

О.М. Безвесільна, д.т.н., проф.
Національний технічний університет України «КПІ»
М.А. Войцицький, аспірант
Житомирський державний технологічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ П'ЄЗОМАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ПЕРВИННОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ДВОКАНАЛЬНОГО П'ЄЗОГРАВІМЕТРА

П'єзоелектричні явища вперше детально вивчали французькі фізики брати П'єр та Жак Кюрі у 1880 р. на кристалі кварцу. Згодом п'єзоелектричні властивості було виявлено більш ніж у 1500 речовин. Фізичну природу п'єзо ефекту краще за все розглядати саме на прикладі найбільш відомого п'єзоелектричного кристалу – кварцу (SiO_2). Використання на практиці фізичного явища прямого п'єзо ефекту розпочалось з 1917 р., коли французький математик і фізик Поль Ланжевен винайшов ультразвуковий ехолокаційний прилад для виявлення підводних човнів. Згодом з'явилися перші розробки п'єзоелектричних пристроїв звукозапису, датчиків для вимірювання вібрацій та прискорень тощо. Сьогодні п'єзоперетворювачі використовують для визначення внутрішніх дефектів твердих, вимірювання швидкості ультразвуку, а також у медицині, машинобудуванні, геофізиці, геодинаміці та гравіметрії. П'єзоелектричний ефект полягає у тому, що у кристалах деяких діелектриків, при дії механічних сил, відбувається поділ (зсув) електричних зарядів так, що одна їх частина заряджається позитивно, а інша – негативно.

П'єзотриками є лише кристалічні речовини, у яких обов'язково виділені напрямки, вздовж яких направлений вектор поляризації при деформації і які можуть бути як моно- так і полікристалічними.

До першої групи відносяться кварц, турмалін, хлорид натрію, сегнетова сіль, титанат барію і багато інших речовин. До другої – штучно створені кристали п'єзокераміки. Окрім запропонованих монокристалів, які є природними хімічними елементами, можна використовувати і штучно створені полікристали. Штучний п'єзоелектричний матеріал за своїми фізичними властивостями є напівкристалічним сегнетоелектриком – являє собою хімічну сполуку чи твердий розчин.

П'єзоелектрична кераміка являє собою твердий, хімічно інертний матеріал, зовсім нечутливий до вологості. Найбільше поширення отримала група п'єзокерамічних матеріалів типу ЦТС (титану-цирконату свинцю). Разом з тим, є відомою кераміка на основі титанату барію і титанату свинцю.

В останні роки розробляються нові п'єзокерамічні матеріали з більш високими технічними характеристиками і широкими можливостями використання.

Робота п'єзогравіметра (ПГ), в основному, залежить від характеристик та параметрів п'єзоелемента (ПЕ), бо він є його основною складовою.

До основних параметрів п'єзоелектричних матеріалів відносяться:

- коефіцієнт електромеханічного зв'язку (K_p);
- відносна діелектрична проникливість;
- густина (ρ);
- п'єзомодуль (d_{ij});
- модуль Юнга (Y);
- механічна добротність (Q_M);
- водопоглинання, %;
- температура точки Кюрі (T_K) та інші.

У табл.1 наведені основні параметри найпоширеніших п'єзоелектричних матеріалів.

Із точки зору повноти використання вхідної енергії, яка характеризується коефіцієнтом електромеханічного зв'язку, найкращим матеріалом є сегнетова сіль, а найгіршим – кварц. Однак, низькі температурні властивості сегнетової солі не дозволяють на практиці реалізовувати її високі електромеханічні характеристики.

Усі штучно створені п'єзокерамічні матеріали, як видно із таблиці, виділяються високими діелектричною проникливістю та коефіцієнтом електромеханічного зв'язку. Але кераміка має малий модуль пружності, що унеможливило її використання в умовах експлуатації ПГ на борту літальних апаратах (ЛА).

