

www.mientayvn.com

Dịch tiếng anh chuyên ngành khoa học tự nhiên và kỹ thuật.

Dịch các bài giảng trong chương trình học liệu mở của học viện MIT, Yale.

Tìm và dịch tài liệu phục vụ cho sinh viên làm seminar, luận văn.

Tại sao mọi thứ đều miễn phí và chuyên nghiệp ???

Trao i tr c tuy n t i:

www.mientayvn.com/chat_box_li.html

Chương 11

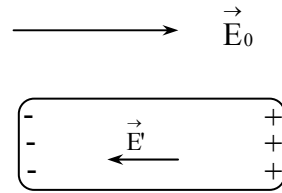
ĐIỆN MÔI

Điện môi là những chất không dẫn điện, nghĩa là không có các hạt điện tích tự do. Tuy nhiên khi đặt điện môi trong điện trường ngoài thì nó có những biến đổi đáng kể. Chương này nghiên cứu các tính chất của điện môi và những biến đổi của nó trong điện trường.

§11.1 SỰ PHÂN CỰC CỦA ĐIỆN MÔI

1 – Hiện tượng phân cực điện môi:

Thực nghiệm chứng tỏ rằng, khi đặt một thanh điện môi trong điện trường ngoài thì trên các mặt giới hạn của thanh điện môi sẽ xuất hiện các điện tích trái dấu. Mặt đối diện với hướng đường sức điện trường ngoài sẽ xuất hiện các điện tích âm, mặt bên kia sẽ xuất hiện các điện tích dương (hình 11.1). Nếu thanh điện môi không đồng chất và đẳng hướng thì ngay cả trong lòng thanh điện môi cũng xuất hiện các điện tích.



Hình 11.1: *Hiện tượng phân cực điện môi.*

Hiện tượng xuất hiện các điện tích trên thanh điện môi khi nó đặt trong điện trường ngoài được gọi là *hiện tượng phân cực điện môi*. Khác với hiện tượng điện hưởng ở vật dẫn kim loại, các điện tích xuất hiện ở chỗ nào trên bề mặt thanh điện môi sẽ định xứ ở đó, không di chuyển được. Ta gọi đó là các *điện tích liên kết*.

Các điện tích liên kết sẽ gây ra trong lòng thanh điện môi một điện trường phụ \vec{E}' làm cho điện trường ban đầu \vec{E}_0 trong thanh điện môi thay đổi. Điện trường tổng hợp trong điện môi khi điện môi bị phân cực là:

$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}' \quad (11.1)$$

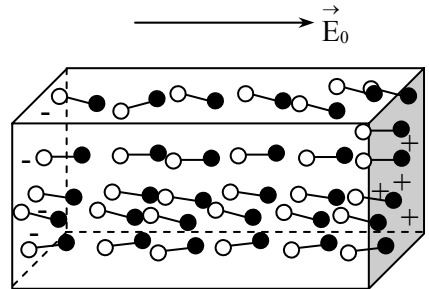
2 – Giải thích hiện tượng phân cực điện môi:

Ta biết, trong mỗi nguyên tử, các electron luôn chuyển động quanh hạt nhân với vận tốc rất lớn. Tuy nhiên khi xét tương tác giữa các electron của nguyên tử với điện tích hay điện trường bên ngoài ở những khoảng cách khá lớn so với kích thước phân tử, một cách gần đúng, ta có thể coi tác dụng của các electron tương đương với tác dụng của một điện tích tổng cộng $-q$ đứng yên tại một vị trí trung bình nào đó trong phân tử, gọi là *tâm của các điện tích âm*. Một cách tương tự, ta coi tác dụng của hạt nhân tương đương với điện tích dương $+q$ đặt tại *tâm của các điện tích dương*.

Tùy theo phân bố các electron quanh hạt nhân mà tâm của các điện tích âm và tâm của các điện tích dương có thể lệch nhau hoặc trùng nhau. Trường hợp thứ nhất, mỗi phân tử chất điện môi đã là một lưỡng cực điện. Trường hợp thứ hai,

phân tử chất điện môi không tự phân thành lưỡng cực điện, nhưng khi đặt phân tử trong điện trường ngoài thì tác dụng của điện trường ngoài luôn làm tâm của các điện tích dương và tâm của các điện tích âm lệch xa nhau và bản thân phân tử trở thành lưỡng cực điện có mômen điện \vec{p}_e khác không.

