

Тема 5: Особливі властивості діелектриків

Питання теми:

- 5.1. Сегнетоелектрики.
- 5.2. П'єзоелектрики.
- 5.3. Електрети.

5.1. Сегнетоелектрики

Ми розглянули діелектрики з електронною, іонною і дипольно-релаксаційною поляризаціями. Вони характеризуються відносно невисокими значеннями діелектричної проникності ($\epsilon \leq 10$). Однак існують речовини, які вирізняються дуже великим значенням ϵ ($\approx 10^3$). Це **сегнетоелектрики**, названі так за представником цього класу речовин – **сегнетової солі** (подвійна калієво-натрієва сіль винної кислоти ($KNaCuH_4O_6 \cdot 4H_2O$)).

У сегнетоелектриків особливий вид поляризації – **спонтанний** (самовільний). В кристалах сегнетоелектриків при певних температурах виникають **мікробласті сильної поляризації** – так звані **домени** (рис. 5.1).

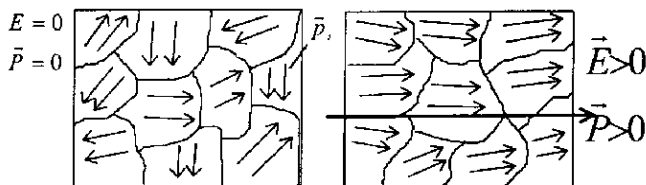


Рис. 5.1

Електричні моменти доменів, за відсутності поля, орієнтовані безладно і в цілому кристал не поляризований. Якщо ж помістити сегнетоелектрик в електричне поле, відбувається його поляризація у зв'язку з орієнтацією доменів за полем.

Натисніть
на символ



18Segn.flv

Характер залежності вектора поляризації від напруженості поля $P(E)$ має складний характер, оскільки діелектрична сприйнятливість ϵ_E залежить від напруженості електричного поля E :

$$P = \epsilon_E \epsilon_0 E$$

На рис. 5.2 цю залежність представлено графічно.

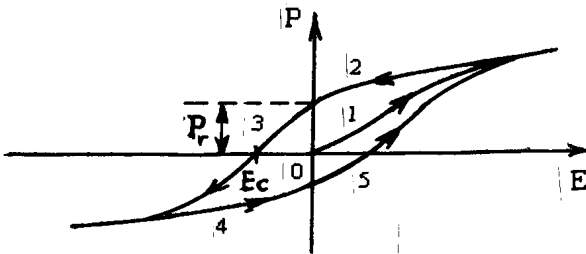


Рис. 5.2

При збільшенні напруженості поля від нуля поляризація зростає (крива 1), що обумовлено як стрибкоподібною, так і плавною переорієнтацією доменів. При зменшенні поля вектор поляризації \vec{P} зменшується у відповідності з кривою 2, однак з деяким **запізненням (гістерезисом)**, бо коли $E = 0$, то $P = P_r$. Це так звана залишкова поляризація і щоб її зняти, треба частину доменів переорієнтувати в протилежному напрямку, приклавши зворотнє поле величиною E_c , яке дістало назву "**коерцетивна сила**". При подальшому зростанні зворотнього поля ($-E$) відбувається переорієнтація доменів у зворотньому

Натисніть
на символ



21Segn_p.swf

напрямку і поляризація теж змінює полярність (крива 3). Якщо поле змінювати циклічно, поляризація буде змінюватись відповідно до замкненої кривої 4-5-2-3-4, яка називається **петлею гістерезису**.

Для кожного сегнетоелектрика є температури, за межами яких він втрачає особливі властивості і стає звичайним діелектриком.

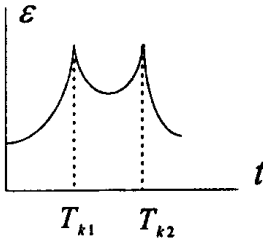


Рис. 5.3

В радіотехніці застосовуються сегнетоелектрики на основі титанату барію, стронцію, кальцію. З них виготовляють кераміку для конденсаторів ($\epsilon > 900$), що дає можливість створювати малогабаритні конденсатори великої ємності. Однак конденсатори із сегнетокераміки можуть застосовуватись тільки на низьких частотах, оскільки на високих частотах вони мають великі діелектричні втрати. На основі сегнетоелектриків виготовляються також нелінійні конденсатори – варіконди, у яких ємність залежить від напруженості поля. Вони застосовуються в параметричних підсилювачах, фазоповоротних пристроях. Електрооптичні властивості сегнетоелектриків використовуються для модуляції лазерного променя.

