

**«Болашаққа қадам – қуат көздерінің баламасы» атты балалардың
ғылыми-техникалық шығармашылығына арналған республикалық
конкурс**

Бағыты «Жанармай және энергетика»

Жас аралығы «11 – 14 жас»



Тақырыбы: Пьезоэлектрлік қуат көздері – болашақ энергетикасының бөлшегі.

Дайындаған: Жеңісбекова Жансая, 8 – сынып,
Жамбыл атындағы орталау мектебі, ШҚО, Зайсан ауданы, Жамбыл ауылы

Туылған күні: 3 қазан 2002 жыл.

Eldos.sh@mail.ru

Жетекшісі: Шаймарданов Елдос, Жамбыл атындағы орталау мектебінің физика, информатика пәні мұғалімі.

**Қазақстан Республикасының Білім және Ғылым министрлігі
Шығыс Қазақстан облысы, Зайсан ауданы, Жамбыл ауылы
Жамбыл атындағы орталау мектеп КММ**

Ғылыми жоба

Жоба тақырыбы: Пьезоэлектрлік қуат көздері – болашақ энергетикасының бөлшегі.

Бағыты: Жанармай және энергетика

Секция: физика

Жас ізденуші: 8 сынып оқушысы Жеңісбекова Жансая

Жетекшісі: Шаймарданов Е.Д физика пәнінің мұғалімі

Жамбыл ауылы. 2015-2016 оқу жылы

Жоспар

Кіріспе.....
1 Пьезоэлектрлік құбылыс.....
2 Пьезоэлектрлік материал түрлері және қолданысы	
2.1 Пьезоэлементтер.....
2.2 Пьезоэлементтердің практикада қолданысы.....
Қорытынды.....
Пайдаланған әдебиеттер.....

Кіріспе

Мақсаты: Пьезоэлектрлік материалдардан электр энергиясын алу жолдарымен танысу және сол энергияны толығымен, тиімді қолданудың әдіс-тәсілдерін іздестіру.

Міндеттері:

- Пьезоэлектрлік құбылысты түсіну мақсатында әдебиеттермен танысу.
- Пьезоэффекттің пайда болуы жайлы деректер жинау.
- Пьезоэлектрлік материалдар түрлеріне (пьезоэлементтер, пьезокерамика) шолу жасау.
- Пьезотүрлендіргіштердің жұмыс принципін талдау (пьезогенератор)
- Қазіргі таңдағы пьезоэлектрлік материалдардың қолданысын қарау.

Гипотеза: Болашақта адам баласы қажетті энергияны біздің күнделікті өмірдегі қозғалысымызда шығындалатын механикалық энергиядан алатын болады. Метро станциясындағы қарбаласта немесе би алаңындағы кинетикалық энергия суммасы бізді ойландырмай қоймайтыны анық. Бұл бізге барілген керемет мүмкіндіктердің бірі.

Практикалық құндылығы: Қазіргі таңда пьезоэлектрлік құралдарды көптеген елдерде қолданып отырған компания Revegen. Бұл компания пьезоэлектрлік плиталарды жол жиектерінде, мектептерде, футбол алаңдарына орналастыруды көздеп отыр.

Бұл технология көмегімен қарапайым балалардың ойын алаңынан әрбір басқан қадамнан 7 Ватт энергия мөлшерін алуға болады.

1 Пьезоэлектрлік құбылыс

Пьезоқұбылыстың даму тарихы шамамен 120 жыл. 1880 жылы Пьер және Жак Кюри кейбір материалдар бетіне түскен күштің әсерінен электр зарядтары электр зарядтары пайда болатынын байқаған. Бұл құбылыс артынша тура пьезоқұбылыс деп аталды. Механикалық қысым түсірілу нәтижесінде пайда болған электр тогы –пьезоэлектрлік және бұндай құбылыс жүретін пьезоэлектрлік (кварц, турмалин, сегнет тұзы, т.б.).

1881 жылы Г. Липманның болжамы бойынша пьезоэлектрлік материалдарға бағыттылған электр кернеуінің әсерінен ол материалда механикалық сығылу және серпімді деформация пайда болатыны Пьер және Ж. Кюрилердің тәжірбиесінде дәлелденді. Бұл құбылыс кері пьезоқұбылыс деп аталды. «Пьезо» (piezo) сөзі грек тілінен аударғанда «басамын» деген мағына береді. 1917 жылы Француз математигі және физигі Поль Ланжеванның ұсынуы бойынша ультра дыбыстық эхолокаторлық құралды су асты объектілерін іздеп табу үшін қолдану пьезоэлектрлік құбылыстың алғаш практикалық қолданысына жол ашты. Бұл құралда шағылдырғыш ретінде ультрадыбыстық сигнал қабылдағышында кварцтық пластинка қолданылды.

Электр құбылыстары алғаш рет механикалық күштер әсерінен алынғаны бәрімізге мәлім. Ежелгі гректерде белгілі болған гитарды (elektron) ысқылағанда пайда болатын тылсыт тартылыс күші қазіргі кездегі электр тогының бастауы еді. Кейінгі жүзжылдықтардағы электрлік құбылыстар жайлы білімдердің толығып жетілуі және әр түрлі формаларының пайда болуы оған әр-түрлі тіркестер жалғауға түр әкелді. Мысалы: гильвано-электрлік құбылыс, вольто-электрлік құбылыс, фарадей-электрлік құбылыс термо-электрлік құбылыс, фото-электрлік құбылыс, пиро-электрлік құбылыс, пьезо-электрлік құбылыс, стрефо-электрлік құбылыс. Бұлардың кейбір түрі қазіргі таңда ескірген форма болып табылады және қолданыстан мүлдем шығып қалған.

