НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ФІЗИКИ

На правах рукопису

ЛЕВАШ ЛЕОНІД ВАСИЛЬОВИЧ

ТРЕТИННИЙ ПІРОЕЛЕКТРИЧНИЙ ЕФЕКТ В АЦЕНТРИЧНИХ КРИСТАЛАХ

01.04.07 – фізика твердого тіла

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
дисертації на здобуття вченого ступеня кандидата фізико-математичних наук

Київ – 1994

ЛННБ України ім.В.Стефаника
00778752 (-)

Дисертація є рукоп...
Робота виконана в І...

Наукові керівники: доктор технічних наук, професор Кременчугський Лев Самсонович

кандидат технічних наук Косоротов Віктор Филипович

Офіційні опоненти: доктор фізико-математичних наук, професор Островський Ігор Васильович

доктор фізико-математичних наук, професор Пучківська Галина Олександрівна

Провідна організація: Інститут монокристалів НАНУ, м.Харків

Захист відбудеться "23" червня 1994 року на засіданні Спеціалізованої вченої ради К 016.04.01 в Інституті фізики НАНУ (252650, ДСП, Київ-22, Пр.Науки,46).

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Інституту фізики НАНУ.

Автореферат розісланий "23" 05 1994р.

Вчений секретар
Спеціалізованої вченої ради Пржонська О.В.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

АВ-30.400

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Інтенсивний розвиток лазерної техніки супроводжується значним збільшенням вимог до апаратури, яка контролює енергетичні та часові параметри потужних лазерів. При вимірюванні параметрів лазерів, працюючих в ІЧ-діапазоні, піроелектричні перетворювачі зарекомендували себе більш придатними ніж інші приймачі оптичного діапазону. Опромінення піроактивних кристалів потужним лазерним випромінюванням супроводжується сильним нагріванням всього кристалу та виникненням в його об"ємі неоднорідних теплових полів, які приводять до зміни фізичних властивостей піроелектрика, що обмежує зверху динамічний діапазон вимірювань піроелектричними перетворювачами. В зв"язку з цим виникає актуальна задача пошуку нових фізичних принципів побудови піроелектричних перетворювачів, які б могли працювати в несприятливих теплових умовах. В цьому відношенні особливу увагу привертає до себе недостатньо вивчений третинний піроелектричний ефект (ТПЕ), який вносить вклад в піроелектричний сигнал якраз за рахунок наявності неоднорідних температурних полів у кристалах.

Перспективність використання ТПЕ при створенні нових типів перетворювачів випромінювання базується на властивих цьому ефекту фізичних особливостях об"емного розподілу поляризації, що дозволяє провести просторовий розділ опроміненої області кристалу та області, в якій відбувається генерація електричного сигналу. Це відкриває можливість використати в якості піроелектричних перетворювачів багатошарової структури, у котрих оптичні, електричні, теплові та механічні властивості кожного шару вибираються оптимальними для виконання своєї функції. Крім того, неоднорідне теплове збудження змінює симетрію кристалу І внаслідок цього з"являється можливість використати в якості піроелектричних матеріалів п"єзоелектричні кристали, що раніше принципово не розглядались, серед яких є кристали, що суттєво перевищують своїми основними оптичними параметрами кращі піроелектрики.

В зв"язку з цим актуальним науковим завданням є проведення комплексних досліджень фізичних закономірностей піроелектричних явищ, що з"являються в ацентричних кристалах або багатошарових структурах з цими кристалами при неврівноважених теплових умовах.

Метою даної праці є комплексне вивчення фізичного механізму виникнення піроелектрики в ацентричних кристалах, що знаходяться в неврівноважених теплових умовах, створюваних за рахунок поглинання кристалом лазерного випромінювання.

В зв"язку з поставленою метою вирішувались наступні завдання:

- розвиток методики дослідження піроелектричного ефекту в ацентричних кристалах, що знаходяться в неврівноважених теплових умовах;
- дослідження вигляду просторового розподілу третинної компоненти поляризації в залежності від кристалографічного класу, типу його зрізу і умов поглинання випромінювання;
- дослідження інерційних властивостей ТПЕ;
- дослідження ТПЕ в багатошарових структурах;
- створення нових приймачів випромінювання, в основі роботи яких лежить використання ТПЕ.

Об"єкти досліджень. Для досягнення поставленої мети використовувались ацентричні кристали, що належать до різних кристалографічних класів з різними орієнтаціями: X, Y і Z – зрізи $LiNbO_3$, Y і Z – зрізи кварцу, Y – зріз ТГС, легованого L-d-аланіном.

