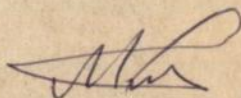


ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



Гавшин Михайло Геннадійович

УДК 537.226

ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ
ТВЕРДИХ РОЗЧИНІВ НА ОСНОВІ
НАТРІЙ-ВІСМУТОВОГО ТИТАНАТУ

01.04.7⁰ - фізика твердого тіла

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук

ДНІПРОПЕТРОВСЬК-1997

548 +
539

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00689811 (X)

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі електрофізики фізичного факультету
Дніпропетровського державного університету.

Науковий керівник

доктор фізико-математичних наук,
професор Кулзін Аркадій Юрійович
Дніпропетровський держуніверситет

Офіційні опоненти:

доктор фізико-математичних наук, професор Глот Олександр Борисович
Дніпропетровський держуніверситет

доктор фізико-математичних наук, професор Різак Василь Михайлович
Ужгородський держуніверситет

Провідна установа: Інститут проблем матеріалознавства НАН України,
м. Київ.

Захист відбудеться "22" Травня 1998р. о 14⁰⁰ годині на засіданні
спеціалізованої вченої ради К 08.051.02 при Дніпропетровському
держуніверситеті за адресою: 320625, м. Дніпропетровськ,
пр. Гагаріна, 72. Дніпропетровський держуніверситет.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Дніпропетровського
держуніверситету.

Автореферат розісланий "6" Квітня 1998р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Спиридонова І.М.

4B - 39.826

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сегнетоелектрики відносяться до матеріалів зі структурними фазовими переходами. Вивчення структурних фазових переходів та динаміки кристалічної ґратки є однією з центральних проблем макрофізики.

Множина фазових переходів у сегнетоелектриках робить їх об'єктами для всебічного вивчення та побудови теоретичних моделей фазових переходів. Ряд сегнетоелектриків та антисегнетоелектриків мають кристалічну структуру типу перовскиту. Відносна простота кристалічної структури перовскитів, дає можливість теоретичного пояснення фізичних властивостей цих з'єднань.

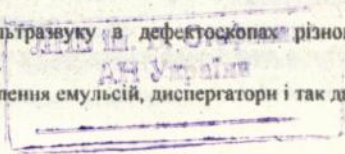
Багато сегнетоелектричних та антисегнетоелектричних перовскитів з багатокомпонентним складом відносяться до матеріалів з розмитими фазовими переходами і мають властивості, які не спостерігаються у простих перовскитів. Одним з представників таких сегнетоелектриків з розмитими фазовими переходами є $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3$ (НВТ).

Множина розмитих фазових переходів робить матеріали на основі НВТ унікальними об'єктами для теоретичних та експериментальних досліджень. В літературі досі немає чіткого погляду на природу фази існуючої в НВТ у діапазоні температур від 200°C до 320 °C. Одні автори вважають її антисегнетоелектричною, інші сегнетоелектричною. Фазовий перехід відповідний максимуму діелектричної проникності при 320 °C не залежить від частоти вимірювального поля, хоч для складних перовскитів з розмитими фазовими переходами, таких як $\text{PbMg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3}\text{O}_3$, $\text{PbNi}_{1/3}\text{Nb}_{2/3}\text{O}_3$, $\text{PbSc}_{1/2}\text{Nb}_{1/2}\text{O}_3$ характерна залежність максимуму діелектричної проникності від частоти поля.

Безсумнівний інтерес являє вивчення морфотропної області (МО) в системах на основі НВТ, бо в околиці МО електромеханічні характеристики кераміки максимальні і є можливість отримати п'єзоелектричну кераміку що задовольнить технічним вимогам. Крім практичного використання безсумнівний інтерес являють фундаментальні дослідження спрямовані на вивчення природи морфотропної області в якій співіснують тетрагональна та ромбоєдрична фази. Крім того, п'єзоелектричні властивості монокристалів НВТ практично не вивчалися. Все це являється актуальним.

На сьогодні основним матеріалом для п'єзоелектричних елементів є кераміка на основі окислів цирконію, свинцю та титану (ЦТС). Для різноманітних приладів використовують широкий набір модифікацій кераміки ЦТС. Модифікація здійснюється шляхом вибору співвідношення окислів, легуванням, особливостями технології виготовлення. П'єзоелектрична сегнетоелектрична кераміка системи ЦТС має широке застосування:

- а) Сенсори у вимірювальній техніці.
- б) Генератори та приймальники ультразвуку в дефектоскопах різного призначення (промисловість, транспорт, медицина).
- в) Технологія : очистка рідин, виготовлення емульсій, диспергатори і так далі.



г) Охоронні прилади та сигналізація.

д) Побутові прилади: запальнички, елементи пральних машин, іграшки.

У Радянському Союзі (Росії) основними розробниками сегнетокераміки були: інститут акустики АНРСР, фізико-хімічний інститут ім. Карпова, КБ Радіопрома м. Ростов на Дону, інститут Морфзізприбор м. Ленінград. Великим виробником п'єзокераміки був НПО "Аврора" м. Волгоград. На Україні роботи по технології виготовлення сировини для виробництва п'єзокераміки велися в інституті матеріалів АН УРСР м. Донецьк. Дослідження властивостей сегнетокераміки та її застосування виконувалися у ряді вузів (Київський політехнічний інститут, Дніпропетровський університет). Розробка різноманітного роду приладів з використанням п'єзоелементів чинилася досить інтенсивно.

Хоч з усіх видів п'єзокераміки ЦТС є найкраща і задовольняє різноманітним вимогам, кераміка ЦТС має ряд недоліків:

1. Труднощі технології виготовлення, зв'язані з випаровуванням свинцю ускладнюють досягнутти ідентичності складу, а значить і параметрів кераміки (відхилення параметрів кераміки наданого складу досягає 40%).
2. Високий зміст свинцю, здорожчує виробництво кераміки за рахунок мір по захисту операторів.
3. Забруднення навколишнього середовища свинцем при виготовленні п'єзоелементів.