Ертеректен бізге белгілі (Жалындаған отқа салынған турмалин кристаллының бастапқыда тартатыны және кейіннен тебетіні). Ал Еуропада бұл жайлы алғаш

шамамен 1703 жылы белгілі бола бастаған. Бұл Голландиялық көпестердің Цейлоннан турмалин әкелгеннен кейін белгілі болды. Турмалиннің тартылыс құбылысы Цейлонда, Индияда ерте замандардан белгілі болған. Кейде оны «цейлондық магнит» деп те атайды. 1757 жылы Линея оған «lapis electricus» деген атау берген. 1756 жылы Эпинус қыздырылған кристаллдың 2 жақ ұшында ең алған турмалиннің электрлік қасиеттерін іпаттаған. 1824 жылы әр-түрлі кристаллдар мен осы құбылысты байқаған Брюстер бұл құбылысқа «пироэлектрлік» деген атау берген.

Пироэлектрлік құбылыс байқалған кристаллдар арасында сегнет тұзы да болған. Әр түрлі зерттеулер де дәлелденген пироэлектрлік құбылыс теориясын ең алғаш Кельвин тұжырымдады. Кельвин 1759 Каит байқаған турмалин кристаллдың сынған бөліктеріндегі әр аттас зарядтар пироэлектрлік кристаллдағы поляризациялық күйге әсер ететінін айтқан. Осы теория арқылы пироэлектрлік құбылыс осы поляризацияның температуралық коэффициентін көрсетеді.

Кристаллограф Гаюи және Беккероль қысым электрін тудыратын Кулонның тұжырымын басшылыққа ала отырып, кейбір кристаллдардың оларды қыып сыққанда электрленетінін тәжірибе жүзінде көрсеткен. Олардың ашуларындағы пьезоэлектрлік емес, кристаллдардың (кальцит) оң нәтиже беруі, қортындысында бұл электрлік құбылысты байланыстың электрлік деп аталуына алып келді.

2 Пьезоэлектрлік материал түрлері және қолданысы

2.1 Пьезоэлементтер

Пьезоэлектриктер- деформациялану нәтижесінде электр зарядын туғызуға қабілетті (тура пьезоқұбылыс) яғни пьезоқұбылыс байқалатын немесе сыртқы электр өрісі әсерінен деформацияланатын (пьезоқұбылыс) ди электрик. Бұл 2 құбылыс та 1880-1881 ж.ж Жак Кюри және Пьер алғаш ашқан .

Көптеген пьезоэлектриктер қазіргі кезде жаңа технологияларда датчик (қысым) ретінде кеңінен қолданылуда. Сонымен қатар пьезоэлектрлік генераторлар, қуатты дыбыс көзі, ыңғайлы трансформаторлар, жоғары тұрақты генератор жиіліктеріне арналған кварцтық резонаторлар, пьезокерамикалық фильтр (сүзгі) т.б қолданылады. Кристаллдық кварцтан басқа кеңінен қолданылатыны поликристаллдық сегнетоэлектриктерден дайындалатын полярланған пьезокерамика.

Тұрмыста біз пьезоқұбылысты оттұтандырғыштан (пьезопластинканы басқанда ұшқын пайда болуы), медициналық диагностикада (УЗИ) құралынан (ультрадыбыс датчигі ретінде пьезоэлектрлік көз қолданылады). Пьезоэлементтің озық қолданыстарының бірі ретінде сканерлік зондтау микроскопы (53м) болып табылады. Пьезоэлементпен дайындалған зондтық микроскоптың сканерлеу элементі үлгі бетінде зондық орын ауыстыруын 0.01 Å дейін дәлдікте орындай алады. Олардың ішінде кң қолданысқа ие түрі құбырлы (түтікшелі) пьезоэлементтер. Олар өте аз кернеу мәнінде объектілердің көптеген орын ауыстыруын алуға мүмкіндік береді. Олар қабырғалары қалың, пьезоэлектрлік материалдардан жасалған цилиндр бейнесінде болады. Осындай 3 түтік бірігіп бір түйін құрайды. Және де олар зондтың орын ауыстыруын 3 ортогональдық бағытта қозғалысын қамтамасыз етеді. Бұндай сканерлік элемент трипод деп аталады.

1964 жылы Ю.В. Гуляев және В.И. Густвой беттік-акустикалық толқындарды қолданатын акустикалық құрал негізгі құрлымы ретінде пьезоэлектрик-өткізгіштің қабаттық құрылымын қолдануды ұсынды.

Пьезоэлектрлік материалдар – пьезоэлектрлік қасиеті айқын байқалатын және оған ие заттар (диэлектриктер, жартылай өткізгіштер) болып табылады.

Табиғатта бастапы қалпында кездесетін пьезоэлектрлік кристаллдар (квац, турмалин, шырыш) және т.б. Бұлардың маңызды түрлері синтезделеді (сегнет тұзы, литий, пьезокерамика, пьезополимер).

Пьезоэлектрлік материалдар әр түрлі бағыттар бойынша қолданылады: гидролакация, дыбыстық техникада, акустоэлектроника, дәлме-дәл механикада және т.б. Пьезоэлементті дайындау үшін пьезоэлектрлік түрлендіргіштің қолдану аясына және түріне қарай оның жұмыс істеу тұрақтылығын, тиімділігін анықтайтын қасиеттерін сәйкестендіре отырып, пьезоэлектрлік материалды таңдайды.

Пьезоэлектрлік материал мынадай өлшемдермен сипатталады: пьезомодуль матрицасы d және салыстырмалы диэлектрик өтімділік ϵ^s , серпімді көнгіштік коэффициенті S^E , дыбыс тарату жылдамдығы c , диэлектрлік жоғалудың тангенстік бұрышы $tg\delta$, механикалық төзімділік Q_m , тығыздығы ρ , шектік рұқсат етілген температурасы θ (сегнетоэлектриктер үшін Кюри температурасы).