Наукова новизна. Вперше зареєстрований піроелектричний сигнал, викликаний поперечним ТПЕ, і визначений максимальний внесок ТПЕ в загальний сигнал для кристалів $LiNbO_3$ і ТГС у випадку поверхневого поглинання. При цьому встановлено, що розподіл третинної компоненти поляризації по товщині кристалу має складний знакозмінний вигляд і якісно можна виділити три області, знак поляризації в яких постійний.

Виявлено, що ТПЕ може проявлятися в ацентричних класах кристалів, при цьому в піроелектричних класах ТПЕ може спостерігатись і в напрямках, перпендикулярних особливій полярній осі. При цьому показано, що вигляд розподілу третинної компоненти поляризації залежить не тільки від напряму, вздовж якого спостерігається ТПЕ, а і від типу грані, що піддаються опроміненню.

Установлено, що область рівномірної частотної характеристики ТПЕ визначається з боку низьких частот дифузійною сталою часу кристалу, а з боку високих частот – значенням частоти найменшого електромеханічного резонансу, що виникає в об"ємі кристалу.

Розроблена високочутлива методика вимірювання поперечного ТПЕ в прозорих кристалах.

Вперше експериментально показано, що в одному й тому ж зрізі ацентричного кристалу одночасно може спостерігатися повздовжний та поперечний ТПЕ.

Наукова та практична цінність визначається рядом нових принципових результатів:

- зареєстрована і визначена величина найбільшого внеску третинної компоненти поляризації в загальний піроелектричний сигнал в кристалах $LiNbO_3$ і ТПЕ;
- зареєстрований третинний піроелектричний ефект в кристалах SiO_2;
- установлений розподіл третинної компоненти поляризації по товщині кристалу і її залежність від полярного кута для різних кристалографічних класів і типів їх зрізів;
- зареєстровано одночасне існування в кристалі повздовжнього та поперечного ТПЕ.

Практична цінність роботи полягає в виявленій принциповій можливості практичного використання всіх ацентричних кристалів для створення нових піроелектричних приймачів випромінювання, що , в свою чергу, дозволяє створити ряд нових приймачів випромінювання з покращеними основними технічними характеристиками. Більш того, на основі проведених досліджень властивостей ТПЕ створений новий клас пристроїв – багатофункціональні приймачі випромінювання, від чого якісно розширилось коло завдань, що розв"язуються за допомогою приймачів випромінювання.

Положення, що виносяться на захист

1. Розподіл величини третинної компоненти поляризації по об"єму кристалу має знакозмінний характер, при цьому середнє значення третинної компоненти поляризації кристалу дорівнює нулю.

2. Методика вимірювання поперечної компоненти ТПЕ в прозорих кристалах, створена на використанні випромінювання з довжиною хвилі, що знаходиться в області сильного поглинання кристалу по об"єму.

3. Інерційні властивості ТПЕ, залежні від характеру поглинання падаючого випромінювання, в випадку поверхневого поглинання визначаються тепловими, пружними та геометричними харак-

теристиками кристалу, при цьому межа рівномірної частотної характеристики з боку низьких частот визначається дифузійною постійною часу кристалу, а з боку високих частот – значенням частоти першої гармоніки електромеханічного резонансу кристалу.

4. Просторовий розподіл поперечної третинної компоненти поляризації в кристалах класу $3m$ характеризується високим ступенем неоднорідності і визначається видом і взаємною орієнтацією кристалографічних зрізів, використовуваних в якості опроміненої грані і грані, на якій реєструється ефект.

5. Конструкції принципово нових приймачів випромінювання, працюючих на основі третинного піроелектричного ефекту, призначені для вимірювання енергетичних і часових параметрів потужних лазерів.

Особистий внесок автора полягає в розробці методик вимірювань, отриманні оригінальних експериментальних результатів та їх інтерпретації, а також,спільно з співавторами, в розробці конструктивних вузлів нових піроелектричних приймачів випромінювання. Положення, що відносяться до теорії ТПЕ, отримані співавторами дисертації.

Апробація роботи. Основні результати роботи і висновки дисертації апробовані на слідуючих конференціях і семінарах: XI Всесоюзной конференции по физике сегнетоэлектриков (Черновцы, 1986); XIII Конференции по физике сегнетоэлектриков (Тверь,1992); II Всесоюзной конференции "Актуальные проблемы получения и применения сегнето– и пироэлектрических материалов и их роль в ускорении научно-технического прогресса (Москва,1987); IУ Всесоюзной конференции "Актуальные проблемы получения и применения сегнето–, пьезо–, пироэлектриков и родственных им материалов (Москва,1991); IУ Всесоюзном семинаре по тепловым приемникам излучения (Москва, 1984); УI Всесоюзном семинаре по тепловым приемникам излучения (Москва,1988); УП Всесоюзном семинаре по тепловым приемникам излучения (Москва,1990); Семинаре по тепловым приемникам излучения (Москва,1992); Российской национальной конференции "Лазерные технологии-93)"(Шатура,1993).