Dưới tác dụng của điện trường ngoài, các mômen điện \vec{p}_e của các phân tử chất điện môi sẽ xoay và định hướng theo đường sức điện trường ngoài một cách trật tự (hình 11.2). Kết quả trong lòng khối điện môi các điện tích trái dấu của các lưỡng cực phân tử vẫn trung hòa nhau, còn ở hai mặt giới hạn xuất hiện các điện tích trái dấu. Các điện tích này chính là tập hợp các điện tích của các lưỡng cực phân tử trên các bề mặt giới hạn, chúng không phải là các điện tích tự do mà là các điện tích liên kết.



Hình 11.2: Sự phân cực của điện môi

Điện trường ngoài càng mạnh, sự phân cực điện môi càng rõ rệt. Khi không có điện trường ngoài, các mômen điện của các lưỡng cực phân tử sắp xếp một cách hỗn loạn hoặc triệt tiêu (đối với loại có tâm của các điện tích dương và âm trùng nhau). Kết quả các điện tích liên kết biến mất, khối điện môi không bị phân cực.

3 – Vector phân cực điện môi:

Để đặc trưng cho mức độ phân cực của điện môi, người ta dùng đại lượng vật lý là *vector phân cực điện môi* \vec{P}_e , được định nghĩa như sau: *Vector phân cực điện môi là một đại lượng đo bằng tổng các mômen điện của các phân tử có trong một đơn vị thể tích của khối điện môi.*

$$\vec{P}_e = \frac{\sum_{i=1}^n \vec{p}_{ei}}{\Delta V} \tag{11.2}$$

Với định nghĩa trên, vector phân cực điện môi là một đại lượng vĩ mô, được coi như một mômen lưỡng cực điện ứng với một đơn vị thể tích của chất điện môi. Đơn vị đo của vector phân cực điện môi là C/m^2 (trùng với đơn vị đo mật độ điện tích mặt).

Nếu mọi phân tử đều bị phân cực và mômen điện của các phân tử đều bằng nhau và định hướng song song thì vector phân cực: $\vec{P}_e = n_0 \vec{p}_e$ (11.3)

Trong đó n_0 là mật độ phân tử.

4 – Liên hệ giữa vector phân cực điện môi \vec{P}_e và mật độ điện tích liên kết σ' :

Xét khối chất điện môi đồng chất, đẳng hướng, có dạng một tấm phẳng và được đặt trong điện trường đều \vec{E}_0 (hình 11.3). Gọi mật độ điện tích liên kết trên hai mặt của tấm điện môi là σ' . Xét một hình trụ đủ nhỏ, có đường sinh l song song với vector cường độ điện trường ngoài, có hai đáy ΔS nằm trên hai mặt của tấm điện môi. Khi đó, hình trụ này có thể coi như một lưỡng cực điện có mômen điện $\vec{p} = \sum_{i=1}^N \vec{p}_{ei} = q\vec{l}$, trong đó $q = \sigma'\Delta S$ là điện tích mặt xuất hiện trên diện tích

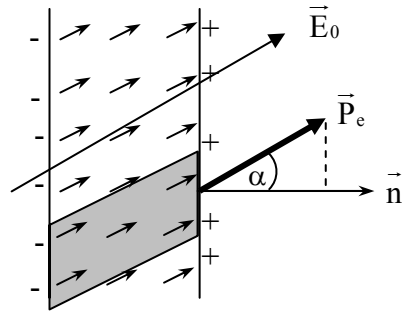
đáy ΔS của hình trụ và \vec{l} là vector vẽ từ đáy hình trụ có điện tích âm đến đáy có điện tích dương. Gọi $V = \Delta S.l.\cos\alpha$ là thể tích của hình trụ thì ta có vector phân cực của khối điện môi nằm trong hình trụ là:

$$\vec{P}_e = \frac{\sum_{i=1}^n \vec{p}_{ei}}{V} = \frac{\vec{p}}{V} = \frac{\sigma'\Delta S\vec{l}}{\Delta S l \cos\alpha}$$

$$\text{Suy ra: } |\vec{P}_e| = \frac{\sigma'}{\cos\alpha}$$

$$\text{Hay: } \sigma' = P_e \cos\alpha = P_{en} \quad (11.4)$$

Vậy, mật độ điện tích liên kết σ' xuất hiện trên mặt giới hạn của khối điện môi có giá trị bằng hình chiếu của vector phân cực lên pháp tuyến của mặt giới hạn đó.