Ці температури називаються точками Кюрі. Сегнетова сіль має дві точки Кюрі – при $-15\text{ }^\circ\text{C}$ і $+22,5\text{ }^\circ\text{C}$ (рис. 5.3). При температурах нижче $-15\text{ }^\circ\text{C}$ і вище $+22,5\text{ }^\circ\text{C}$ електричні властивості сегнетової солі стають звичайними.

**В області домена
поляризація максимальна.
Однак за відсутності поля
електричні моменти
доменів орієнтовані
безладно і в цілому кристал
не поляризований**

**В електричному полі
відбувається поляризація
сегнетоелектрика у
зв'язку з орієнтацією
доменів за полем**

**Сегнетоелектрики
вирізняються дуже
великим значенням
діелектричної проникності**

5.2. П'єзоелектрики

Є кристалічні діелектрики, які складаються з іонів протилежних знаків, розташованих у вузлах кристалічної ґратки. Зміщення від'ємних і додатних іонів в електричному полі є причиною поляризації цих діелектриків (іонна поляризація). Однак деякі кристали можна поляризувати шляхом їх деформації при стискуванні чи розтягу. Явище поляризації при деформації називається **п'єзоелектричним ефектом**. Величина поляризації пропорційна деформації. П'єзоелектричний ефект був відкритий у 1880 році П'єром і Жаном Кюрі. Найважливішими п'єзоелектриками є кварц, сегнетова сіль, метатитанат барію та інші. Наприклад, комірку кварцу (SiO_2) можна зобразити схематично у вигляді вузлів, у яких знаходяться атоми кремнію і атоми кисню (рис. 5.4).

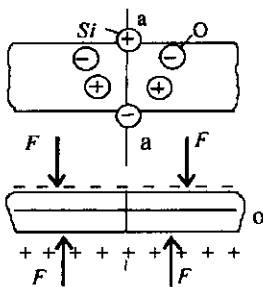


Рис. 5.4

Якщо вирізати з кварцу пластинку і стискати її вздовж певної осі а-а, то на гранях, через які здійснюється стискання, з'являться зв'язані заряди.

Натисніть
на символ



44Pyezo.flv



36Pyezo.swf

Коли ж пластинку розтягувати вздовж тієї ж осі, то з'являться заряди іншого знаку. Це поздовжній **п'єзофект**.

Поляризація в напрямку a - a буде спостерігатись також тоді, коли пластинку стискувати чи розтягувати в напрямку o - o . Це **поперечний п'єзофект**.

Для практичного застосування п'єзофекту на грані пластинки наносять шляхом напилення металеві електроди, які під'єднують до електричного кола. При деформації кристала в колі будуть виникати імпульси струму. Такі процеси відбуваються в головці звукознімача (рис. 5.5), в п'єзоелектричному мікрофоні (рис. 5.6). Деформація пластинки під впливом голки звукознімача чи під дією звукової хвилі перетворюється у змінний струм такої ж частоти.



Рис. 5.5

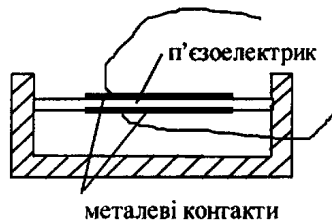


Рис. 5.6

В п'єзоелектричних кристалах спостерігається також **зворотний п'єзофект**, який полягає в тому, що поляризація під дією електричного поля супроводжується деформацією кристалу.

Якщо на металеві електроди подати змінну

Натисніть
на символ



45huchn.flv

електричну напругу, то пластинка буде коливатися вздовж осі $a-a$.

Такі настроєні в резонанс п'єзоелектричні пластинки використовуються для збудження ультразвукових хвиль, для стабілізації частоти генераторів електричних коливань в радіотехніці і т. п. Наприклад, п'єзокварцовий стабілізатор частоти являє собою п'єзоелектричну кварцову пластинку, поміщену між електродами конденсатора K (рис. 5.7).