По темі дисертації опубліковано 25 робіт, одержано 8 авторських свідоцтв на винахід.

Об"єм і структура дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, бібліографії з 68 най-

менувань і додатку. Вона містить 137 сторінок машинописного тексту та 50 малюнків.

Зміст роботи

У Вступі дано обгрунтування актуальності теми і вибору об"єктів дослідження, визначена мета роботи, показана її наукова новизна і практична цінність, а також викладені основні положення, що виносяться на захист, і описана загальна структура роботи.

В першому розділі даний короткий огляд основних робіт, присвячених ефектам виникнення поляризації в механічно вільних кристалах і визначено місце, зайняте серед них ТПЕ. В цьому ж розділі приведена теорія ТПЕ, розроблена Косоротовим В.Ф. та Щедріною Л.В., а також експериментальні результати дослідження закономірностей розподілу поляризації по товщині вільного ацентричного кристалу і вплив на нього граничних умов. При побудові теорії ТПЕ розглядається механізм появи пружних неоднорідних деформацій та напруг в механічно вільному ацентричному кристалі, що виникають в наслідок його нагрівання імпульсним випромінюванням з довжиною хвилі, яка лежить в області поглинання кристалу (випадок $\mu l \gg 1$, де μ – коефіцієнт поглинання, l – товщина кристалу). П"єзоелектрична поляризація, обумовлена цими напругами, і є ТПЕ.

При побудові теорії вважалось, що вплив зворотнього п"єзоелектричного ефекту малий і, отже, його можна було не враховувати. Також вважається, що одна з граней кристалу, виготовленого в формі паралелопіпеда, опромінюється рівномірно імпульсами випромінювання, тривалість (τ_i) котрих відповідає умовам: $l/v \ll \tau_i \ll l^2/a$, де: v – швидкість звуку в кристалі, a – коефіцієнт температуропровідності.

Використання введених наближень дозволило встановити розподіл величини третинної компоненти поляризації вздовж товщини кристалу. Цей розподіл характеризується наявністю трьох областей поляризації, в кожній з яких знак третинної компоненти поляризації постійний. При цьому середня по об"єму величина третинної компоненти поляризації дорівнює нулю. Поверхні зміни знаку поляризації (нейтральні поверхні) розташовуються на відстані $\mu^{-1}\ln(\mu l/4)$ і $2/3\,l$ від опроміненої грані. Зважаючи на те, що товщина області поляризації, яка прилягає до оп-

ромінюваної грані, мала (≈ 0,1 мм), а величина третинної компоненти поляризації по порядку величини співпадає з відповідними величинами в інших областях, в подальшому розгляді, в кристалі будуть виділятись тільки дві області поляризації. Першу, що займає 2/3 ℓ об"єму кристалу і прилягає до опромінюваної грані, будемо називати "гарячою" областю, а другу – "холодною".

Вимірювання, проведені при опромінюванні У-зрізу $LiNbO_3$ імпульсним випромінюванням від CO_2-лазера показали, що в напрямі OX_3 в "гарячій" та "холодній" областях генеруються різнополярні сигнали. Сигнал в "гарячій" області генерується за рахунок первинного, вторинного та третинного піроелектричних ефектів, а в "холодній" – тільки за рахунок ТПЕ. Виходячи з цього було встановлено, що внесок поперечного ТПЕ в загальний піроелектричний сигнал, що знімається з "гарячої" області, в $LiNbO_3$ становить 20 % . Теоретично оцінка величини цього вкладу становить 22 %, що знаходиться в хорошій відповідності з експериментальними результатами. Аналогічні вимірювання, проведені на кристалах ТГС, легованих ℓ-ℓ-аланіном, показали, що в цих кристалах внесок ТПЕ в загальний піроелектричний сигнал "гарячої" області становить 21 % .

Вимірювання розподілу третинної поляризації по товщині проводилось на кристалах $LiNbO_3$ кубічної форми з орієнтацією ХУ (перша буква показує тип зрізу опромінюваної грані, а друга – тип зрізу граней , на яких розташовані електроди). Розташування системи електродів на У-грані дало можливість виділити в чистому вигляді третинну компоненту поляризації, тому що в напрямі OX_2 первинний і вторинний піроелектричні ефекти з симетрійних міркувань заборонені. З одержаних результатів виходить, що площина розподілу між "гарячою" та "холодною" областями поляризації знаходиться від опромінюваної грані на відстані 0,58 ℓ. В цей же час теорія для цього випадку передбачає величину 0,66 ℓ . Ця різниця між теорією і експериментом пояснюється використанням в експерименті зразків у вигляді "товстої" пластинки, в той час як теорія побудована для випадку використання тонкої пластинки. Але, приймаючи до уваги, що відмінність мала (не більше 12 % від теоретичної оцінки), можна вважати заміну допустимою і, отже, констатувати практично повне співпадання експериментальних результатів з теоретичними розрахунками.