Існує досить багато інших видів п'єзокераміки, що по параметрам поступаються ЦТС. Тому розробка нового п'єзоматеріала на основі кераміки (НВТ), що задовольнить основним вимогам застосувань, є актуальним завданням для розвитку промисловості України.

Метою роботи є експериментальні дослідження фізичних властивостей та структурних особливостей матеріалів на основі НВТ, а також вивчення морфотропного фазового переходу та розмитих фазових переходів у твердих розчинах на основі НВТ. У роботі були поставлені наступні завдання:

1. Провести порівняльні дослідження електромеханічних властивостей монокристалів і керамік на основі НВТ.
2. Провести порівняння електромеханічних властивостей керамік на основі НВТ з п'єзоелектричною керамікою ЦТС.
3. Провести вивчення впливу доменної структури на механізм виникнення п'єзоєфекта у матеріалах на основі НВТ та ЦТС.
4. Вивчення можливості утворення ефективних п'єзоелектричних датчиків у системі НВТ.
5. Виростити монокристали на основі НВТ поблизу морфотропного переходу.
6. Дослідити діелектричні властивості кристалів та керамік на основі НВТ в області розмитих фазових переходів.

Наукова новизна. Синтезована п'єзоелектрична кераміка $(1-x)\text{Na}_{0,5}\text{Vl}_{0,5}\text{TiO}_3 + x\text{BaTiO}_3$ (БНВТ) та вирощені монокристали методом Чохральського поблизу морфотропної області складу $\text{Ba}_{0,14}(\text{Na}_{0,5}\text{Vl}_{0,5})_{0,86}\text{TiO}_3$ (БНВТ).

Вивчена фазова структура керамік та монокристалів НВТ, БНВТ. Показано, що морфотропний фазовий перехід у кераміці БНВТ при кімнатній температурі знаходиться у діапазоні $0.12 < x < 0.14$. Монокристал $\text{Ba}_{0.14}(\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5})_{0.86}\text{TiO}_3$ має тетрагональне спотворення ґратки при кімнатній температурі.

Проведені діелектричні, п'єзоелектричні та піроелектричні дослідження дозволили виявити слідуючі особливості фазових переходів в НВТ:

- 320 °С - розмитий фазовий перехід з сегнетоелектричної ромбоєдричної $R3m$ в сегнетоелектричну тетрагональну фазу $P4mm$;
- 520 °С - перехід з тетрагональної сегнетоелектричної фази $P4mm$ в кубічну парафазу $Pm3m$.

Вивчені п'єзоелектричні властивості керамік та монокристалів НВТ, БНВТ. Монокристал НВТ має коефіцієнт електромеханічного зв'язку $k_{33}=90\%$ і переважає по цьому параметру всі існуючі кристали. Вивчення п'єзоєфекта при гідростатичному тиску дозволило виявити доменний вклад в п'єзомодулі матеріалів на основі НВТ і ЦТС, а також показало, що у монокристалах та кераміках системи НВТ, на відміну від системи ЦТС, існує сильна анізотропія поздовжніх та поперечних коливань, (наприклад, поздовжній п'єзомодуль кераміки $\text{Ba}_{0.13}(\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5})_{0.87}\text{TiO}_3$ $d_{33}=250\text{pK/K}$, а поперечний п'єзомодуль $d_{31}=20\text{pK/K}$. У кераміці ЦТС поздовжній та поперечний п'єзомодулі величини одного порядку) що можливо пов'язано з наявністю сегнетоеластичних доменів.

Дослідження доменної структури кристалів НВТ та БНВТ поляризаційно-оптичним методом показали, що доменна структура незмінна під дією електричного поля. Кристал БНВТ складається із сегнетоеластичних доменів, і легко монодомінізується при прикладенні одновісної механічної напруги. Конфігурація доменів в кристалі БНВТ незмінна в інтервалі температур від кімнатної до 1100°С, що дає підставу вважати 1-й кристал тетрагональним до цієї температури.

Розроблено базовий склад п'єзокераміки на основі НВТ для нової системи, яка не містить свинцю, та по електромеханічним характеристикам не поступає кераміці ЦТС, а по коефіцієнту електромеханічного зв'язку $k_{33}=80\%$ перевершує всі відомі сегнетокерамічні матеріали.

На захист виносяться слідуючі наукові положення.

1. Морфотропна область в системі $(1-x)\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3 + x\text{BaTiO}_3$ існує при $0.12 \leq x \leq 0.14$. Екстремальні характеристики електромеханічних параметрів кераміки БНВТ в морфотропній області пов'язані з співіснуванням тетрагональної та ромбоєдричної фази.
2. В монокристалі НВТ відсутня антисегнетоелектрична фаза у діапазоні температур від 200°С до 320°С та існують слідуючі фазові переходи:
 - 320 °С - розмитий фазовий перехід з сегнетоелектричної ромбоєдричної $R3m$ в сегнетоелектричну тетрагональну фазу $P4mm$;
 - 520 °С - перехід з тетрагональної сегнетоелектричної фази $P4mm$ в кубічну парафазу $Pm3m$.

3. Розмитий фазовий перехід в монокристалі $Ba_{0.14}(Na_{0.5}Bi_{0.5})_{0.86}TiO_3$ при $290^{\circ}C$ діється без зміни точечної групи симетрії.

4. У кераміках системи НВТ доменний вклад в п'єзомодуль вище, ніж у системі ЦТС, що пов'язано з сегнетоеластичною доменною структурою матеріалів на основі НВТ.