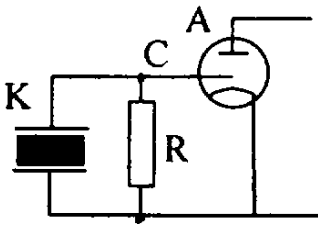


Рис. 5.7

Такий конденсатор підмикається до сітки лампи і завдяки цьому коливання потенціалу сітки відбувається синхронно з власними коливаннями п'єзокварцової пластинки, частота яких високостабільна.

Ця властивість використовується в годинниках, які вимірюють час з високою точністю (до 10^{-8} с).

Треба відмітити, що добротність кварцевої пластинки в десятки тисяч разів перевищує добротність звичайних контурів ($Q \approx 10^6$).

Кварцеві пластини широко застосовуються для покращення селективності смугових фільтрів, настроєних на одну частоту (рис. 5.8).

Натисніть
на символ



47Zvuk.flv

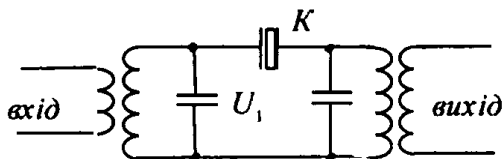


Рис. 5.8

Напруга на першому контурі прикладається через другий контур до пластини кварцу. Вона коливається і в колі виникає змінний струм.

Якщо частота в першому контурі рівна частоті власних коливань кварцової пластинки, коливання в другому контурі мають найбільше значення.

Ми розглянули п'єзоелектрики, в яких при стискуванні і розтязі відбувається поляризація зарядів. Поляризація зарядів відбувається також при розповсюдженні в кристалі ультразвукових хвиль. Акустична ультразвукова хвиля – це періодичний процес стиску-розтягу, який поширюється в кристалі. При цьому на поверхні внаслідок п'єзо ефекту з'являється змінний електричний сигнал – поверхневі хвилі. Область науки, яка вивчає процеси поширення ультразвукових хвиль і використання їх для перетворення та обробки радіосигналів, називається **акустоелектронікою**.

Як приклад розглянемо застосування поверхневих хвиль в **лініях затримки**.

На одну пару електродів кварцової пластинки подається сигнал (рис. 5.9). Він викликає коливання і поверхневі хвилі, які поширюються зі швидкістю звуку по кристалу.



Рис. 5.9

На електродах в іншому кінці пластинки буде вихідний сигнал, подібний до вхідного, тільки зсунутий в часі.

5.3. Електрети

Електрети – це діелектрики, які будучи один раз наелектризованими, довго зберігають свій заряджений стан. Для одержання електретів розплавлену суміш з воску і смоли зносять в електричне поле і залишають в ньому до застигання. Затверділий електрет являє собою ізолятор з додатним зарядом на одному кінці і від’ємним – на іншому (рис. 5.10).

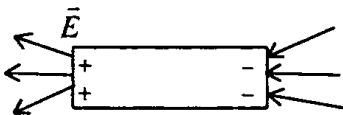


Рис. 5.10

Електрети створюють навколо себе постійне електричне поле і є аналогами постійних магнітів.

Залишкова поляризація електретів пояснюється тим, що вільні електрони і іони під дією поля зміщуються до електродів і захоплюються структурними дефектами, утворюючи об'ємні заряди.

Електрети застосовують в мікрофонах, телефонах, вібродатчиках. Їх можна використовувати для подачі постійної напруги на сітки електронних ламп, для керування електронним пучком в електронно-променевих трубках, в електростатичних вольтметрах. Недоліком електретів є те, що вони швидко "старіють", тобто з ними відбуваються необоротні процеси деградації, в результаті чого поляризація зникає.

Питання для контролю

1. Чим виділяються сегнетоелектрики з-поміж інших діелектриків?
2. Як відбувається поляризація сегнетоелектриків?
3. Що таке домени ?
4. Що таке гістерезис ?
5. Що таке залишкова поляризація ?
6. Що таке «коерцитивна сила» ?
7. Які властивості мають конденсатори із сегнетоелектрика ?
8. Що таке п'єзо ефект ?
9. Навести приклади застосування п'єзо ефекту в радіотехніці.
10. Що таке електрети ?

Допоміжна література

1. *Савельев И. В.* Курс общей физики. Т. 2. – Москва: Наука, 1978, § 23.