На монокристалах ТГС і вивчався вплив граничних умов на ве-

личину внеску ТПЕ в загальний піроелектричний сигнал, а також на розподіл поляризації вздовж товщини кристалу. Вимірювання проводилось при слідуючих граничних умовах: 1) вільний кристал; 2) повністю затиснута тильна грань; 3) повністю затиснута тильна грань та частково, на товщину "холодної" області вільного кристалу, бокові грані . Встановлено, що затискування тильної грані зменшує, в порівнянні з вільним кристалом, внесок ТПЕ в спільний піроелектричний сигнал з 21 % до 6 %. тобто більш ніж в три рази. Зміна граничних умов приводить також до зміни розподілу поляризації вздовж товщини кристалу. Це найбільш явно проявилось в зсуві точки зміни знаку поляризації в бік тильної грані. Так, в першому випадку, ця точка знаходилась на відстані 0,60 ℓ від опромінюваної грані, в другому – 0,64 ℓ , а в третьому – 0,88 ℓ . При цьому, збільшення ступеню затиснення кристалу одночасно приводить до зменшення величини третинної компоненти поляризації в тильній частині кристалу та зменшення загальної поляризації в області, що прилягає до опромінюваної грані.

<u>В другому розділі</u> приводяться результати досліджень інерційних властивостей ТПЕ в сендвічних системах, а також розглянуті питання, зв"язані з розподілом третинної компоненти поляризації вздовж різних кристалофізичних напрямків в кристалах, що належать до класу $3m$.

Виділення "холодної" та "гарячої" областей поляризації дозволяє розглядати кристал як складений з двох незалежних шарів, кожний з яких визначеним способом механічно взаємодіє з деяким тілом, що розташоване по другий бік нейтральної поверхні. Такий підхід дозволяє перенести результати досліджень ТПЕ, отримані для монокристалів, на більш складні двохшарові системи. Для цього досить забезпечити незмінність місцезнаходження нейтральної поверхні по відношенню до шару монокристалу, що залишається.

Інерційні властивості ТПЕ в "холодній" області кристалу досліджувались в сендвічній структурі типу "діелектрик–сегнетоелектрик" (опромінювана скляна пластинка товщиною I мм –пластинка товщиною I мм виготовлена з $LiNbO_3$, орієнтація YZ). Ця структура опромінювалась імпульсами з параметрами: $\lambda_{випр.}$ = =I0,6 мкм, τ_i = I50 нс, E = 70 мДж. Така методика дозволяла отримувати піроелектричний відгук системи, зумовлений ТПЕ, з

повною гарантією відсутності маскуючого впливу будь-яких ефектів, що мають іншу природу. Проведені вимірювання виявили, що початок піроелектричного відгуку сендвічної структури відстає на 400 нс відносно моменту падіння на неї імпульсу випромінювання. Аналіз пружних властивостей та геометричних розмірів з врахуванням вимірюваного часу затримки показує, що інерційні властивості ТПЕ в "холодній" області кристалу визначаються відношенням товщини "гарячої" області кристалу до швидкості звуку в ній же.

Використання сендвічних структур "сегнетоелектрик–сегнетоелектрик", складених з одного й того ж матеріалу, дозволяє збільшити коло явищ, що спостерігаються в сегнетоелектриках. Так, використання структури, складеної з двох тонких дисків, виконаних з Z -зрізів $LiNbO_3$, на які попередньо були нанесені електроди, дозволило вперше зареєструвати повздовжній ТПЕ, що не спостерігається в суцільних монокристалах при умові рівномірного по площі їх опромінення. В цій же структурі з"являється можливість зареєструвати згинні коливання, що виникають в вільній пластинці, виконаній з ацентричного кристалу. Показано, що на амплітудно-частотній характеристиці з"являються резонанси, викликані резонансами згинних коливань всієї пластинки. Ці резонанси і обмежують область рівномірної частотної характеристики ТПЕ з боку високих частот.

