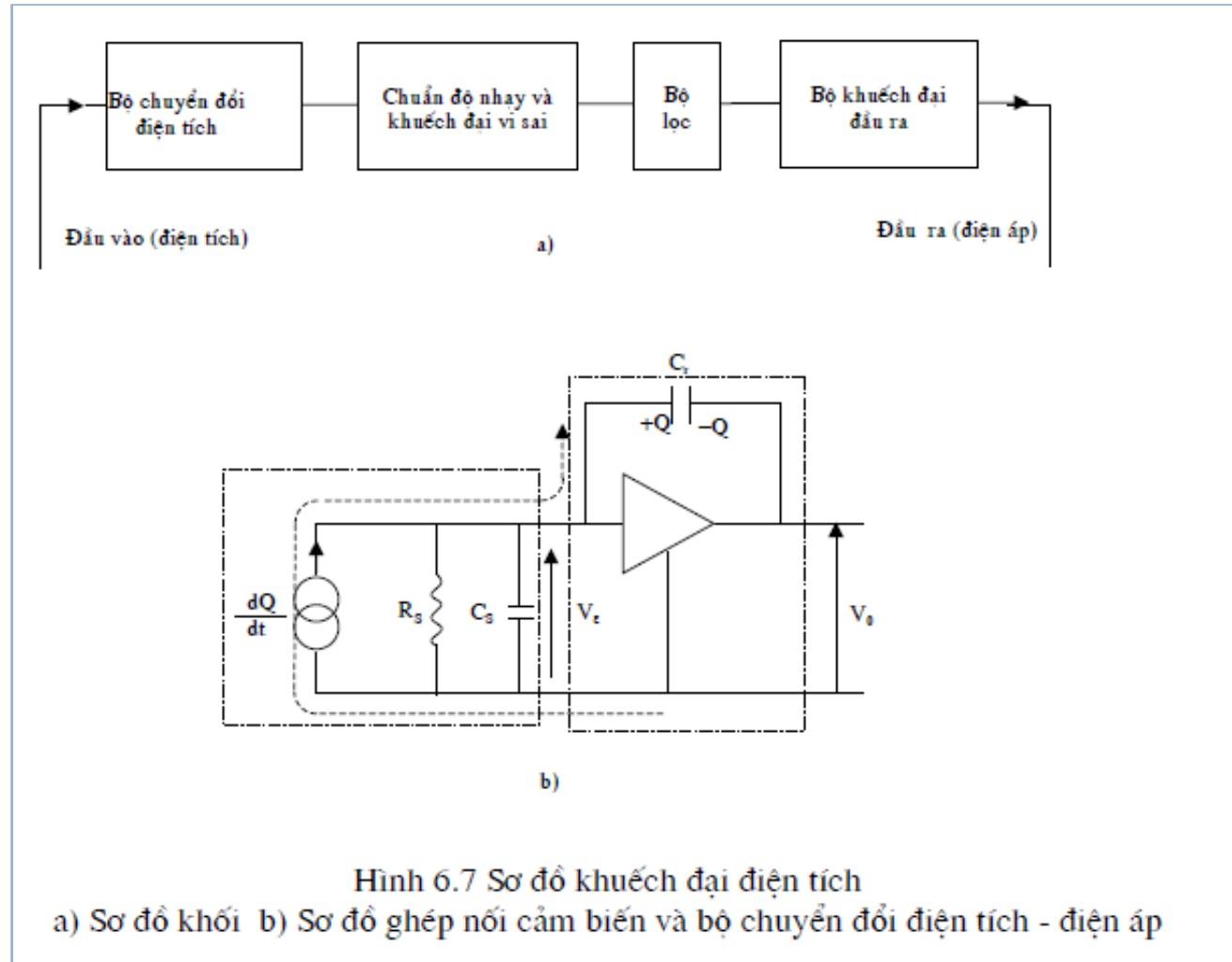
Hình 6.6 Sơ đồ tương đương của cảm biến mắc nối tiếp với bộ khuếch đại điện thế