Практична цінність. Розроблен базовий склад для одержання висококоєфективних екологічно чистіших п'єзо матеріалів. Одержана п'єзо кераміка БНВТ може бути основою для створіння серії матеріалів, параметри яких будуть заповнювати весь діапазон вимог техніки. Новизна та перспективність БНВТ підтверджується пріоритетною довідкою України N95094013 від 4.09.95 і пагентною публікацією у Германії (Deutsches Patentamt De 195 30 592 A1).

П'єзоелектрична кераміка БНВТ має слідуєчи особливості:

1. Високий коефіцієнт електромеханічного зв'язку $k_{33}=80\%$ (ЦТС - $k_{33}=67\%$).
2. Мале значення коефіцієнту $k_{31}=18\%$ (ЦТС - $k_{31}=31\%$).
3. Високий п'єзомодуль $d_{33}=240pK/H$, та низький $d_{31}=-20pK/H$ (ЦТС - $d_{33}=223pK/H$, $d_{31}=93.5pK/H$).
4. Діелектрична проникність $\epsilon=1200$ (ЦТС - $\epsilon=1180$).

Ці параметри дозволяють використовувати кераміку БНВТ для ультразвукових дефектоскопів. Переваги цієї кераміки порівняно з ЦТС - мале значення d_{31} , що істотно спрощує схему приймальної частини дефектоскопу. Кераміка НВТ не містить токсичних компонентів. Має більш низьку (на $100-200^{\circ}C$) температуру спікання ніж ЦТС, механічно тривка, добре подається обробці.

Апробація роботи. Основні результати роботи доповідалися та обговорювалися на: Всеросійській научно-технічеській конференції з участієм зарубезних спеціалістів "Датчики и преобразователи информации систем измерения, контроля и управления" (г. Гурзуф, 1994г.), Ukrainian - Polish east - european workshop on ferroelectricity and phase transitions (Uzhgorod, 1994), VII міжнародном семінаре по фізиці сегнетоелектриков-полупроводников (г. Ростов-на-Дону, 1996г.), Міжвузівськй науково-практичеської конференції "Сучасні проблеми фізики" (м. Дніпропетровськ, 1996р.), The Ninth International Meeting on Ferroelectricity (Seoul, Korea, 1997) та у результатах наукових конференцій Дніпропетровськього державного університета 1994р. - 1997р.

Публікації. По матеріалам дисертації опубліковано 11 друкованих робіт у журналах: "Фізика твердого тела", "Ferroelectrics", пріоритетна довідка України N95094013 від 4.09.95, патентна публікація у Германії (Deutsches Patentamt De 195 30 592 A1), а також у матеріалах конференцій.

Особистий вклад автора. Тема дисертаційної роботи була запропонована проф. Кудзінім А. Ю.. Ним здійснювалося наукове керівництво роботою та обговорення отриманих результатів. Автор дисертації брав участь у плануванні і проведенні всіх експериментів, у виборі та виготовленні об'єктів для досліджень та в інтерпретації одержаних результатів. Автором була розроблена технологія росту монокристалів в

морфотропній області системи БНВТ. Роль співавторів укладалася у наступному: кристали НВТ що досліджувалися в роботі були одержані Крузіною Т. В.; технологія одержання кераміки БНВТ опрацювалася автором спільно з Крузіною Т. В. і Бочковой Т. М.; дослідження п'єзоелектричних властивостей провадилися спільно з Антоненко А. М..

Структура та об'єм роботи. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів та заключення. Загальний обсяг складає 126 сторінок, включаючи 30 малюнків, 7 таблиць та списку цитованої літератури із 119 найменувань.

ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі. Проаналізовані літературні дані про особливості розмитих фазових переходів в натрійвісмутівому титанаті. Приведені основні результати досліджень. Дані різних авторів суперечать: так, одні підтверджують існування антисегнетоелектричної фази в НВТ при температурі від 200°C до 320°C, а інші кажуть про її відсутність. Викладені основні положення про морфотропний фазовий перехід на прикладі твердих розчинів $Pb(Ti,Zr)O_3$. Розглянуті роботи присвячені твердим розчинам на основі НВТ. Проведено порівняння керамік НВТ та ЦТС з якого видно, що існуючі тверді розчини на основі НВТ в околиці морфотропної області мають низькі п'єзоелектричні характеристики в порівнянні з системою ЦТС.

В другому розділі. Викладена технологія виготовлення п'єзокераміки БНВТ та описана методика росту монокристалів БНВТ методом Чохральського в околиці морфотропної області. Викладена методика проведення рентгеноструктурного аналізу керамік із морфотропної області. Описано п'єзоелектричний ефект та різноманітні методики виміру п'єзоелектричних властивостей. Викладена методика виміру діелектричної проникності і засіб вивчення доменної структури.

У третьому розділі. Приводяться дані по рентгеноструктурним дослідженням керамік та кристалів $Ba_x(Na_{0,5}Bi_{0,5})_{1-x}TiO_3$. Рентгеноструктурні дослідження синтезованих керамічних твердих розчинів показали, що тверді розчини мають структуру типу перовскита, а морфотропна область знаходиться при $0.12 \leq x \leq 0.14$ (рис.1.). Тверді розчини з $x < 0.12$ є ромбоєдричні, а із $x > 0.14$ тетрагональні.

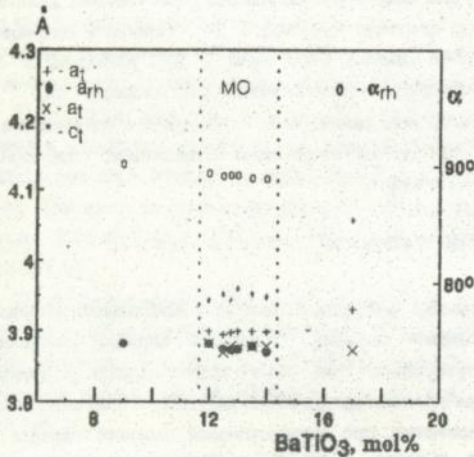


Рис. 1. Концентраційні залежності параметрів кристалічних ґраток кераміки БНВТ.