Для вивчення розподілу третинної компоненти поляризації вздовж різних кристалографічних напрямків використовувались кристали $LiNbO_3$, що піддавались локальному нагріву. Кристали мали форму паралелепіпеду розміром $8{,}0 \times 8{,}5 \times 9{,}0$ мм^3, бокові площини якого були відносно перпендикулярні до кристалографічних напрямків OX_1, OX_2 та OX_3. Роздільні електроди покривали "холодну" та "гарячу" області кристалу. З проведених вимірювань випливає, що розподіл третинної компоненти поляризації в кристалах з симетрією $3m$ має складний знакозмінний характер. При цьому спостерігаються такі закономірності:

– для всіх орієнтацій (ZY, XY, ZX, YX), в котрих ТПЕ спостерігається в напрямку перпендикулярному особливій полярній осі, розподіли поляризації в "холодній" та "гарячій" областях однієї й тієї ж орієнтації, тотожні по формі і протилежні по знаку;

– для орієнтацій XZ та YZ, в котрих ТПЕ спостерігається в

напрямку вдовж особливої полярної осі, характерна поява постійної складової поляризації в "гарячій" області, зумовленої проявом первинного та вторинного піроелектричних ефектів;
– для п"яти з шести можливих орієнтацій характерна незмінність виду розподілу третинної компоненти поляризації від координати падіння зондуючого променя вдовж напряму, паралельного площині сигнальних електродів (виняток – орієнтація Zy);
– орієнтація XУ є єдиною, у якій неоднорідність розподілу третинної компоненти поляризації в центральній частині кристалу слабо виражена, і в цілому не носить знакозмінний характер.

Аналіз проведених вимірювань дозволяє зробити висновок, що для монокристалів з симетрією $3m$ розподіл третинної компоненти поляризації, на відміну від первинної та вторинної компонент, визначається видом та взаємною орієнтацією зрізів, які використовуються в якості опроміненої грані та грані, на якій спостерігається ефект.

Третій розділ присвячений вивченню особливостей виникнення та прояву ТПЕ в прозорих ($0<\mu l\ll 1$) кристалах. В цьому випадку неоднорідні механічні напруги, що викликають появу ТПЕ, виникають в разі нерівномірного опромінювання фронтальної поверхні кристалу за рахунок затиснення холодною частиною кристалу ділянки цього ж кристалу, що нагрівається. Зокрема розглянуто випадок, коли зразок у формі диску (циліндру) опромінюється вісесиметричним пучком випромінювання, причому, вісь пучка співпадає з віссю зразка.

Для поперечного ТПЕ встановлені кристалографічні класи і типи нормальних зрізів, в яких можливо його спостереження. Це Z-зрізи класів $3m$, 32, $\bar{6}$, У-зрізи класів 32, $\bar{6}$, $\bar{4}$ та Х-зрізи класів $\bar{6}$, $\bar{4}$. В загальному випадку вид розподілу електростатичного потенціалу $V(\varphi)$, викликаного ТПЕ на боковій поверхні диску, визначається трьома параметрами: кристалографічним класом кристалу, типом його зрізу та величинами п"єзомодулів. Проте для Z-зрізів класів $3m$ та 32, У-зрізів класів 32 та $\bar{6}$, а також для Х-зрізу класу $\bar{6}$ вид розподілу електростатичного потенціалу $V.(\varphi)$ не залежить від значень п"єзомодулів конкретного кристалу. В цих випадках поведінка кутової залежності $V(\varphi)$ визначається тільки значенням величини полярного кута φ і описуються виразами двох типів: $V^{I}(\varphi)\sim \sin\varphi(4\cos^2\varphi-1)$ та $V^{II}(\varphi)\sim \sin\varphi\cdot\cos^2\varphi$.

Для вимірювання поперечного ТПЕ в прозорих кристалах була розроблена нова високочутлива методика, що базується на ефекті поперечного екранування поляризації з використанням амплітудно-модульованого ($f_{мод} < a/\pi l^2$) випромінювання з довжиною хвилі, що лежить в області поглинання ($\mu l \gg 1$) кристалу. Кутова залежність поперечного ТПЕ досліджувалася на зразках, що мали форму диску, на які було нанесено 25 електродів. З них 24 - сигнальних, були нанесені на бокову поверхню диску з кутовим інтервалом в 15°, а спільний - по центру тильної основи диску. Причому його діаметр був значно більшим ніж товщина диску.

Експериментальні дослідження поперечного ТПЕ проводились на Z-зрізах кристалів $LiNbO_3$ та SiO_2, а також У-зрізі SiO_2. Всі використані зразки мали форму дисків діаметром 22 мм і з товщиною 0,2 мм. Показано, що в Z-зрізах $LiNbO_3$ та SiO_2 поведінка кутової залежності електростатичного потенціалу описується виразом $V^{I}(\varphi)$, а в У-зрізі SiO_2 - виразом $V^{II}(\varphi)$.