Hình 11.3: Thiết lập hệ thức giữa σ' và \vec{P}_e

§11.2 ĐIỆN TRƯỜNG TRONG ĐIỆN MÔI

1 – Điện trường vi mô và điện trường vĩ mô :

Mỗi phân tử cấu thành một vật thể có thể coi như một hệ điện tích đặt trong chân không. Điện trường do hệ điện tích đó gây ra gọi là điện trường vi mô. Điện trường vi mô biến thiên rất lớn trong khoảng không gian rất nhỏ bao quanh phân tử. Vì một lượng vật chất nhỏ bé cũng có vô số các phân tử nên ta chỉ có thể cảm nhận được điện trường trung bình của của rất nhiều các phân tử gây nên. Bởi vì khi khảo sát điện trường, ta phải dùng các điện tích thử. Một điện tích thử dù kích thước nhỏ đến đâu cũng là rất lớn so với kích thước nguyên tử. Vì vậy một điện tích thử được đặt trong lòng điện môi sẽ chiếm một vị trí không gian đủ lớn và ta chỉ đo được điện trường trung bình của điện trường vi mô trong miền không gian đó. Do đó khi nói đến điện trường trong lòng vật chất, ta hiểu điện trường đó là điện trường vĩ mô tại một điểm trong lòng vật chất.

2 – Điện trường trong chất điện môi:

Xét điện trường đều \vec{E}_0 gây bởi hai mặt phẳng song song vô hạn tích điện đều, trái dấu với mật độ điện mặt $\pm\sigma$. Lắp đầy khoảng không gian giữa hai mặt phẳng một chất điện môi thì khối điện môi sẽ bị phân cực. Gọi mật độ điện tích liên kết trên các mặt giới hạn là $-\sigma'$ và $+\sigma'$. Các điện tích liên kết này sẽ gây ra trong lòng khối điện môi một điện trường phụ \vec{E}' cùng phương, ngược chiều với \vec{E}_0 . Khi đó, theo nguyên lí chồng chất, điện trường trong lòng điện môi là :

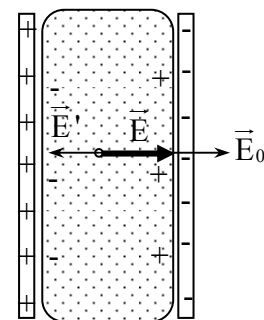
$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}'$$

Hay về độ lớn : $E = E_0 - E'$ (11.5)

Trong đó : $E' = \frac{\sigma'}{\epsilon_0} = \frac{P'_{en}}{\epsilon_0}$ (11.6)

Mặt khác, nếu điện môi là đồng chất và đẳng hướng thì ta có thể giả thiết rằng vector phân cực điện môi tại mỗi điểm tỉ lệ với cường độ điện trường tại điểm đó :

$$\vec{P}_e = \chi_e \epsilon_0 \vec{E}$$
 (11.7)



Hình 11.4: Điện trường trong điện môi

Ở đó, χ_e là đại lượng không âm và không có thứ nguyên, được gọi là *hệ số cảm điện của điện môi*.

Trong trường hợp đang khảo sát, ta có $P_{en} = P_e = \chi_e \epsilon_0 E$, do đó (11.5) trở thành :

$$E = E_0 - \chi_e E$$

Suy ra : $E = \frac{E_0}{1 + \chi_e} = \frac{E_0}{\epsilon}$ (11.8)

Với $\epsilon = 1 + \chi_e$ là một hệ số, phụ thuộc vào tính chất của môi trường, gọi là *hệ số điện môi* của môi trường. Do $\chi_e \geq 0$ nên $\epsilon \geq 1$. Bảng 11.1 cho biết giá trị của hệ số điện môi của một số điện môi thông dụng.

(11.8) chứng tỏ *cường độ điện trường trong lòng chất điện môi giảm đi ϵ lần so với cường độ điện trường trong chân không*.