Көптеген жағдайларда пьезоэлектрлік материалдарды мынадай қасиеттері арқылы бағаланады:

1. электро-механикалық байланыс коэффициенті k_{ik} (квазистикалық режим үшін, дыбыс толқынының пьезоэлемент өлшемінен әлдеқайда артық болған жағдайда):

$$K_{ik} = \frac{d_{ik}}{\sqrt{\epsilon_{ii}^s \epsilon_0 S_{kk}^E}},$$

мұндағы, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – вакуумдағы диэлектрлік тұрақтысы.

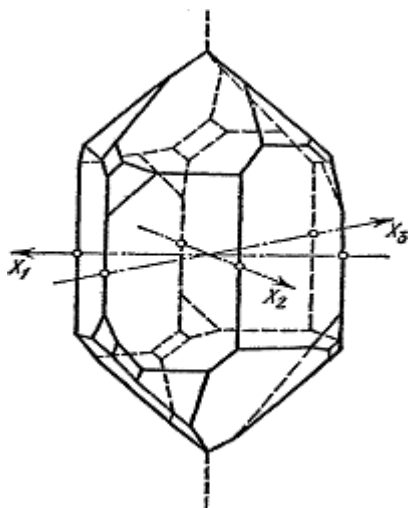
Пьезоэлектрлік материалдардың негізгі қасиеттері:

Пьезоэлектрик	Плотность ρ , 10^3 кг/м ³	Скорость звука $c_{\text{ли}}$, 10^3 м/с	Диэлектрич. проницаемость, ϵ_{ii}	S_{jk}^E , 10^{-12} м ² /Н	Пьезомодуль d_{jk}^E , 10^{-12} Кл/Н	$\text{tg}\delta$, 10^2	Механическая добротность, Q_m	Коэффициент электромеханической связи, K_{ik}	Примечание
Кварц	2,6	5,47 ⁽¹¹⁾	4,5 ⁽¹¹⁾	12,77 ⁽¹¹⁾	2,31 ⁽¹¹⁾	<0,5	>10 ⁴	0,095	Срез 0° к оси X
Дигидрофосфат аммония	1,8	3,25 ⁽³³⁾	15,3	52,6 ⁽³³⁾	24,0 ^{(30)/2}	<1	>10 ²	0,28	Срез 45° к оси Z
Сульфат лития	2,05	4,7 ⁽³³⁾	10,3 ⁽²²⁾	22,5 ⁽²²⁾	16,3 ⁽²²⁾	<1	>10 ²	0,30	Срез 0° к оси Y
Сегнетова соль	1,77	3,1 ⁽²²⁾	350 ⁽¹¹⁾	37 ⁽²²⁾	275	>5	—	0,65	Срез 45° к оси X; при T=55°C распадается на химические составляющие
Сульфонидил сурьмы (0°C)	5,2	1,5 ⁽³³⁾	2200 ⁽³³⁾	86 ⁽³³⁾	150 ⁽³¹⁾	5—10	50	0,8 ⁽³³⁾	Поляризован по оси Z
XГС-2	5,3	1,8	900	9,2 ⁽³³⁾	1300 ⁽³³⁾ 80 ⁽³¹⁾	5	20	0,7 ⁽³³⁾	$d_V=500 \cdot 10^{-12}$ Кл/М
Ниобат лития	4,64	5,8 ⁽³³⁾	28,6 ⁽³³⁾ 84,6 ⁽¹¹⁾	5,03 ⁽³³⁾ 5,83 ⁽¹¹⁾	600 ⁽³³⁾ 16,2 ⁽²²⁾ 17,1 ⁽³³⁾	—	<10 ³	0,24 ⁽²²⁾ 0,32 ⁽³³⁾	
Пьезокерамика									
Титанат бария ТБ-1	5,3	4,6	1500	8,9	45	2	400	0,2	
Титанат бария—кальция ТБК-3	5,4	4,2 4,7 4,4	1180	10,7 8,4 9,5	100 51 113	1,3	450	0,5 0,17 0,37	Пьезоэлементы поляризованы вдоль оси Z (оси 3)
Группа титаната-цирконата свинца PZT (ЦТС) ЦТС-19	7,45	3,6	1725	10,4	100	3,5	50	0,24	
ЦТБС-3	7,2	3,0 3,5	2325	14,9 11,5	200 158	1,2	350	0,44 0,33	
ЦТСНВ-1	7,3	3,2 2,9	2325	13,6 16,3	>350 205	1,9	70	0,64 0,37	
PZT-8	7,6	2,6 3,4	1000	20,9 11,4	>445 93	0,4	1000	0,69 0,3	
PZT-5Н	7,5	3,1 2,8	3400	13,7 17,0	218 274	2,0	65	0,64 0,39	
PZT-4	7,5	2,5 3,3 2,9	1300	21,3 12,3 15,4	593 123 289	0,5	500	0,75 0,33 0,70	
Пьезополимерная плёнка									
ПВДФ	1,8	1,4—1,9	12	280	20 25	1	—	10	$d_V=10 \cdot 10^{-12}$ Кл/Н
Пьезокомпозит									
30% РbTiO ₃	3,0	1,8	20	90	—	5	—	—	$d_V=12 \cdot 10^{-12}$ Кл/М