Вивчення повздовжнього ТПЕ проводилось на монокристалах $LiNbO_3$ (Z-зріз). Показано, що в Z-зрізах кристалів кристалографічного класу $3m$ для регістрації повздовжнього ТПЕ необхідно наносити два конгруентні електроди, виконані у вигляді кілець, що покривають неопромінювану частину кристалу. Проведені вимірювання показали, що при зміні частоти модуляції падаючого випромінювання в діапазоні 20÷200 Гц сигнал, що спостерігається, не змінює свого значення. Це свідчить про третинну природу піроелектричного сигналу, бо для первинної та вторинної компонент піроелектричного ефекту при даній конфігурації електродів та схеми опромінювання в загальному випадку, характерна падаюча частотна залежність сигналу. Більш того, у випадку, що розглядається, з врахуванням розмірів пучка випромінювання та електродів, первинна та вторинна компоненти не можуть давати внесок в сигнал, що спостерігається.

<u>В четвертому розділі</u> приведені результати розробок нових конструкцій піроелектричних приймачів випромінювання, в основу роботи яких покладений ТПЕ.

Робота приймача випромінювання поперечного типу грунтується на використанні піроелектричного сигналу, генерованого в "холодній" області кристалу. Перевага такого приймача перед приймачами, працюючими на первинному та вторинному піроелектричних ефектах, полягає в тому, що в ньому область генерації

електричного сигналу не збігається з областю, що зазнає нагрівання. Це приводить до підвищення верхньої межі динамічного діапазону по потужності, тому що нелінійні піроелектричні та діелектричні явища, що звичайно обмежують її, в "холодній" області не розвиваються. Вимірні основні технічні характеристики такого приймача, виконаного на основі ХУ-орієнтації кристалу $LiNBO_3$. При цьому експериментально показано, що область лінійності частотної характеристики визначається нерівностями: $20\ a/\ell^2 \leq f \leq 0{,}1\ v/\ell$.

Використання характерної для ТПЕ властивості – поділу кристалу на дві області ("холодну" та "гарячу") – дозволило створити багатофункціональний приймач, за допомогою якого можливо одночасно і незалежно один від другого робити вимірювання енергії та потужності падаючого на приймач імпульсу випромінювання. Це досягається шляхом підключення "гарячої" області до узгоджувального каскаду, працюючого в режимі вимірювання потужності, а "холодної" – в режимі інтегрування, тобто вимірювання енергії. Вимірні основні технічні характеристики цього приймача, виконаного на основі ХУ – орієнтації кристалу $LiNBO_3$.

На основі сендвічної основи "діелектрик-сегнетоелектрик" створений двохшаровий приймач випромінювання. Переваги такого приймача перед приймачем випромінювання поперечного типу полягає в тому, що в ньому немає ніяких обмежень на тип матеріалу, з якого виготовлена опромінювана частина ("гаряча" область) приймача. Така відсутність обмежень дозволяє різко розширити можливості приймача як з боку його спектральних характеристик, так і з точки зору променевої міцності. Проблема кріплення приймача розв"язується шляхом розташування опорної мембрани між шарами визначеної товщини. Одержано критерій вибору товщини шарів. Виготовлено два варіанти приймачів. Перший варіант: плавлений кварц – мембрана з фторопласту-3-ТТС, призначений для вимірювання потужності випромінювання коротких імпульсів. Другий варіант: плавлений кварц-мідна мембрана- $LiNBO_3$, призначений для регістрації потужного випромінювання.

Для випромінювання параметрів потужних ІЧ-потоків випромінювання в різних точках оптичних систем сформульовані загальні принципи створення приймачів випромінювання прохідного типу, працюючих на основі ТПЕ. Використання такого приймача в оптичній схемі приладу рівноцінне використанню тонкої прозорої плос-

копаралельної пластинки, що практично не вносить викривлень в оптичну схему досліджуваного або контрольного пристрою. Один з можливих варіантів прохідного приймача був реалізований на основі У-зрізу кварцу. Вимірані основні технічні характеристики цього приймача.

Основні результати та висновки

I. Показано, що ТПЕ проявляється в механічно вільному ацентричному кристалі в випадку виникнення неоднорідних температурних напружень, які за рахунок п"єзоелектричного ефекту приводять до появи піроелектричного відгуку. Для ТПЕ характерне одночасне існування в об"ємі кристалу декількох областей поляризації, що відрізняються між собою знаком поляризації, при цьому середня по об"єму величина поляризації рівна нулю.

2. Вперше проведена реєстрація ТПЕ при опроміненні кристалу імпульсом ($\mu(a\tau)^{1/2}\ll 1$) випромінювання. Виміряно розподіл відносної величини третинної компоненти поляризації по товщині кристалів $LiNbO_3$ та ТІС. Встановлено, що внесок ТПЕ в загальний піроелектричний сигнал в кристалах $LiNbO_3$ може досягати 20 % , а в ТІС – 21 %.

