

Жуковець М.А., Захарченко Р.В.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, пр.Берестейський 37,
email: zhukovets.mariya@lil.kpi.ua

П'ЄЗОЕФЕКТ. ВІДКРИТТЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ

***Анотація.** П'єзоефект є одним із видів спонтанної поляризації кристалів. П'єзоелементи здатні генерувати електричний струм під дією механічного тиску. У даному літературному огляді розглянуті деякі особливості будови п'єзоелектриків. Також приділено увагу до застосування п'єзоелектриків в техніці.*

***Abstract.** The piezoelectric effect is a type of spontaneous polarization of crystals. Piezoelectric elements are capable of generating electric current under mechanical pressure. In this literature review, some features of the structure of piezoelectrics are considered. Attention is also paid to the use of piezoelectrics in technology.*

Ключові слова: п'єзоефект, п'єзоелектрик, п'єзокристал, електрична поляризація.

***Key words:** piezoelectric effect, piezoelectric materials, piezoelectric crystal, electric polarization.*

П'єзоелектрика – це виникнення або зміна електричної поляризації при дії механічних напруг (прямий п'єзоефект), або деформації при дії електричного поля (зворотній п'єзоефект) в деяких анізотропних діелектриках та напівпровідниках. Також існує явище електрострикції, яке слід відрізнити від зворотнього п'єзоефекту. При п'єзоефекті деформація залежить від електричного поля лінійно, а при електрострикції – квадратично [1].

Явище п'єзоефекту було відкрито ще у 1880 р. [2] братами Жаком і П'єром Кюрі, які з'ясували, що при деформації кристалу кварцу на його протилежних гранях з'являються різнойменні заряди. Механізм прямого п'єзоефекту пов'язаний із виникненням або зміною електричного дипольного моменту атомів або молекул кристалу. Тобто, під дією зовнішнього механічного стиску, розтягу або зсуву, відбувається просторовий

перерозподіл електричних зарядів в структурних елементах кристалічної структури матеріалу.

П'єзоефект в різних матеріалах домовились характеризувати [1] *n*'єзоелектричними сталими – компонентами тензорів 3-го рангу, $d_{ik}, g_{ik}, e_{ik}, h_{ik}, (i = 1, 2, 3; k = 1, 2, \dots, 6)$, які визначають взаємозв'язок

к
о
м
п
о
н
е
н
т

е
л
е
к
т

р Габріель Ліппман (лауреат Нобелівської премії з фізики 1908 р.), у 1881 р. вперше припустив оборотність процесу, що відкрили брати Кюрі [3]. Ї пізніше, у тому ж 1881 р. Жак та П'єр Кюрі експериментально встановили зворотний п'єзоелектричний ефект. Виявилось, що для тих самих матеріалів, де спостерігався прямий п'єзоефект, спостерігався також і зворотній п'єзоефект. Прикладена до протилежних граней кристалу зовнішня напруга призводила до механічної віброуючої і змінної у часі деформації кристалу із звуковим супроводженням ефекту. Згодом поєднання прямого та зворотнього п'єзоефекту стали широко застосовувати в техніці.

л Так, ще в часи Першої світової війни французький фізик Поль Жанжевен, який свого часу працював під керівництвом П'єра Кюрі, запропонував використовувати це явище для виявлення підводних човнів. Обертаючись, гвинт човна породжує пружні хвилі, що розповсюджуються у воді зі швидкістю близько 1500 м/с. Якщо п'єзокристал розташувати на шляху розповсюдження ультразвукової хвилі, він стискатиметься під впливом імпульсу набігаючої хвилі та на його гранях з'явиться напруга [4].

і
ї

P_i та механічних напруг σ_k (наприклад, $P_i = k d_{ik} \sigma_k$), деформації u_k та