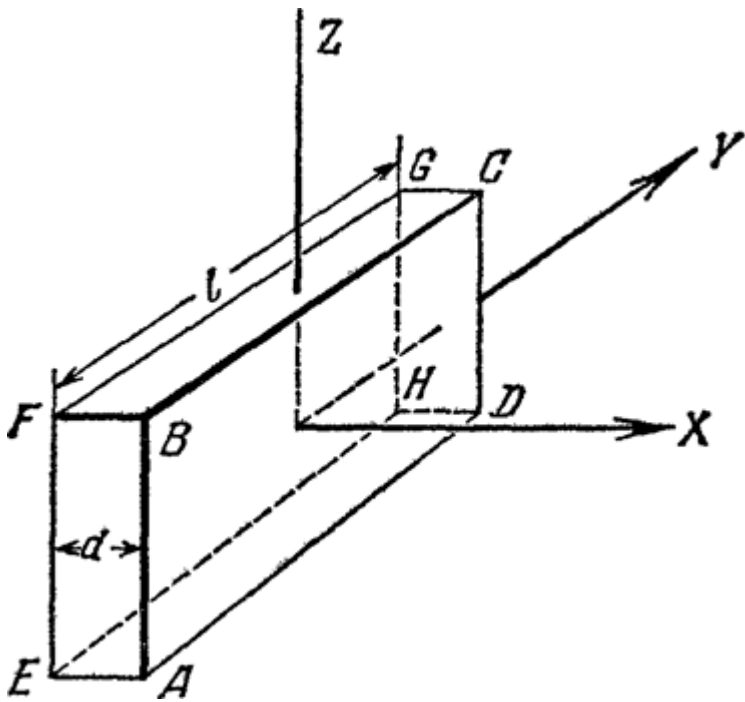
Пьезоэлектрлік зарядты байқау үшін кристаллдық плитканың шеттерін металл қорғанышпен қаптайды. Қабықшалар бір-бірімен қосылмаған ашық кезде деформациялайтын болсақ, бізде потенциалдар айырымы пайда болады. Ал қабықшалар жабық кезде онда таңбасы бойынша кері индукциаланған заряд пайда болады. Жалпы жалғастырылған қабықша жүйесінде деформация процесінде ток пайда болады. Кварцты үлгі ретінде ала отырып пьезоэлектрлік құбылыстың негізгі ерекшеліктерін қарастырайық. SiO₂ кварцтың кристаллдары әр-түрлі кристаллографиялық түр өзгерістерінде кездеседі. Бізге қажетті (а-кварц) тригональді кристаллографиялық жүйеде болады және

суретте көрсетілгендей формаға ие. Бұл бізге 2 пирамидамен көрсетілген, 6 жақты призманы елестетеді. Бірақ қосымша қабырғалары да болуы мүмкін. Бұндай кристаллдар негізгі ішкі бағыттарын айқындайтын 4 кристаллдық осьпен сипатталады. Бұндағы Z осы пирамида төбелерін қосатын ось. Ал қалған X_1, X_2, X_3 үшеуі Z осьіне перпендекуляр орналасып, 6 жақты призманың анықталған бағыт пьезоэлектрлік құбылыс байқалмайтын бағыт. Осы бағытта кристаллды деформациялайтын болсақ, поляризация болмайды. Кіріспе Z осьіне перпендекуляр кез келген қарсы жақтарды деформациялайтын болсақ, бізде электрлік поляризация пайда болады. Z осьі кристаллдың оптикалық осьі, ал X_1, X_2, X_3 – электрлік немесе пьезоэлектрлік осьтер, деп аталады.

Енді X пьезоэлектрлік осьіне перпендекуляр кесілген кварц пластинкасын қарастырайық. Z және X - ке перпендекуляр осьті X арқылы бейнелейміз. Онда X осьі бойынан пластинканы созғанда оған перпендекуляр $ABCD$ және $EFGH$ жақтарда ір аттас поляризация зарядтар пайда болады. Бұндай пьезоэлектрлік құбылыс бойлық д.а. Егер де деформация таңбасын өзгертетін болсақ яғни созудан сығуға ауысатын болсақ онда, полярлану зарядтары да керісінше өзгереді.

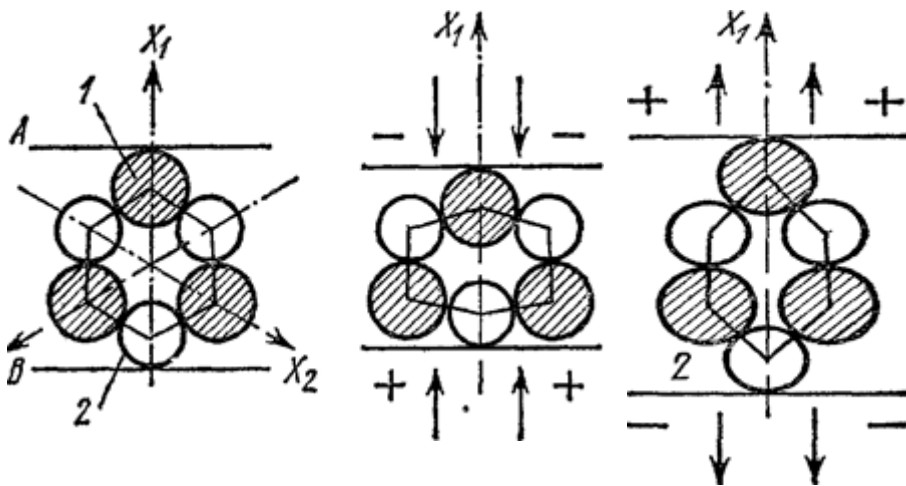


1 – сурет. Кварц кристаллы



2- сурет. Кварц пластинкасының пьезоэлектрлік оське перпендикуляр бағыт бойынша кесіндісі.

Қатты дене теориясындағы есептеулер, тәжірибелер көрсеткендей пьезоэлектрлік құбылыс кристаллдардағы элементарлық ұшықтың симметрия центрі жоқ болған жағдайда ғана пайда болады. Мысалы C_5Cl кристаллының элементарлық ұшықтары симметриялық центрлеуге ие болғандықтан бұл кристаллда пьезоэлектрлік қасиет байқалмайды. Кварцтағы 7 ұшықтағы иондардың орналасуында симметрия центрі болмағандықтан бұл кристаллда пьезоэлектриктік құбылыс пайда болуы мүмкін.



3 – сурет. Пьезоэлектрлік құбылысқа түсіндірме.

Пьезоэлектрлік қасиеттер тек қана кварцта ғана емес, басқа да әр түрлі кристаллдарда кездеседі. Бұл қасиет кварцтан қарағанда сегнет тұзында айқын байқалады. Күшті пьезоэлектриктер ретінде периодтық жүйенің 2, 6 топ элементтері қосылысын тудыратын кристаллдар жатады.