3. На прикладі $LiNbO_3$ експериментально показано, що в сегнетоелектриках ТПЕ характеризується рядом принципових особливостей, не властивих для первинного та вторинного піроелектричних ефектів. Це, по-перше, можливість спостереження ТПЕ як вздовж особливої полярної осі, так і в напрямку, перпендикулярному їй, і , по-друге, залежність розподілу поляризації вздовж різних кристалофізичних напрямків не тільки від типу граней, на котрих спостерігається ефект, а й від типу грані, що піддається опроміненню.

4. Експериментально показано, що для випадку двохшарової системи достатньою вимогою реєстрації ТПЕ є виконання "холодної" частини системи з певним образом орієнтованого ацентричного кристалу. При цьому, інерційні властивості ТПЕ в "холодній" області кристалу визначаються відношенням товщини "гарячої" області кристалу до швидкості звуку в ній.

5. В Z-зрізі $LiNbO_3$ зареєстровано наявність повздовжньої третинної компоненти поляризації і показано, що на амплітудно-частотній характеристиці з"являються резонанси піроструму, викликані резонансами згинних коливань вільної пластинки.

6. Запропонована нова високочутлива методика вимірювання

поперечного ТПЕ в прозорих кристалах, яка базується на ефекті поперечного екранування поляризації з використанням амплітудно-модульованого ($f_{мод} < a/\pi\ell^2$) випромінювання з довжиною хвилі, що лежить в області поглинання ($\mu\ell \gg 1$) кристалу.

7. В прозорих кристалах для поперечного ТПЕ визначені кристалографічні класи на їх нормальні зрізи, в котрих вид розподілу потенціалу не залежить від конкретних значень п"єзомодулей кристалу і описується двома видами кутових залежностей: $V^{I} \sim \sin\varphi \cdot (4\cos^2\varphi - 1)$ та $V^{II} \sim \sin\varphi \cdot \cos^2\varphi$. На прикладі Z-зрізів $LiNbO_3$ та SiO_2 виміряні кутові залежності потенціалу типу V^{I}, а на прикладі Y-зрізу SiO_2 – типу V^{II}.

8. Вперше запропоновано ряд конструкцій піроелектричних приймачів випромінювання, працюючих на основі ТПЕ. Використання нових приймачів дозволило:
- значно збільшити верхню межу динамічного діапазону приймачів випромінювання та розширити їх робочий спектральний діапазон (приймачі випромінювання поперечного типу, двохшарові та прохідні);
- окремо підбирати матеріали для грані, що опромінюється та для області генерації сигналу, що збільшує можливості варіювання робочого спектрального діапазону приймача та його променевої стійкості (двохшаровий приймач випромінювання);
- створений новий клас приймачів випромінювання, що мають можливість проводити комплексні вимірювання параметрів імпульсного випромінювання (багатофункціональний приймач поперечного типу).

Основні результати дисертації, викладені в наступних працях:

1. Косоротов В.Ф., Кременчугский Л.С., Леваш Л.В., Щедрина Л.В. Исследование пироэлектрического эффекта в условиях температурного градиента // Физика твердого тела. – 1984. – Т.26, № 3. – С.888-890.
2. Косоротов В.Ф., Кременчугский Л.С., Леваш Л.В., Щедрина Л.В. Третичный пироэлектрический эффект // Препринт № 9, ИФ АН УССР, Киев: – 1984, 27с.
3. Kosorotov V.F., Kremenchugskij L.S., Levash L.V., Shchedrina L.V. Tertiary Pyroelectric Effect in Lithium Niobate and Lithium Tantalate Crystals//Ferroelectrics – 1986, V.70, № 1-2.– P. 27-37.

4. Косоротов В.Ф., Кременчугский Л.С., Леваш Л.В., Щедрина Л.В. Пироэлектрический эффект сегнетоэлектрических кристаллов в направлениях, перпендикулярных особенной полярной оси // Известия АН СССР, сер.физическая - 1987, Т.51, № 12 . - С.2233-2238.
5. Косоротов В.Ф., Леваш Л.В., Щедрина Л.В. Исследование пироэлектрического приемника излучения в режиме неоднородного температурного нагрева // Сб.Тепловые приемники излучения.- 84. - Л.: Изд.ГОИ. 1983. - С.67.
6. Вакуленко О.В., Головинская Л.С., Леваш Л.В. и др. Оптические свойства двухслойных систем: никель-хромовая пленка-ниобат лития // Журнал Прикладная спектроскопия - 1989, Т.51; № 1. - С.140-143.
7. Вакуленко О.В., Елфимов О.В., Леваш Л.В. и др. Спектральная чувствительность пироэлектрических приемников излучения // Известия вузов, физика - 1990, - вып.3. - С.106-108.
8. Косоротов В.Ф., Леваш Л.В., Щедрина Л.В. Исследование третичного пироэлектрического эффекта // XI Всесоюзная конференция по физике сегнетоэлектриков: Тезисы докладов. Черновцы, 1986, Т.2. - С.226-227.
9. Косоротов В.Ф., Леваш Л.В., Щедрина Л.В. Использование неполярных срезов сегнетоэлектрических кристаллов для создания пироэлектрических приемников излучения // В сб. Сегнето- и пьезоэлектрики в ускорении научно-технического прогресса. - - М. МДНТП, 1987. - С.132-135.
10. Косоротов В.Ф., Кременчугский Л.С., Леваш Л.В. и др. Пироэлектрический приемник излучения поперечного типа. Авторское свидетельство № 1324412.
11. Косоротов В.Ф., Кременчугский Л.С., Леваш Л.В., Щедрина Л.В. Динамический третичный пироэлектрический эффект и его инерционные свойства // РАН. Неорганические материалы. - 1992, - 28, № 9. - С.1981-1987.
12. Косоротов В.Ф., Кременчугский Л.С., Леваш Л.В., Щедрина Л.В. Инерционные свойства приемников излучения на третичном пироэлектрическом эффекте // тезисы докладов IУ Всесоюзной конференции "Актуальные проблемы получения и применения сегнето-, пьезо-, пироэлектриков и родственных им материалов" М.: МДНТП, 1991. - С.5