Рентгеноструктурні дослідження синтезованих твердих розчинів також показали відсутність надструктурних ліній, що означає на відсутність порядку іонів Na, Bi та Ba. Із рентгеноструктурних досліджень виконаних на кераміці системи ЦТС [1] слідує, що число досконалих у процесі поляризації залишкових доменних переорієнтацій, відмінних від 180° -них, $\eta(\%)$ знаходиться в зворотній залежності від величини однорідного параметру деформації δ і досягає максимальної величини у ромбодрічній фазі, де δ мінімальна. Для кераміки системи ЦТС виконується співвідношення:

$$\eta_{\text{р}}/\eta_{\text{т}}=60\%/20\%=3\approx\delta_{\text{т}}/\delta_{\text{р}}, \quad (1)$$

де $\eta_{\text{р}}, \delta_{\text{р}}$ - середнє число доменних переорієнтацій і спонтанна деформація у ромбодрічній фазі, а $\eta_{\text{т}}, \delta_{\text{т}}$ - у тетрагональній фазі. З (1) слідує, що в кераміці ЦТС міра доменних переорієнтацій $\eta(\%)$ залежить від величини спонтанної деформації δ . Таким чином максимум п'єзомодулів $d_{\text{ік}}$ і коефіцієнтів електромеханічного зв'язку $k_{\text{ік}}$ в МО керамік системи ЦТС зумовлений тим, що всі склади діляться на дві області з різко відмінними значеннями однорідного параметру деформації δ і наближення до МО супроводжується падінням δ , особливо різких з боку тетрагональної фази. Це призводить до утворення екстремальних значень реорієнтаційної поляризації P_r та діелектричної проникності ϵ , а також залежних від них п'єзоелектричних параметрів $d_{\text{ік}}$ та $k_{\text{ік}}$.

Дослідження керамік БНВТ показали, що в околиці морфотропного переходу однорідний параметр деформації δ змінюється незначно в порівнянні з системою ЦТС. На відміну від морфотропної області системи ЦТС, в якій максимум діелектричної проникності ϵ та п'єзомодуля d належить тетрагональним складам, а максимум коефіцієнту

електромеханічного зв'язку k ромбоєдричним у системі БНВТ концентраційні залежності діелектричної проникності ϵ , п'єзомодуля d , коефіцієнту електромеханічного зв'язку k , а також пружній податливості S та швидкості звука v мають максимум при $x=0.13$. Таким чином максимум електромеханічної активності належить центральному складу із морфотропної області з $x=0.13$ ($Ba_{0.13}(Na_{0.5}Bi_{0.5})_{0.87}TiO_3$), у якому процентний вміст ромбоєдричної та тетрагональної фази складає 50%.

Відомо, що реорієнтаційна поляризація складає частину спонтанної поляризації та визначається сукупністю всіх доменних поворотів, що мають місце у процесі поляризації кераміки. Величина P , залежить від числа N можливих напрямків спонтанної поляризації в різних фазах (в тетрагональній фазі $N_T=6$; в ромбоєдричній фазі $N_R=8$; в разі співіснування фаз $N=14$). В кераміці БНВТ співвідношення (1) не виконується, але, на відміну від ЦТС, виконується співвідношення:

$$N_P/N_T = 8/6 = 1.33 \approx \delta_T/\delta_R = 1.55 \quad (2)$$

із якого слідує, що міра доменних переорієнтацій залежить від числа можливих напрямків вектора спонтанної поляризації, а значить кераміка БНВТ має максимум електромеханічної активності обумовлений головним чином співіснуванням тетрагональної та ромбоєдричної фази в морфотропній області.

Актуальним завданням подальших досліджень фізичних явищ в морфотропній області п'єзокераміки є вирощування монокристалів достатньо більших розмірів та високої якості бо дослідження монокристалів найбільш ефективні. Однак кристали у системі ЦТС вирощувалися тільки методом спонтанної кристалізації і мали дефекти, малі розміри, що не дозволяло докладно вивчати їх властивості [2]. Тому були вирощені кристали твердих розчинів $Ba_2(Na_{0.5}Bi_{0.5})_{1-x}TiO_3$ методом Чохральського. Встановлено, що при концентрації додатку Ba^{2+} у вихідний шихті $0.8 < x < 0.16$ одержані кристали виявляють однакові властивості, а отже, можна припустити, близькі по складу. Це підтверджується рентгеноструктурними дослідженнями. Встановлено, що вирощені кристали мають структуру типу перовскита і тетрагональне спотворення ґратки з параметрами $a=3.870$, $c=3.940$ при кімнатній температурі. Надструктурних ліній, також як в кристалах НВТ та кераміках БНВТ, виявлено не було. Порівняльний аналіз параметрів решітки та діелектричних властивостей отриманих кристалів та керамік твердих розчинів з відомою концентрацією Ba^{2+} дозволяє ідентифікувати їх склад як $Ba_{0.14}(Na_{0.5}Bi_{0.5})_{0.86}TiO_3$. Треба визначити, що кристали найкращої оптичної якості одержані при концентрації $x=0.14$ Ba^{2+} в вихідний шихті.

Таким чином в МО системи БНВТ немає можливості виростити з розплаву безупинний ряд монокристалічних твердих розчинів. Аналізуючи одержані результати можна припустити, що екстремальне поведження електромеханічних властивостей в МО системи БНВТ зумовлено існуванням у неї нового монокристалічного з'єднання.