Энергия түрленуінің бағытына байланысты пьезоэлектриктер генераторлар (тура түрлену) және қозғалтқыштар (кері) болып бөлінеді. «Пьезогенераторлар» термині түрленудің тиімділігін емес тек энергия түрленуінің бағытын сипаттайды. Соңғы жылдары механикалық әсердің электр туғызатыны инженерлер мен өнертапқыштары қызықтыруда. Бұл бізге қошедегі шуылды азайта отырып, жел мен толқындардың соққысынан және көліктер мен адамдар орын ауыстырғанда түсірілетін қысымнан электр энергиясын алуға мүмкіндік береді.

1947-1949 жылдары КСРО-да А.В. Ржанов, АҚШ-та жіне В. Мэзон керамикалық сегнетоэлектрлік барий титанатының кварц моноеристаллына қарағанда, сыртқы электр өрісінің әсерінен қалдық полярлануға ие болатынын және пьезоэлектрлік қарқындылық қарсетілетінін тапты. Ал кейіннен келе полярланған күйде ұзақ уақыт сақталатын басқа да керамикалық материал түрлері ашыла бастады. Сегнетокерамикалық материалдар монокристаллдар қатарынан болмаса да, жоғары пьезоэлектрлік құбылысқа ие жаңа пьезоэлектрлік материалдар қатарына жатқызылды. Олар сегнетоэлектрлік пьезокерамиканемесе жай ғана пьезокерамика деген атауға ие болды. Бұл терминдағы пьезо сөзі грекше «пьезо» - басамын деген мағына береді. Яғни сыртқы механикалық қысым әсерінен электрлік полярлануға ие болу. Бұны – тура пьезоқұбылыс деп атайды. Ал керісінше сыртқы электр өрісі әсерінен деформациялануды кері пьезоқұбылыс дейміз.

Заттардың іргелі қасиеттерін зерттеуде мейілінше біртекті монокристалл болуы қажет. Бірақ практикалық қолданысында пьезоэлементтердің негізгі айқындауыш факторлары олардың өлшемдері, формалары және ғарапайым технолнгия, дайындалу жеңілдігі, жұмыс ітеуге қабілеттілігі болғандықтан

көбіне керамикалық материалдар өолданылады. Бұны түсіну қиын емес. Пьезоэлектрлік керамиканы монокристаллдарға қарағанда дайындау жеңілірек болады. Және де керамиканы монокристаллдар сияқты сегнетоэлектрлік қасиеттерге ие.

2.2 Пьезоэлементтердің практикада қолданысы

Қазіргі таңда бұндай энергия түрінің практикалық қолданысында бірнеше мысалдар бар. Токиодағы «Марупуги» метро станциясындағы билет алатын залда орналастырылған пьезогенератор турникеттерді басқаруға жеткілікті екенін көрсетіп отыр.

Лондонда танымал би алаңында орналастырылған пьезогенератор шамдарды қоректендіре отырып, билеушілердің ынтасын арттырады.

Бүгінгі күні қозғалтқыштағы автокөліктерден энергия алу жөніндегі ақпарат әлемдік қауымдастықты дүр сілкіндірді. Шағын израиль фирмасының зерттеушілері кең жолақты автокөлік жолының 1 км-мен қуаты SMBT дейін электр тогы алынатынын есептеп шығарды. Олар есептеп қана қоймай, жол бөлігінің 10 шақты метр бөлігіне өздерінің пьезогенераторларын орналастырған.

Пьезоэлектрикте болатын процестің физикалық тұрғыдан тереңірек қарастырып көрейік . Пьезоэлектрлік материалдарда орын алатын энергия түрленулерінің негізгі принциптерімен танысу үшін бізге тек бірнеше негізгі механизмдерді түсіну жеткілікті. Пьезоэлементке механикалық қысым түсірілген кезде материалдың симметриялық емес кристаллдық торында атомдардың орын ауыстыруы байқалады. Бұл орын ауыстыру өз кезегінде пьезоэлемент электронындағы зарядтарды индукциялайтын электрлік өрістік туғызады.

Қарапайым конденсатор қормауларында заряд уақыт сақталатын болса, пьезоэлементтегі индукцияланған зарядтар механикалық қысым әрекеті тоқтағанша ғана сақталады. Тек қана осы уақытта ғана элемент энергиясын алуға мүмкіндік бар. Механикалық қысым алынып тасталынса зарядта жойылады. Негізінен пьезоэлемент өте аз мөлшердегі және өте жоғары ішкі кедергіге ие энергия көзі.

Пьезоэлектрлік түрлендіргіштер тура және кері пьезоэлектрлік эффект болуы мүмкін материалдардан жасалады.

Тура пьезоэффект материалда кернеу туғызатын механикалық күш әсерінен пьезоэлектрик шектерінде электр зарядтарының пайда болуымен түсіндіріледі. Күш жоғалғанда зарядтар жоғалады.

Кері пьезоэффект электр өрісіне орналастырылған пьезоэлектрик өзінің геометриялық өлшемдерін өзгертуіне негізделген. Көбінесе пьезоэлектрик ретінде кварц қолданылады, соның негізіндегі түрлендіргіштің жұмыс принципін қарастырамыз.