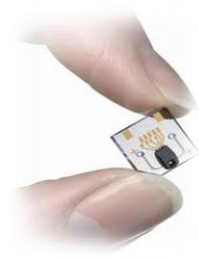
Điện áp ở lối vào của khuếch đại xác định bởi công thức:

$$V_m = \frac{Q}{C_q} \cdot \frac{R_{eq} C_{eq} P}{1 + R_{eq} C_{eq} P}$$



Sơ đồ khuếch đại điện tích





Sơ đồ khuếch đại điện tích

Trong mạch khuếch đại điện tích, sự di chuyển của điện tích ở lối vào sẽ gây nên ở lối ra một điện áp tỉ lệ với điện tích đầu vào. Bộ khuếch đại điện tích gồm một bộ biến đổi điện tích - điện áp đầu vào, một tầng chuẩn độ nhạy, một bộ lọc trung gian và một số tầng khuếch đại ở đầu ra để cung cấp tín hiệu ra (hình 6.7a).

Sơ đồ mạch ghép nối cảm biến với bộ chuyển đổi điện áp - điện tích trình bày trên hình 6.7b.

Một số ứng dụng của cảm biến phần tử áp điện

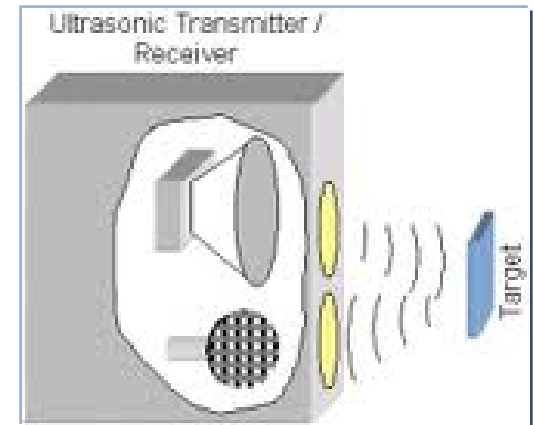
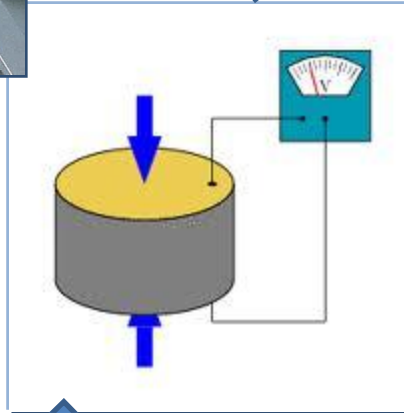
PIEZOELECTRIC SENSORS FOR DYNAMIC PRESSURE



Piezoelectric Force Sensors

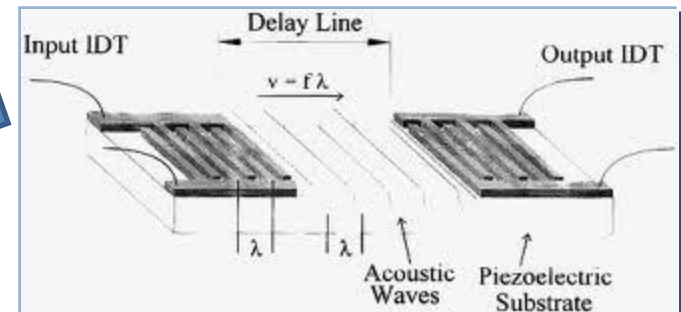


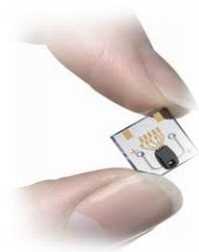
Piezoelectric Accelerometers



Ultrasonic Sensors
(Piezoelectric microphone)

SAW Sensors





Cảm biến piezoelectric đo lực

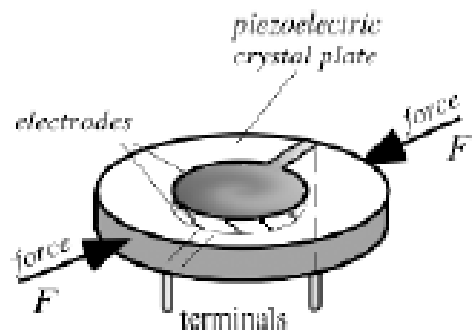


Fig. 9.12. A piezoelectric disk resonator as a diametric force sensor.