У четвертому розділі. Досліджувалися діелектричні властивості керамік БНВТ і монокристалів НВТ та БНВТ. На рис.2. представлені температурні залежності ϵ для

кристалів НВТ і БНВТ. Із рисунку видно, що для кристалу НВТ при нагріві спостерігається положиста ділянка у зміні ϵ поблизу 200°C , що звичайно зв'язують з наявністю розмитого фазового переходу із сегнетоелектричної в антисегнетоелектричну фазу. В області $25^\circ\text{C} - 200^\circ\text{C}$ спостерігається частотна залежність $\epsilon=f(T)$. Діелектрична проникність не залежить від частоти вимірювального поля поблизу 320°C .

На кривій $\epsilon=f(T)$ для кристалів БНВТ поблизу 100°C спостерігається розмитий частотно залежний максимум, що вуалюється максимумом поблизу 290°C . Перехід при 100°C є релаксорним, бо максимум ϵ з зростанням частоти зменшується та зміщується в область високих температур. Максимум ϵ при 290°C , також як і в НВТ не залежить від частоти вимірювального поля.

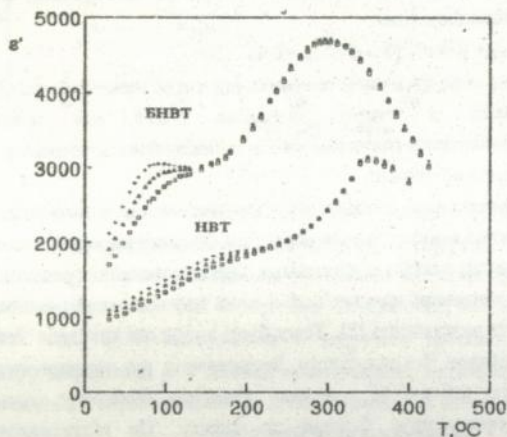


Рис.2. Температурна залежність діелектричної проникності монокристалів НВТ та БНВТ (плюс - 1кГц, трикутник - 10кГц, квадрат - 100кГц).

Припускаючи, що аномалії ϵ поблизу 100°C та 290°C пов'язані з розмитими фазовими переходами також, як і в НВТ при 200°C та 320°C , причому частотна залежність ϵ в області 200°C для НВТ та 1000°C для БНВТ дає підставу віднести надані з'єднання до сегнетоелектриків релаксорного типу, певніше вважати, що розмитий фазовий перехід при 200°C в НВТ є релаксорним, а не переходом із сегнетоелектричної в антисегнетоелектричну фазу.

Температурні залежності діелектричної проникності керамічних складів БНВТ із МО показують, що у складів з $x=0.12$ та $x=0.14$ в залежності $\epsilon=f(t)$ спостерігається "полиця" при температурі 200°C . У складів $0.12 < x < 0.14$ "полиця" при 200°C зміщується в бік максимуму діелектричної проникності та менш помітна, а у середині МО для складу $x=0.13$ надана "полиця" майже не виявляється.

Виходячи з цього певніше припустити, що "поліція" пов'язана не з антисегнетоелектричним фазовим переходом, а з початком розмитого сегнетоелектричного фазового переходу при 320 °С, а її вияв залежить від ступеня розмиття переходу.

У п'ятому розділі представлені результати досліджень п'єзоелектричних властивостей керамік БНВТ та монокристалів НВТ і БНВТ. Вимірювання п'єзоелектричних коефіцієнтів здійснювалося згідно з стандартами інституту радіоінженерів методом резонансу-антірезонансу, а також квазістатичним засобом пульсуючого навантаження. П'єзоелектричні коефіцієнти, виміряні згаданими засобами знаходяться у гарній відповідності.

У таблиці 1. приведені п'єзоелектричні параметри керамік БНВТ, кристалів НВТ та БНВТ при кімнатній температурі, з якої видно, що кристали мають сильну анізотропію поздовжніх і поперечних коливань (п'єзомодуль d_{33} на порядок вище п'єзомодуля d_{31}). Порівнюючи коефіцієнт електромеханічного зв'язку k_{33} в напрямку [111] кристалу НВТ з відомими п'єзоелектричними кристалами LiNbO_3 x -зріз $k_{15}=68\%$ та PbTiO_3 $k_{33}=84\%$ видно, що у кристалу НВТ коефіцієнт електромеханічного зв'язку максимальний.

Таблиця 1.

П'єзоелектричні властивості кристалів НВТ, БНВТ та кераміки БНВТ.

	Кристали				Кераміка		
	НВТ [001]	НВТ [011]	НВТ [111]	БНВТ [001]	БНВТ ($x=12$)	БНВТ ($x=13$)	БНВТ ($x=14$)
d_{31} (пК/Н)	50	75	80	40	15	20	16
d_{33} (пК/Н)	150	220	230	230	216	250	177
d_{15} (пК/Н)	210	222	239	233	16	23	18
k_{31} (%)	20	39	40	20	19	20	25
k_{33} (%)	59	84	90	60	73	80	47
k_{15} (%)	57	79	85	58	20	30	24

Відомо, що у ромбоєдричній фазі спонтанна поляризація P_s спрямована по просторовій діагоналі кубу у напрямі [111], тому: $P_s[001]:P_s[011]:P_s[111]=1:\sqrt{2}:\sqrt{3}$, а з цього треба $d[001]=\sqrt{2} d[011]$ та $d[001]=\sqrt{3} d[111]$, що добре виконується для товщинних п'єзомодулів кристалу НВТ. Матриці п'єзомодулів у головних вісях для ромбоєдричного НВТ і тетрагонального БНВТ мають вигляд:

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & d_{15} & -2d_{22} \\ -d_{22} & d_{22} & 0 & d_{15} & 0 & 0 \\ d_{31} & d_{31} & d_{33} & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (\text{НВТ})$$

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & d_{15} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & d_{15} & 0 & 0 \\ d_{31} & d_{31} & d_{33} & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (\text{БНВТ})$$

де для кристалу НВТ: $d_{33}=240\text{pK/H}$, $d_{31}=72\text{pK/H}$, $d_{22}=80\text{pK/H}$, $d_{15}=220\text{pK/H}$ в кристали БНВТ значення п'єзомодулів в головних вісях співпадають з таблицею 1.