Bảng 11.1 : Hệ số điện môi của một số chất điện môi thông dụng

Chất điện môi	ϵ	Chất điện môi	ϵ
Chân không	1	Parafin	2,2 – 2,3
Không khí	1,0006	Cao su mềm	2,6 – 3

Dầu hỏa	2,1	Mica	4 – 5,5
Nhựa thông	3,5	Thủy tinh	4 – 10
Ebônit	2,7 – 3	Sứ	6,3 – 7,5

3 – Liên hệ giữa vector cảm ứng điện và vector phân cực điện môi:

$$\text{Ta có vec tơ cảm ứng điện : } \vec{D} = \epsilon \epsilon_0 \vec{E} \quad (11.9)$$

$$\text{Mà : } \epsilon = 1 + \chi_e, \text{ nên } \vec{D} = (1 + \chi_e) \epsilon_0 \vec{E} = \epsilon_0 \vec{E} + \chi_e \epsilon_0 \vec{E}.$$

$$\text{Nhưng theo (11.7) thì } \chi_e \epsilon_0 \vec{E} = \vec{P}_e. \text{ Do đó : } \vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}_e \quad (11.10)$$

Đối với chất điện môi dị hướng, \vec{P}_e không tỉ lệ với \vec{E} nên \vec{D} không tỉ lệ với \vec{E} . Nói cách khác, trong môi trường đồng chất và đẳng hướng, ta dùng (11.9); còn môi trường dị hướng hoặc không đồng chất, ta dùng (11.10).

§11.3 ĐIỀU KIỆN QUA MẶT GIỚI HẠN HAI ĐIỆN MÔI CỦA CÁC VECTƠ \vec{E} , \vec{D}

Xét hai lớp điện môi đồng chất, đẳng hướng, mỗi lớp giới hạn bởi hai mặt phẳng song song, có hằng số điện môi ϵ_1, ϵ_2 , được đặt tiếp xúc nhau bởi một mặt phẳng giới hạn. Hệ thống được đặt trong điện trường đều \vec{E}_0 . Khi đó trên các bề mặt của mỗi lớp điện môi sẽ xuất hiện các điện tích liên kết. Các điện tích liên kết gây ra trong lòng mỗi chất điện môi điện trường phụ \vec{E}'_1 và \vec{E}'_2 hướng vuông góc với mặt phân cách. Điện trường tổng hợp trong lòng mỗi chất điện môi là :

$$\vec{E}_1 = \vec{E}_0 + \vec{E}'_1 \quad (11.11)$$

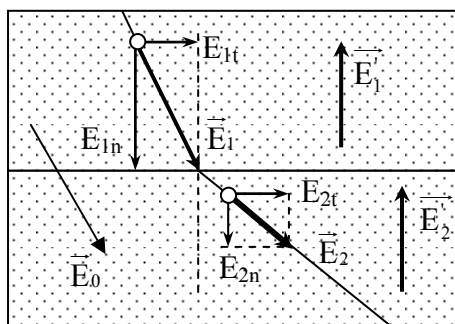
$$\text{Và } \vec{E}_2 = \vec{E}_0 + \vec{E}'_2 \quad (11.12)$$

Chiếu các hệ thức (11.11) và (11.12) lần lượt lên phương pháp tuyến và tiếp tuyến của mặt phân cách, ta có :

$$E_{1n} = E_{0n} + E'_{1n} \quad (11.13)$$

$$E_{2n} = E_{0n} + E'_{2n} \quad (11.14)$$

$$E_{1t} = E_{0t} + E'_{1t} \quad (11.15)$$



Hình 11.5: Các thành phần tiếp tuyến và pháp tuyến của vector cường độ điện trường tại mặt phân cách của hai lớp điện môi

$$E_{2t} = E_{0t} + E'_{2t} \quad (11.16)$$

Vì $E'_{1t} = E'_{2t} = 0$, nên từ (11.15) và (11.16) suy ra : $E_{1t} = E_{2t}$ (11.17)

Vậy, thành phần tiếp tuyến của vector cường độ điện trường biến thiên liên tục khi qua mặt phân cách của hai lớp điện môi.

Mặt khác : $E'_{1n} = \frac{\sigma'}{\epsilon_0} = \frac{P'_{en}}{\epsilon_0} = \chi_{e1} E_{1n}$.