Таблиця 1

Основні параметри п'єзоелектричних матеріалів

№ з/п	Матеріал	Коеф. ел-механ. зв'язку K_p	Відносна діелектр. проникл., ϵ	Густина, ρ , 10^3 кг/м^3	П'єзомодуль d_{ij} , 10^{-12} Кл/Н	Водопоглинання, W , %	Модуль Юнга, Y , $\text{Н/м}^2 \cdot 10^9$	Допустима температура, $T_{\text{доп}}$, $^{\circ}\text{C}$	Механічна добротність, Q_M	Тангенс кута грічних втрат, $\text{tg} \times 10^2$
1	Кварц	0.095	3.50–4.50	2.65	231	–	80	550	$>10^4$	<0.5
2	Турмалін	0.10	6.60	3.10	190	–	160	–	$>10^2$	<10
3	Ніобат літію	0.32	28.60	4.64	1620	–	95	1142	$<10^5$	–
4	Дигідрофосфат амонію	0.28	15.30	1.80	24	–	19.3	125	$>10^2$	<10
5	Сульфат літію	0.37	10.30	2.05	16	0.34	46	75	$>10^2$	<10
6	Сегнетова сіль	0.67	250	1.77	27	0.63	19.3	45	–	>5
7	Титанат барія, ТБ-1	0.40	1500	5.30	45	0.20	100	120	400	2–3
8	Титанат барія-кальцю, ТБК-3	0.46	1180	5.40	45	0.20	120	105	450	3–4

Проведено аналіз основних параметрів п'єзоелектричних матеріалів та обрано найоптимальніший із них для конструкції чутливого (ЧЕ) розробляємого ПГ, а саме – ніобат літію. Він є сегнетоелектриком з температурою Кюрі ~ 1210 $^{\circ}\text{C}$ і величиною спонтанної поляризації 50-80 мкКл / см^2 при 300 К. Ніобат літію (LiNbO_3) – хімічна сполука, змішаний оксид ніобію, літію, безбарвні кристали з ромбоєдричною структурою ($a = 0.547$ нм, $\alpha = 53,72$ $^{\circ}$, просторова група $R3c$). Не розчинний у воді. Не взаємодіє з кислотами крім фтористоводородної кислоти.

Отримують LiNbO_3 взаємодією Li_2CO_3 з Nb_2O_5 при 1050...1100 $^{\circ}\text{C}$. Монокристали вирощують методом Чохральського. Його кристалічна структура не має центральної симетрії і тому ніобат літію є сегнетоелектриком, і демонструє ефект Поккельса – п'єзоелектричний ефект. Саме він є найоптимальнішим матеріалом для ЧЕ нового ПГ. Незважаючи на мале значення п'єзомодуля та відносної діелектричної проникливості у порівнянні із п'єзочермамікою, ніобат літію має високу стійкість до зміни зовнішніх температур та тисків, високий коефіцієнт електромеханічного зв'язку та стабільні п'єзоелектричні властивості, що є важливим безпосередньо для конструкції ПГ.

Провівши аналіз основних параметрів п'єзоелектричних матеріалів обрано найоптимальніший із них для конструкції ЧЕ нового ПГ, а саме – ніобат літію.

Після того, як обрано необхідний п'єзоматеріал для ЧЕ нового ПГ, треба ідентифікувати, власне, конструкцію ПЕ. П'єзоелектричні пластини, зазвичай, об'єднують у багатошарові п'єзопакети. Пакетна конструкція представляє собою набір із окремих п'єзопластин із металізованими поверхнями, кількість яких визначається необхідним діапазоном переміщень.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ:

БЕЗВЕСІЛЬНА Олена Миколаївна, Заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор кафедри приладобудування Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”.

Наукові інтереси: гравіметричні системи та гравіметри; прилади та методи вимірювання механічних величин; комп'ютеризовані інформаційні системи.

bezvesilna@mail.ru 0951603218

ВОЙЦИЦЬКИЙ Максим Анатолійович, аспірант кафедри автоматизованого управління технологічними процесами та комп'ютерних технологій Житомирського державного технологічного університету.

mvoitytskyi@mail.ru, 0938123147

Наукові інтереси: гравіметрія та системи автоматичного керування.