У кристалах НВТ п'єзоелектричні властивості зникають в районі 120°C , а у кристалах БНВТ п'єзоелектричні властивості зникають в районі 200°C .

При вимірі п'єзоєфекта під полем $4\text{-}6\text{kv/mm}$ п'єзоелектричні властивості в НВТ і БНВТ спостерігаються аж до температури 360°C , при цьому величина коефіцієнту електромеханічного зв'язку практично не залежить від температури. Обміряти п'єзоєфект вище 360°C не вдалося із-за збільшення електропровідності. Виміри піроєфекту на монокристалах НВТ і БНВТ, проведені спільно з польськими вченими, показали, що пірострум у обох кристалах спостерігається до температур відповідних максимуму діелектричної проникності (320°C - НВТ, 290°C - БНВТ) це є підставою стверджувати, що температура 320°C для НВТ є точкою переходу, як і в титанаті барію із тетрагональної фази 4mm у ромбоєдричну 3m , а не точкою переходу із сегнетоеластичної фази $4/\text{mmm}$ в антисегнетоелектричну $\bar{3}\text{m}$.

Електрично-механічні характеристики керамік БНВТ із МО приведені в таблиці 1. із якої видно, що надана кераміка по коефіцієнту електромеханічного зв'язку k_{33} перевершує усі відомі сегнетокерамічні матеріали. Діелектрична проникність ϵ та п'єзомодуль d_{33} порівняні з базовим складом кераміки ЦТС Рв($\text{Ti}_{0.48}\text{Zr}_{0.52}$) O_3 .

П'єзоелектричні властивості в наданій системі зникають в районі 200°C , що пов'язане, на наш погляд, з початком розмитого фазового переходу та народженням кубічних кластерів в сегнетоелектричній матриці кераміки. Коефіцієнт електрично-механічного зв'язку, швидкість звука та пружна жорсткість з температурою практично не змінюються, а п'єзомодуль повторює температурну залежність діелектричної проникності.

При нагріві до 160°C та охолодженні до кімнатній температурі п'єзоелектричні властивості не руйнуються. При нагріві вище цієї температури кераміка починає розполяризовуватись.

Основний підхід до кількісного опису електричних, п'єзоелектричних та пружних властивостей сегнетокераміки - це усереднення величин, що відносяться до монодоменоного кристалу. Тому розглянемо сегнетокераміку як сукупність окремих кристалів (зерен), а кожний кристаліт - як один домен. Кристалографічні осі окремих кристалітів вважаємо орієнтованими хаотично. Припустимо, що ефект поляризації кераміки постійним полем полягає в орієнтації вектора спонтанної поляризації \mathbf{P}_s кожного окремого кристаліта. При цих умовах розрахунок діелектричних, п'єзоелектричних і пружних властивостей сегнетокераміки зводиться до усереднення по всім можливим напрямкам. Залишкова поляризація \mathbf{P}' визначається для обраної моделі формулою:

$$\bar{P} = \frac{\int_0^{\theta} P_r \cos \theta \sin \theta d\theta}{\int_0^{\theta} \sin \theta d\theta} = \frac{P_r}{4} \cdot \frac{1 - \cos 2\theta}{1 - \cos \theta}, \quad (3)$$

1) Поляризація складається з процесів 180° - та 90° - ної переорієнтації доменів, внаслідок яких вектор спонтанної поляризації кожного кристаліта встановлюється уздовж тієї з рівноправних осей, що складає найменший кут із напрямком осі z . Для тетрагональної та ромбодричної фази $\theta = \arcsin \sqrt{\frac{2}{3}} \approx 55^\circ$.

2) Поляризація складається тільки з процесів 180° - ної переорієнтації доменів. 90° - на переорієнтація, принаймні у квазірівноважному стані, не має місця, бо вона, в силу анізотропії спонтанної електрострикції, супроводжується значними пружними напруженнями. В цьому випадку, незалежно від того, до якої з сегнетоелектричних фаз належить кристал $\theta = 90^\circ$.

Зв'язуючи вектор поляризації з тензором п'єзомодулей через тензор напруг $P_i' = d_{ikl}' \sigma_{kl}'$ отримуємо п'єзомодулі:

$$1) \sin \theta = \sqrt{\frac{2}{3}}$$

$$\begin{aligned} \bar{d}'_{311} &= \bar{d}'_{322} = \frac{3 + \sqrt{3}}{36} (5d'_{311} - 2d'_{131} + d'_{333}); \\ \bar{d}'_{333} &= \frac{3 + \sqrt{3}}{18} (d'_{311} + 2d'_{131} + 2d'_{333}); \\ 2\bar{d}'_{131} &= 2\bar{d}'_{223} = \frac{3 + \sqrt{3}}{18} (-d'_{311} + 4d'_{131} + 4d'_{333}); \end{aligned} \quad (4)$$

$$2) \theta = 90^\circ$$

$$\begin{aligned} \bar{d}'_{311} &= \bar{d}'_{322} = \frac{1}{8} (3d'_{311} + d'_{333} - d'_{131}); \\ \bar{d}'_{333} &= \frac{1}{4} (d'_{311} + d'_{333} - 2d'_{131}); \\ 2\bar{d}'_{131} &= 2\bar{d}'_{223} = \frac{1}{4} (-d'_{311} + d'_{333} + 2d'_{131}). \end{aligned} \quad (5)$$

В ромбодричній фазі вирази для відмінних від нуля п'єзомодулей співпадають з відповідними виразами для тетрагональної фази, проте, зрозуміло значення п'єзомодулей монокристалів різні в цих фазах.