13. Косоротов В.Ф., Кременчугский Л.С., Леваш Л.В., Щедрина Л.В. Резонансные свойства пьезоэлектрического приемника излучения // В сб. Тепловые приемники излучения-92. Л.: ГОИ, 1992. - С.60-61.
14. Косоротов В.Ф., Леваш Л.В., Щедрина Л.В. Инерционные свойства пироэлектрического эффекта в многослойных системах // Тезисы докладов XII Конференции по физике сегнетоэлектриков. - Тверь: ТГУ, 1992. - Т.2 , С.15.
15. Косоротов В.Ф., Кременчугский Л.С., Леваш Л.В., Щедрина Л.В. Пироэлектрическое приемное устройство. Авторское свидетельство № 1542203.
16. Кременчугский Л.С., Леваш Л.В., Самойлов В.Б. Координатно-чувствительный пироэлектрический приемник излучения. Авторское свидетельство № 1009180.
17. Елфимов О.В., Кременчугский Л.С., Леваш Л.В. Координатный пироэлектрический приемник излучения на основе эффекта поперечной экранировки спонтанной поляризации // в сб. Тепловые приемники излучения-84, - Л.: ГОИ, 1983. - С.65
18. Елфимов О.В., Кременчугский Л.С., Леваш Л.В., Самойлов В.Б. Координатный пироэлектрический приемник излучения проходящего типа. Авторское свидетельство № 1195779.
19. Косоротов В.Ф., Кременчугский Л.С., Леваш Л.В., Щедрина Л.В. Пироэлектрический приемник поперечного типа. Авторское свидетельство № 1185960.
20. Косоротов В.Ф., Кременчугский Л.С., Леваш Л.В., Щедрина Л.В. // в сб. Тепловые приемники излучения-88. - Л.: ГОИ, 1988.- С.78-79.
21. Косоротов В.Ф., Кременчугский Л.С., Леваш Л.В., Щедрина Л.В. Пьезоэлектрический приемник излучения // В сб.Тепловые приемники излучения-88, - Л.: ГОИ, 1988. - С.87-88.
22. Елфимов О.В., Кременчугский Л.С., Леваш Л.В., Скляренко С.К. Координатно-чувствительный приемник излучения. Авторское свидетельство № 807770.
23. Косоротов В.Ф., Кременчугский Л.С., Леваш Л.В., Щедрина Л.В. Приемник интенсивного излучения. Авторское свидетельство № 1473491.
24. Бродин М.С., Косоротов В.Ф., Леваш Л.В. и др. Проходной приемник излучения. Авторское свидетельство № 1568685.

25. Kosorotov V.F., Kremenchugskij L.S., Levash L.V., Shchedrina L.V. Some Specific Features in the Behaviour of Dynamic Pyroelectric Effect under Temperature Gradient Conditions // Ferroelectrics – 1991, V.118. – P. 233–240.

ЛЕВАШ ЛЕОНІД ВАСИЛЬОВИЧ

ТРЕТИННИЙ ПІРОЕЛЕКТРИЧНИЙ ЕФЕКТ В АЦЕНТРИЧНИХ КРИСТАЛАХ

Підписано до друку 05.94. Формат паперу 60x84/16. Папір офсетний 72 гр/м^2. Офсетний друк. Ум.-друк. листів 1,0 . Об.-вид.листів 0,77. Тираж 100. Зак.36

Безкоштовно.

Інститут фізики НАН України, ВНТІ.
252650, Київ-22, ДСП, проспект Науки,46.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

Ав 30.400

Безкоштовно