Кварц кристаллдарында басты осьтерді ажырату қажет: электрлік X , механикалық Y және оптикалық Z (4.1-сурет). Кварц кристалынан оның шектері басты осьтерге параллель болатындай кесілген параллелепипед келесі қасиеттерге ие:

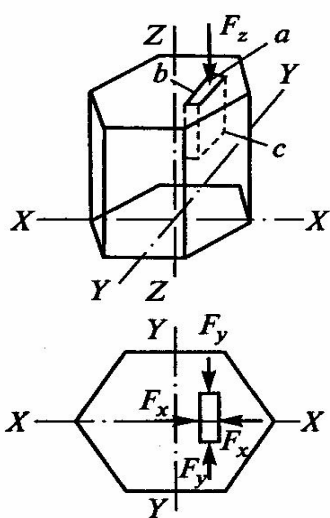


Рис. 8.1. Кристалл кварца

4.1-сурет. Кварц кристаллы

- электрлік ось X бойымен, бсшектеріндегі, осы оське перпендикуляр бағытталған күш F_x әсерінен электр зарядтары пайда болатын бойлық пьезоэффект;
- механикалық ось Y бойымен бағытталған күш F_y әсер еткенде зарядтар бс шектерінде пайда болатын көлденең пьезоэффект;
- оптикалық ось Z бойымен механикалық күш берілгенде зарядтардың болмауы.

F_x күшінің әсерінен бс кристалл шектерінде пайда болатын зарядтар шамасы кристалдың геометриялық өлшемдеріне тәуелді емес және ол мынаған тең:

$$q = d_1 F_x, \quad (4.1)$$

мұнда d_1 — пьезоэлектрлік тұрақты деп аталатын тұрақты коэффициент.

F_y күшінің әсерінен пайда болатын зарядтар шамасы кристалдың геометриялық өлшемдеріне тәуелді және ол қарама-қарсы таңбаға ие:

$$q = -d_1 F_y b/a, \quad (4.2)$$

мұнда b және a — шектердің ұзындығы мен ені.

(4.2)-ден көрініп тұрғандай қажеттілік туғанда b және a қатынасын үлкейтіп пьезоэлектриктің сезімталдығын ұлғайтуға болады.

X және Y осьтері бойымен созылмалы күштерден пайда болған зарядтар қысу күштеріне қарсы таңбаға ие. Параллел епидось бойынан емес, оларға бұрыш жасап кесілсе, пайда болатын зарядтар аз болады. Бұрышты ескеру арнайы әдебиеттерде қарастырылады.

Пьезоэлектриктер ретінде сегнеттік тұз, кварц, титанат бария қолданылады.

Сегнеттік тұздың пьезоэлектрлік сезімталдығы жоғары ($d_1 = 3 \cdot 10^{-10}$ к/Н). Алайда кемшіліктер қатары, әсіресе күшті гигроскопиялық, аз механикалық беріктілік, төмен меншікті электр кедергісі тез ауысатын күштер мен қысымды лабораториялық жағдайда өлшеу үшін ғана мүмкіндік жасайды.

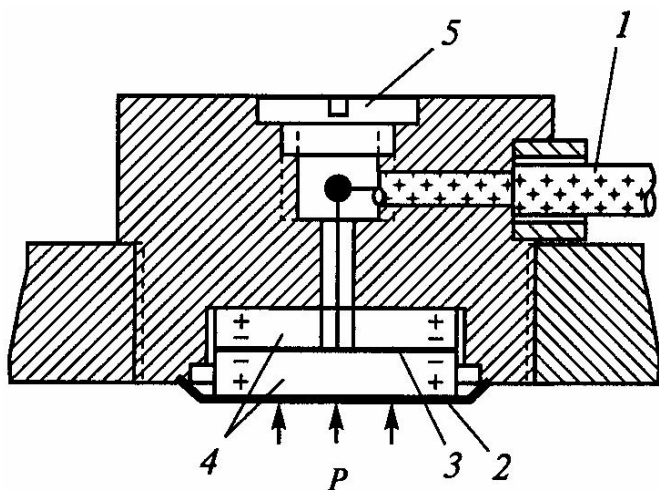
Барий титанаты керамикасы жоғары механикалық беріктікке ие және оның қасиеттері ылғалдылыққа тәуелді емес. Барий титанатының пьезоэлектрлік тұрақтысы $d_1 = 107 \cdot 10^{-12}$ к/Н. барий титанаты керамикасынан жасалған пьезоэлементтердің кемшілігі пьезоэлектрлік тұрақтының температурадан күшті тәуелділігі ($d_1 + 15 \dots + 100^\circ\text{C}$ температура аралығында аз ғана өзгереді), сондай-ақ керамика қасиеттерінің уақыт бойынша екі жылда 20 % жететін өзгеруі жатады.

Соңғы уақытта жаңа пьезокерамикалық материалдар, мысалы 200°C -қа дейінгі температурада жұмыс істей алатын қорғасын немес барий негізіндегі пьезокерамика алынған.

Өлшеу мақсатында кварц жиі қолданылады, себебі оның механикалық беріктігі жоғары, оқшаулау қасиеттері жақсы, кең диапазонда пьезоэлектрлік тұрақтысы температураға тәуелсіз (200°C -ге дейін d_1 коэффициенті температурадан тәуелсіз, ал $200 \dots 500^\circ\text{C}$ аралықта аз ғана тәуелді). Сонымен қатар, кварц гигроскопиялы емес.

Кварцтың кемшілігі – кварцтың меншікті кедергісінің температурадан тәуелділігі. $+20 \dots +300^\circ\text{C}$ аралығында температура өзгергенде кварцтың меншікті кедергісі оптикалық ось бойымен $1 \cdot 10^{12} \dots 6 \cdot 10^5$ Ом·мм²/м аралығында өзгереді.

Пьезоэлектрлік түрлендіргіш құрылғысы схемалық түрде 4.2-суретте көрсетілген. Мұнда өлшенетін қысым P түрлендіргіш корпусының түбі болып табылатын мембранаға 2 әсер етеді. Кварцтық пластиналар 4 параллель қосылған. Кварцтық пластинаның сыртқы мұқабалары жерге қосылады, ал орта мұқаба (жез фольга 3) меншікті кедергісі үлкен ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -та $\rho = 1 \cdot 10^{12}\text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$) кварцтың өзімен корпусқа қатысты оқшауланады.