Використовуючи дані по п'єзомодулям монокристалів НВТ та БНВТ і формули (4) та (5) можемо обчислити теоретичні значення п'єзомодуляв кераміки в морфотропній області:

1) поляризація полягає в процесах 180° - та 90° - ної переорієнтації доменів: НВТ - $d_{31}=21\text{pK/Н}$, $d_{33}=261\text{pK/Н}$; БНВТ - $d_{31}=4\text{pK/Н}$, $d_{33}=236\text{pK/Н}$;

2) поляризація складеться тільки в процесах 180° - ної переорієнтації доменів: НВТ - $d_{31}=2\text{pK/Н}$, $d_{33}=188\text{pK/Н}$; БНВТ - $d_{31}=-6\text{pK/Н}$, $d_{33}=167\text{pK/Н}$.

Із порівняння одержаних результатів з таблицею 1. видно, що отримані значення п'єзомодулів в першому випадку достатньо близькі до експериментальних даних і можна припустити, що поляризація в кераміці БНВТ складається з процесів 180° - та 90° - ної переорієнтації доменів.

Для більшості сегнетоелектричних матеріалів наявність доменної структури виявляє істотний вплив на властивості матеріалу. Зокрема для сегнетокераміки ЦТС поблизу морфотропного фазового переходу доменний вклад в діелектричну проникність та п'єзомодуль, виміряні при кімнатній температурі складає, по меншій мірі, половину [3]. Діелектрична проникність і п'єзомодуль уявляються сумами внутрішніх (об'ємних) (ϵ_{in}, d_{in}) та зовнішніх, частин, що визначаються доменним зміщенням (ϵ_{ex}, d_{ex}):

$$\begin{aligned} \epsilon &= \epsilon_{ex} + \epsilon_{in} \\ d &= d_{ex} + d_{in} \end{aligned} \quad (6)$$

В роботі [3] проведено вивчення впливу руху доменних границь на діелектричні та п'єзоелектричні властивості кераміки PZT-500. Показано, що вклад доменних процесів у властивості цього матеріалу великий. Розділення діелектричної проникності та п'єзомодуля на внутрішні ϵ_{in} , ϵ_{ex} та зовнішні d_{in} , d_{ex} засновано на тому, що рух доменних границь не дає вкладу в відгук матеріалу на гідростатичний тиск і гідростатичний п'єзомодуль d_h не пов'язаний з рухом доменних границь. В роботі [3] d_h не вимірювався а визначався із співвідношення:

$$d_h = d_{33} + 2d_{31} \quad (7)$$

У даній роботі приведені результати експериментальних досліджень впливу доменного вкладу в п'єзомодулі кераміки ЦТС-19в та БНВТ. П'єзомодулі d_{33} , і d_{31} обміряні засобом резонансу-антирезонансу та квазістатичним засобом пульсуючого навантаження. На відміну від [3], п'єзомодуль d_h був обміряний прямим засобом на установці у вигляді робочого середовища якої було повітря.

Результати вимірів для ЦТС-19в та БНВТ представлені на рис.3. Поводження п'єзоелектричних властивостей ЦТС -19в і БНВТ істотно різні. Для кераміки ЦТС-19в п'єзомодуль d_h обміряний прямим засобом та обчислений по формулі (7) близькі у всьому інтервалі температур. У кераміці БНВТ різниця поміж п'єзомодулем d_h , обміряних різними засобами дуже велика.

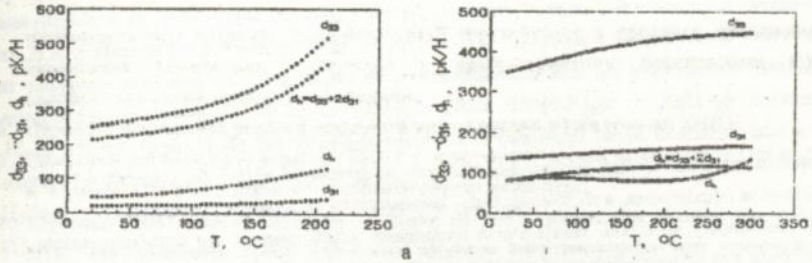


Рис. 3. Температурна залежність п'єзомодулів керамік БНВТ (а) і ЦТС-19В (б).

Згідно з [3] d_{33} , d_{31} і ϵ можна розкласти на внутрішній та зовнішній. Для цього екстраполюємо температурні залежності п'єзомодулів d_{33} , d_{31} і діелектричної проникності ϵ від температури рідинного азоту в ОК та виходимо з припущення, що в ОК доменні границі не будуть рухатися. Тоді при ОК $d_{33} = d_{33in}$, $d_{31} = d_{31in}$, $\epsilon = \epsilon_{in}$. З зростанням температури d_{33in} , d_{31in} і ϵ_{in} змінюються як d_h . Зовнішні п'єзомодулі d_{33ex} , d_{31ex} та діелектричну проникність ϵ_{ex} знайдемо з (6). Температурні залежності d_{33} , d_{31} , ϵ_{in} , ϵ_{ex} керамік ЦТС та БНВТ представлені на рис.4.

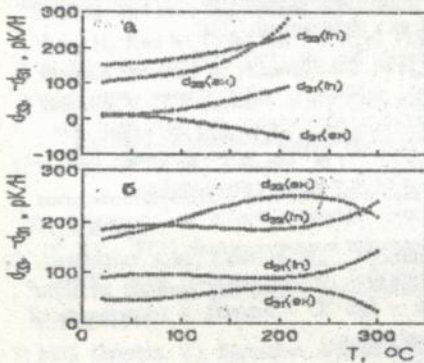


Рис. 4. Температурна залежність п'єзомодулів $d_{33(in)}$, $d_{33(ex)}$, $d_{31(in)}$, $d_{31(ex)}$ керамік БНВТ (а) і ЦТС-19В (б) одержані із вимірів d_h .