П'єзоефект спостерігається в діелектричних або напівпровідникових кристалах із анізотропією [3], тобто в кристалах із різними фізичними властивостями вздовж різних кристалографічних напрямків кристалічної структури зразка [4]. В таких кристалах має бути відсутній цент симетрії, тобто, щоби при деформації кристалу, зміни форми його елементарних комірок атомів, зовнішній вплив та внутрішнє зміщення кристалічної структури і атомів (іонів) відповідно, призводило б до утворення суттєвої різниці потенціалів на поверхні зразка. Кристалізуючись в сильному електричному полі [5], керамічні та полімерні матеріали також можуть набувати п'єзоелектричних властивостей. Серед 20 нецентросиметричних груп найбільш сильним п'єзоелектричним ефектом володіють монокристалічні та поляризовані полікристалічні (п'єзокераміка) сегнетоелектрики, що відносяться до групи піроелектриків (всього 10 груп). Такі кристалічні сполуки (наприклад, сегнетова сіль, п'єзокераміка на основі титанату барію або на основі титанату-цирконату свинцю та інші) показують аномально високі п'єзоелектричні властивості завдяки сегнетоелектричному фазовому переходу, що відрізняє їх від звичайних так званих лінійних піроелектриків [1]. А от природні матеріали з п'єзоелектричними властивостями (граніти, кварцити, турмалін та ін.), яких понад 1000 найменувань, слабо проявляють п'єзоефект.

Перспективним є використання п'єзоефекту в енергетиці. Ізраїльські вчені розробляють проєкт виробництва електроенергії автобаном. Вони прогнозують, що 1 кілометр дороги генеруватиме до 5МВт [3]. Також п'єзоелектричні матеріали використовують в сучасних датчиках тиску, п'єзоелектричних детонаторах, джерелах звуку величезної потужності, мініатюрних генераторах високої напруги, електроконденсаторах та ін.

Досить часто у техніці п'єзоефект застосовують для отримання електричних коливань постійної частоти. Як то винайдений Полем Ланжевенном кварцовий резонатор, що застосовується, зокрема, у кварцових годинниках. Разом з резонатором з частотою 32,768 КГц застосовується мікросхема-лічильник. Коли кількість імпульсів на вході становить 32768, лічильник видає 1 імпульс на виході. Отже завдяки високоточним коливанням, схема створює один імпульс на секунду. Також розглядуване явище має місце у різноманітних вимірювальних пристроях. Наприклад в електронних вагах. Під час тиску на чутливу поверхню генерується

електричний струм. Завдяки контролеру, що вимірює рівень напруги, можна досить точно встановити вагу.

Радіотехніка та акустика – галузі, в яких особливо важливий зворотний п'єзоефект. У будильниках, дзвінках та при включенні комп'ютера ми чуємо звуки, породжені п'єзовипромінювачем. Цей пристрій має таку будову: до металічної мембрани приклеюється п'єзокерамічний елемент, на який з протилежної сторони напилений струмопровідний шар. Під час подачі змінного струму на мембрану та цей шар, п'єзоелемент починає деформуватись за законом зворотного п'єзоефекту. Таким чином, на мембрану передається вібрація, яка у свою чергу спричиняє акустичні коливання в повітрі. Такі випромінювачі здатні успішно генерувати досить високі частоти, тому не можуть замінити електромагнітні динаміки. Але ця особливість знайшла застосування у зволожувачах повітря. Мембрана п'єзовипромінювача розбиває краплі води на досить малі частинки, які потім

и Тож, у підсумку, можемо відзначити, що суттєвий інтерес у перспективі представляють п'єзополімерні плівки та п'єзокомпонентні структури, що мають ряд конструктивних переваг, а також п'єзоматеріали напівпровідники із сильною електрон-фононною взаємодією [1].

к

ЛІТЕРАТУРА

[1] ФІЗИКА ТВЕРДОГО ТІЛА: Енциклопедичний словник / Гол. ред.

В. Г. Бар'яхтар та інші. – Київ: Наук. думка. Т. 2. 1998. 648 с., с. 148-149.

[2] П'єзоефект. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/П'єзоефект>

[3] П'єзоелектрик. Режим доступу: <https://alternative-energy.com.ua/uk/vocabulary/П'єзоелектрик>

[4] П'єзоелектричний ефект і його використання в техніці. Режим доступу: <https://moyaosvita.com.ua/fizuka/pyezoelektrichnij-efekt-i-jogo-vikoristannya-v-technici/>

[5] UCSC PHYSICS DEMONSTRATION ROOM

<https://ucscphysicsdemo.sites.ucsc.edu/piezoelectric-effect/>

[6] Кварцовий резонатор та п'єзоелектричний ефект

<https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=h-KRCzm5Xjk&t=209s>

і