4.2-сурет. Пьезоэлектрлік түрлендіргіш құрылғысы:

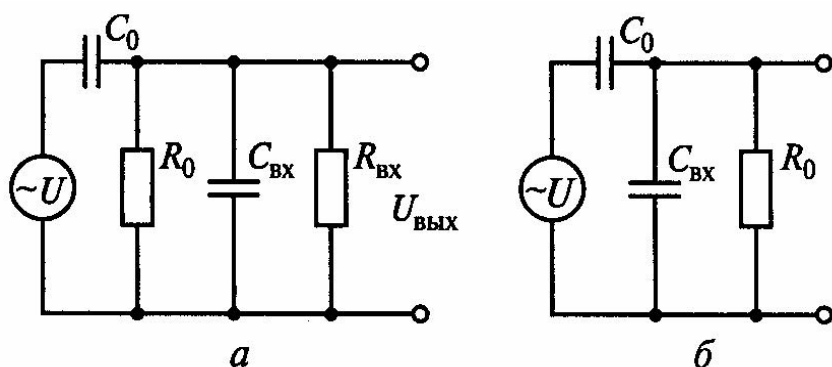
1 – сым; 2 – мембрана; 3 – жез фольга;

4 – кварцтық пластиналар; 5 – тығын

Кварцтық пластиналардан сигнал жез фольга 3 көмегімен алынады және сым 1 арқылы өлшеу күшейткішінің кірісіне беріледі. Фольга шығысын экрандалған кабельдің ішкі сымдарымен қосу ыңғайлы болу үшін түрлендіргіш корпусында тығынмен 5 жабылатын тесік қарастырылған.

P күші әсерінен пьезэлемен шектерінде пайда болатын заряд жойылу болмағанда ғана сақталады, яғни өлшеу тізбегінің кіріс кедергісі шексіз үлкен болғанда. Тәжірибе жүзінде бұл шарт орындалмайды, сондықтан да статикалық күштерді өлшеуде пьезоэлектрлік түрлендіргіштер қолданылмайды. Динамикалық, яғни уақыт бойынша айнымалы жағдайларда шектердегі электр көзінің көлемі толып отырады және тоқты өлшеу тізбегі пайдалануы мүмкін.

өлшеу тізбегінің кіріс кедергі шамасына қойылатын талап қатал сақталады, себебі пьезоэлектрлік түрлендіргіштің шығыс қуаты өте аз және түрлендіргіш шығысына шығыс кедергісі үлкен ($10^{10} \dots 10^{13}\text{ Ом}$) күшейткіш қосылуы қажет. Бұл шартты әдетте, мысалы, электрометрлік шамдар қанағаттандырады.



4.3-сурет. Пьезоэлектрлік түрлендіргіштердің эквивалент схемалары:

a — толық; *б* — ықшамдалған

толық пьезоэлектрлік түрлендіргіштердің эквивалент схемасы 4.3, а-суретте көрсетілген.

Мұнда C_0 — пьезоэлектриктің меншікті сыйымдылығы; $C_{вх}$ — сым сыйымдылығы және өлшеу тізбегінің кіріс сыйымдылығы; R_0 — жерге қатысты оқшаулау кедергісімен бірге түрлендіргіш кедергісі; $R_{вх}$ — өлшеу тізбегінің кіріс кедергісі.

4.3, б-суретте ықшамдалған эквивалент схема берілген, онда кедергі

$$R = \frac{R_0 R_{вх}}{R_0 + R_{вх}}.$$

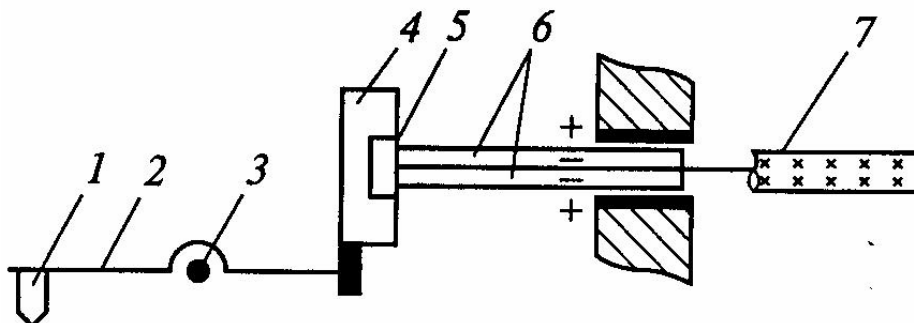
C_0 шамасы әдетте ондаған пикофарадты құрайды. Мысалы кварцтан жасалған пьезоэлектрик пластиналарының кедергі шамасы $10^{15} \dots 10^{16}$ Ом-ды құрайды. Кварцтың беттік кедергісі $10^9 \dots 10^{10}$ Ом аралығында жатады. Пьезоэлектрик беті ластанбауын қадағалау қажет, әйтпесе кедергі тез түсіп кетеді.

Пьезоэлектрлік түрлендіргіштің негізгі қателік құраушылары:

- өлшеу тізбегі параметрлерінің өзгеруінен болатын қателік (мысалы, сыйымдылық $C_{вх}$);
- пьезоэлектрлік тұрақты өзгеруімен байланысты орта температурасының өзгеруінен болатын қателіктер;
- бөліктеу кезінде ескерілетін, пластинаны дұрыс орнатпау қателігі;
- механикалық ось бойымен әсер ететін күштерге сезімталдық қателігі;
- жиіліктік қателік.

Пьезоэлектрлік түрлендіргіштер айнымалы күш, қысым, вибрациялық үдеуді өлшеуге арналған.

Пьезоэлементтерді қолдану мысалы ретінде профилометрлерді алайық - өңделетін бөлшек бетінің кедір-бұдырлығын анықтау құралы (4.4-сурет).