Thay vào (11.13), ta có : $E_{1n} = E_{0n} + \chi_{e1} E_{1n}$

Hay : $E_{1n} = \frac{E_{0n}}{1 + \chi_{e1}} = \frac{E_{0n}}{\epsilon_1}$ (11.18)

Tương tự, ta cũng có : $E_{2n} = \frac{E_{0n}}{1 + \chi_{e2}} = \frac{E_{0n}}{\epsilon_2}$ (11.19)

Suy ra : $\epsilon_1 E_{1n} = \epsilon_2 E_{2n}$ (11.20)

Vậy, thành phần pháp tuyến của vector cường độ điện trường biến thiên không liên tục khi qua mặt phân cách của hai lớp điện môi.

Đối với vector cảm ứng điện, ta có : $\vec{D}_1 = \epsilon_1 \epsilon_0 \vec{E}_1$ (11.21)

Và $\vec{D}_2 = \epsilon_2 \epsilon_0 \vec{E}_2$ (11.22)

Chiếu (11.21) và (11.22) lên phương tiếp tuyến của mặt phân cách, ta được :

$D_{1t} = \epsilon_1 \epsilon_0 E_{1t}$; $D_{2t} = \epsilon_2 \epsilon_0 E_{2t}$. Nhưng $E_{1t} = E_{2t}$ nên $\frac{D_{1t}}{D_{2t}} = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}$ (11.23)

Vậy, thành phần tiếp tuyến của vector cảm ứng điện biến thiên không liên tục khi qua mặt phân cách của hai lớp điện môi.

Tương tự, chiếu (11.21) và (11.22) lên phương pháp tuyến của mặt phân cách, ta cũng chứng minh được : $D_{1n} = D_{2n}$ (11.24)

Vậy, thành phần pháp tuyến của vector cảm ứng điện biến thiên liên tục khi qua mặt phân cách của hai lớp điện môi.

Các tính chất trên cũng đúng trong trường hợp chất điện môi không đồng nhất.

§11.3 ĐIỆN MÔI ĐẶC BIỆT

Trên đây, khi nói đến sự phân cực của điện môi, chủ yếu là nói tới điện môi đẳng hướng. Ở đó các tính chất vật lý là như nhau theo mọi hướng. Các điện môi loại này thường là chất khí, lỏng hoặc chất rắn vô định hình hay chất rắn đa

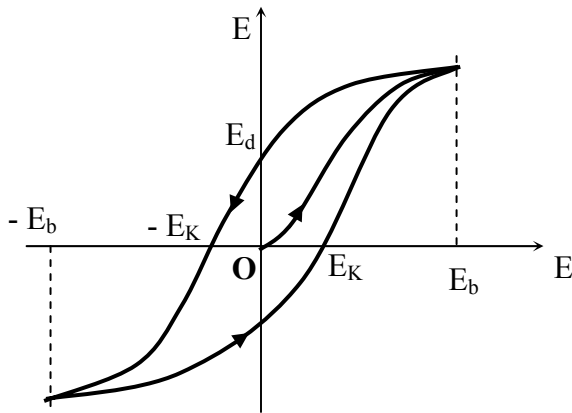
ting thể. Đối với điện môi chất rắn đơn tinh thể, có tính dị hướng, nghĩa là các tính chất vật lý như sự giãn nở, độ phân cực, tính đàn hồi, ... theo các hướng khác nhau thì khác nhau. Trong số các điện môi dị hướng, có hai loại có những tính chất đặc biệt và có vai trò quan trọng trong kỹ thuật. Đó là các chất sécnhét điện và các chất áp điện.

1 – Điện môi sécnhét :

Muối sécnhét có công thức $\text{NaK}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ và một số các điện môi khác có tính chất tương tự. Đặc tính của điện môi sécnhét :

- a) Trong khoảng nhiệt độ nào đấy, hệ số điện môi của sécnhét rất lớn, có thể đạt tới 10000.
- b) Hệ số điện môi ϵ và do đó hệ số cảm điện χ_e phụ thuộc vào cường độ điện trường E trong lòng điện môi. Vì thế vectơ phân cực \vec{P}_e không tỉ lệ bậc nhất với cường độ điện trường \vec{E} .