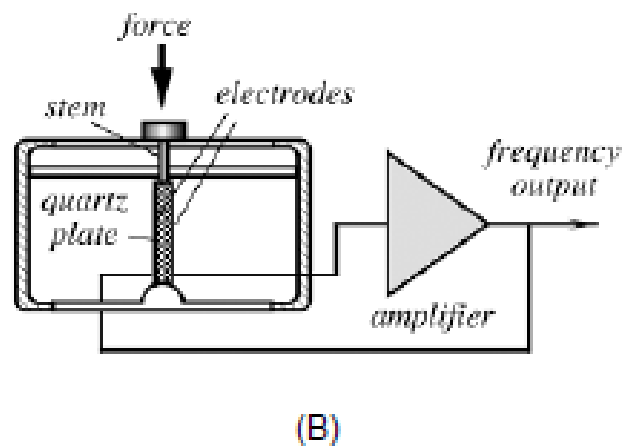
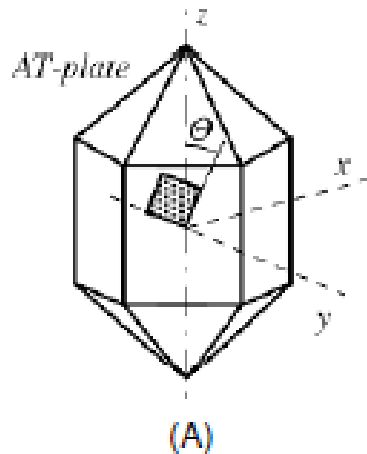
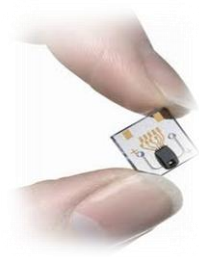


Fig. 9.13. Quartz force sensor: (A) AT-cut of a quartz crystal; (B) structure of the sensor; (C) the outside appearance. (Courtesy of Quartzcell, Santa Barbara, CA.)



Cảm biến piezoelectric đo lực

Another design of a sensor which operates over a relatively narrow range from 0 to 1.5 kg but with a good linearity and over 11-bit resolution is shown in Fig. 9.12. To fabricate the sensor, a rectangular plate is cut from the crystal such that only one edge is parallel to the x axis, and the face of the plate is cut at the angle of approximately $\Theta = 35^\circ$ with respect to the z axis. This cut is commonly known as the AT-cut plate (Fig. 9.13A).

The plate is given surface electrodes for utilizing a piezoelectric effect (see Fig. 3.22 of Chapter 3), which are connected in a positive feedback of an oscillator (Fig. 9.13B). A quartz crystal oscillates at a fundamental frequency f_0 (unloaded) which shifts at loading by [15]

$$\Delta f = F \frac{K f_0^2 n}{l}, \quad (9.9)$$

where F is the applied force, K is a constant, n is the number of the overtone mode, and l is the size of the crystal. To compensate for frequency variations due to temperature effects, a double crystal can be employed, where one half is used for a temperature compensation. Each resonator is connected into its own oscillating circuit and the resulting frequencies are subtracted, thus negating a temperature effect. A commercial force sensor is shown in Fig. 9.13C.



Cảm biến áp điện

Phần bài giảng ứng dụng của cảm biến áp điện cho đo gia tốc_phụ lục 1
Phần bài giảng ứng dụng của cảm biến áp điện cho đo áp suất_phụ lục 2

Còn tiếp.....