4.4-сурет. Профилометр құрылғысы:

1 – алмаз ине; 2 – иінағаш; 3 – ось; 4 – «ысқы»; 5 – икемді таспа; 6 – пластинкалар; 7 – экрандалған сым

Дөңгелектеу радиусы 1,5мкм қармаушы алмаз ине 1 ось 3 айналасында айналатын қозғалмалы иінағаш 2 ұштарына бекітіледі. Иінағаштың басқа ұшына икемді таспа 5 көмегімен қозғалмалы иінағашты сегнеттік тұздан жасалған пластинканың 6 еркін ұштарынмен қосатын «ысқы» 4 бар. Пластинканың басқа ұшы қозғалмайтындай бекітілген. Пластинкалар чыртқы шектерінде бір таңбалы зарядтар пайда болатындай параллель қосылған.

Алмаз ине 1 тік бағытта қозғалғанда (зерттелетін беттің кедір-бұдырлығына байланысты) пластинканың 6 бос ұшы да қозғалады, пластинкалар майысады, пластина бетінде заряд пайда болады. Иілмелі экрандалған сым 7 түрлендіргіш шектерін өлшеу тізбегімен қосады

Қорытынды

Болашақта адамзат баласының алдындағы ең келелі мәселелер қатарынан қуат көздерінің тапшылығын кездестіруіміз ешкімге де жұмбақ емес. Қазіргі сәттің өзінен - ақ баламалы қуат көздеріне деген орасан зор қызығушылықтың артуы соның дәлелі десекте болады. Дегенмен де адамның қолынан келмейтін еш нарсе жоқтығына қазір көпшілік қарсы келмейтіндей болды. Біздің өмірімізде қазірдің өзінде қаншама қуат көздері ашылып жатыр. Олардың көпшілігі адамзат игілігі үшін қызмет атқаруда.

Біздің алдымызға қойған мақсаттарымыз бойынша ғылыми жоба өз деңгейінде жасалып шықты. Жобада қарастырылған Пьезоэлектрлік құбылысына негізделген қуат көздері түрлерінің пайда болу мүмкіндіктерінің қарастырып көрдік. Бір ғасырдан артық тарихы бар пьезоэлектрлік құбылыстың, пьезоэлектрлік материалдар мүмкіндіктері жайлы көптеген мағұлматтармен таныс болдық.

Жобаны қорытындылай келе, болашақта осы пьезо құбылысқа негізделген қуат көздері түрлері пайда боларына біз нық сенімдіміз. Тек оның тиімділігін дәлелдеу үшін бізге уақыт керек. Біздің ойымызша, адамның әр-бір жүрген қадамынан энергия алу бұл – бүкіл адамзатқа берілген зор мүмкіндік. Тек осы бағытта көптеген жұмыстар жүргізілуі керек. Яғни пьезоэлектрлік материалдардың физика, химиялық қасиеттерін өзгерте отыра олардың тиімділігін арттару біздің алдымыздағы мақсат болмақ.

Пайдаланылган әдебиеттер тізімі.

1. Матаушек И., Ультразвуковая техника, пер. с нем., М., 1962; Физическая акустика, под ред. У. Мэзона, пер. с англ., т. 1, ч. А, М., 1966; Смажевская Е. Г., Фельдман Н. Б., Пьезоэлектрическая керамика, пер. с англ., М., 1971; Ультразвуковые преобразователи, пер. с англ., М., 1972; Яффе Б., Кук У., Яффе Г., Пьезоэлектрическая керамика, пер. с англ., М., 1974; Newnham R. E. и др., Connectivity and piezoelectric - pyroelectric composites, "Mat. Res. Bull.", 1978, т. 13, № 5, p. 525; Powers J. M., An emerging hydrophone technology, "IEEE Trans. Eas con's", 1979, v. 27 CH; Tiny R. Y., Evaluation of new piezoelectric composites for hydrophone, "Ferroelectrics", 1986, v. 67; Monroe D.-L., Blum J. B., Safari A., Sol-gel derived $PbTiO_3$ - polymer piezoelectric composites, "Ferroelectrics. Lett. section", 1986, v. 5, p. 39. *Р. Е. Пасынков.*

1. Шарапов В.М. , Мусиенко М.П., Шарапова Е.В. Пьезоэлектрические датчики. – М.: Техносфера, 2006.- 632 с.

2. Джагулов Р.Г., Ерофеев А.А. Пьезоэлектронные устройства вычислительной техники, систем контроля и управления: Справочник.- СПб.: Политехника, 1994.- 608 с.

3. И.А. Глозман Пьезокерамика.- М.: Энергия.- 1972.- 288с.

4. К. Окаузаки Технология керамических диэлектриков.- Нано и микросистемная техника. №3. 2008. стр34-41.

5. Лавриненко В.В., Карташев И.А., Вишневский В.С. пьезоэлектрические двигатели.- М.: Энергия, 1980,- 110 с.

6. Никольский А.А. Точные двухканальные следящие электроприводы с пьезокомпенсаторами. – М.: Энергоатомиздат, 1988.- 160 с.

7. Бобцов А.А., Быстров С.В., Бойков В.И., Бушуев А.Б., Григорьев В.В. Пьезоэлектрический привод.- Патент на полезную модель № 87043 рег.20 сентября 2009.
8. Бойков В.И., Быстров С.В., Григорьев В.В., Карташев Р.А. Система управления положением сегментов составного зеркала адаптивного телескопа.- Известия ВУЗов Приборостроение, том 47, №8, 2004, с.67-69.
9. Бойков В.И., Быстров С.В., Григорьев В.В., Обертов Д.Е. Пьезопривод на основе тонкопленочного пакетного пьезоактюатора.- Изв.вузов. Приборостроение. 2009.Т.52, №11.С.72-77.
10. Бобцов _____ А.А., Быстров С.В., Бойков В.И., Бушуев А.Б., Григорьев В.В. Устройство для испытания пьезоэлектрического привода и его элементов. Патент на полезную модель №76138, рег. 10.09.2008.