- c) Giá trị của P_e không những phụ thuộc cường độ điện trường E mà còn phụ thuộc cả vào trạng thái phân cực trước đó của điện môi trước. Khi tăng E đến giá trị E_b thì P_e đạt giá trị bão hòa. Nếu sau đó giảm E xuống tới giá trị $E = 0$ thì P_e không giảm tới không mà vẫn còn bằng một giá trị P_{ed} nào đó (hình 11.6). Hiện tượng đó gọi là hiện tượng điện trễ. Chỉ khi đổi chiều điện trường và đưa nó đến giá trị E_k thì sự phân cực mới hoàn toàn mất đi. Giá trị E_k được gọi là điện trường khử điện. Nếu tiếp tục cho cường độ điện trường biến thiên tới giá trị $-E_b$ rồi từ $-E_b$ về không, sau đó lại đổi chiều điện trường và tiếp tục tăng giá trị cường độ điện trường từ không đến E_b , ta sẽ được một đường cong khép kín gọi là *chu trình điện trễ*.



Hình 11.6: Chu trình điện trễ

- d) Khi tăng nhiệt độ tới quá một nhiệt độ T_C nào đó, điện môi sécnhét mất hết các tính chất đặc biệt trên và trở thành một điện môi bình thường. Nhiệt độ T_C được gọi là nhiệt độ Curi.

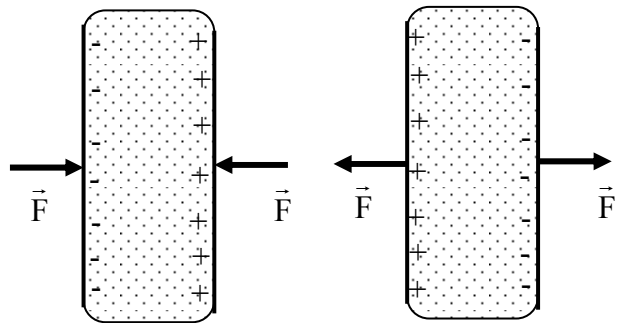
Những đặc tính của điện môi sécnhét được giải thích bằng thuyết miền phân cực tự nhiên (hay tự phát). Khối tinh thể điện môi sécnhét gồm nhiều miền

phân cực tự nhiên ; trong phạm vi mỗi miền, sự tương tác giữa các hạt làm cho các mômen điện của các phân tử song song với nhau ; tuy nhiên, trong các miền khác nhau, các vectơ mômen điện lại sắp xếp hỗn độn sao cho toàn bộ khối điện môi không phân cực. Dưới tác dụng của điện trường ngoài, vectơ mômen điện của các miền đều định hướng theo phương của điện trường ngoài, kết quả khối điện môi bị phân cực.

Điện môi sécnet có nhiều ứng dụng trong kĩ thuật điện và vô tuyến điện hiện đại. Với hệ số điện môi lớn, điện môi sécnet được dùng để chế tạo những tụ điện có điện dung lớn, nhưng kích thước nhỏ.

2 – Hiệu ứng áp điện :

a) Hiệu ứng áp điện thuận : Năm 1880 nhà vật lí Pie Curi và Giắc Curi đã phát hiện ra hiện tượng : khi kéo dãn hoặc nén tinh thể điện môi theo các phương đặc biệt trong tinh thể thì trên các mặt giới hạn của tinh thể có xuất hiện các điện tích trái dấu, tương tự như những điện tích xuất hiện trong hiện tượng phân cực điện môi (hình 11.7). Hiện tượng đó được gọi là *hiệu ứng áp điện thuận*.



Hình 11.7: Hiệu ứng áp điện

Hiệu ứng áp điện thuận xảy ra đối với các tinh thể như ; thạch anh, tuamalin, muối sécnet, đường, titanat bari, v.v ...

Hiệu ứng áp điện thuận được ứng dụng rộng rãi trong kĩ thuật để biến các dao động cơ thành những dao động điện.

b) Hiệu ứng áp điện nghịch : Trong các tinh thể nêu trên, nếu ta áp lên hai mặt tinh thể một hiệu điện thế thì nó sẽ bị dãn hoặc nén. Nếu hiệu điện thế áp lên tinh thể là hiệu điện thế xoay chiều thì bản tinh thể sẽ bị dãn – nén liên tục và dao động theo đúng tần số của hiệu điện thế xoay chiều. Tính chất này được ứng dụng để chế tạo các nguồn phát sóng siêu âm.