Розділення п'єзомодулів на внутрішній та зовнішній показує, що у ЦТС d_{33in} і d_{33ex} порівняні з d_{33ex} та d_{33ex} . З зростанням температури всі п'єзомодулі ростуть. При наближенні до фазового переходу росте внутрішній п'єзомодуль, а п'єзомодуль зв'язаний з рухом доменних границь падає. В кераміці БНВТ п'єзомодулі d_{33in} , d_{33ex} , d_{31in} з зростанням температури ростуть. П'єзомодуль d_{31ex} стає від'ємним, що пов'язано з більшим зростанням d_h у порівнянні з d_{31} .

Зіставляючи дані одержані у [3] при низьких температурах і одержані експериментальні результати, можна припустити, що високі п'єзоелектричні властивості кераміки ЦТС викликані рухом доменних границь.

Експерименти по монодоменізації (монодоменізація здійснювалася шляхом прикладення одновісної механічної напруги при температурах вище 500°C та охолодження до кімнатної температури) кристалів НВТ показують, що гідростатичний d_{33} та поперечний d_{31} для монодоменного та полідоменного кристалу однакові та дорівнюють $d_{33}=12\text{pK/Н}$, $d_{31}[100]=50\text{ pK/Н}$, $d_{31}[110]=75\text{ pK/Н}$. Подовжній d_{33} після монодоменізації падає приймаючи значення $d_{33}[100]=105\text{ pK/Н}$, $d_{33}[110]=154\text{ pK/Н}$. При прикладенні одновісної механічної напруги до кристалів БНВТ d_{31} і $d_{33}=60\text{pK/Н}$ також залишаються постійними, а d_{33} зменшується та приймає значення $d_{33}=146\text{pK/Н}$ у монодоменному кристалі. Виходячи з наведених даних видно, що співвідношення (7) виконується для монодомених кристалів. Тому в кераміці БНВТ і кристалах НВТ, БНВТ висока p -зактивність певно пов'язана не тільки з рухом доменних границь, але і з зарядами на сегнетоеластичних доменних стінках. Це припущення підтверджується даними по доменній структурі кристалів системи $\text{PbTi}_x\text{Zr}_{1-x}\text{O}_3$, у яких електромеханічна активність збільшується з зростанням концентрації сегнетоеластичних доменів [4].

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ РОБОТИ

1. Встановлено, що в p -зокераміці БНВТ максимум електромеханічної активності в морфотропній області пов'язаний з співіснуванням ромбоєдричної та тетрагональної фази, а не з мінімумом спонтанної деформації, як у p -зокераміці ЦТС.
2. Дослідження діелектричних властивостей системи $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3\text{-BaTiO}_3$ показали, що температура 200°C є початком фазового переходу, відповідного максимуму діелектричної проникності, а не точкою антисегнетоелектричного фазового переходу.
3. Вивчення електромеханічних властивостей керамік БНВТ, монокристалів НВТ та БНВТ показали, що в даних матеріалах відсутня антисегнетоелектрична фаза.
4. По результатах досліджень електромеханічних, піроелектричних та діелектричних властивостей підтверджені наступні фазові переходи в монокристалі НВТ: - 320 °C - розмитий фазовий перехід з сегнетоелектричної ромбоєдричної фази $R3m$ в сегнетоеластичну тетрагональну фазу $4mm$; - 520 °C - перехід з тетрагональної сегнетоеластичної фази $4mm$ в кубічну парафазу $Pn3m$.
5. Вивчення доменної структури кристалу БНВТ показало, що фазовий перехід при 290°C в цьому сполученні походить без зміни точкової групи симетрії.
6. В кераміці БНВТ та кристалах НВТ, БНВТ висока p -зактивність певно пов'язана не тільки з рухом доменних границь, але і з зарядами на сегнетоеластичних доменних стінках.
7. Розроблений базовий склад p -зоелектричної кераміки на основі натрійбісмутового титанату, що не поступається по електромеханічним властивостям кераміці ЦТС, а по коефіцієнту електричнотомеханічного зв'язку $k_{33}=80\%$ переважаючий існуючі сегнетокерамічні матеріали. Наявність анізотропії (високий d_{33} та низький

п'єзомодуль d_{31}) дозволяє використовувати цю кераміку в приладах працюючих на товщинних коливаннях, наприклад у ультразвуковому дефектоскопі істотно спрощується схема приймальної частини.

8. Отримані оптимальні режими технології виготовлення п'єзокераміки БНВТ.
9. Основним достоїнством кераміки БНВТ є відсутність летких компонентів (таких як Рb в кераміці ЦТС), що дозволяє виробляти синтез на повітрі.
10. Кераміка БНВТ має температуру спікання на 100°C нижче ніж промислова кераміка ЦТС, що дозволить більш економічно вживати електроенергію при промисловому виробництві.

Цитована література.

1. Фесенко Е.Г., Данцигер А.Я., Разумовская О.Н. Новые пьезокерамические материалы. Ростовский университет, 1983. - 156с.
2. Еремкин В.В., Смотрakov В.Г., Фесенко О.Е., Шмалько С.Г. Получение и исследование фазовой Т, х-диаграммы кристаллов $\text{PbTi}_x\text{Zr}_{1-x}\text{O}_3$. // Тезисы докладов Всесоюзной конференции "Актуальные проблемы получения и применения сегнето- и пьезоэлектрических материалов". Часть П. - Москва, - 1984. - С.298
3. Direct evaluation of domain-wall and intrinsic contributions to the dielectric and piezoelectric response and their temperature dependence on lead zirconate-titanate ceramics / Zhang Q.M., Wang H., Kim N., Cross L.E. // J. Appl. Phys. - 1994. - Vol. 75 (1), - P. 454-458.
4. Domain structure of rhombohedral $\text{PbTi}_x\text{Zr}_{1-x}\text{O}_3$ crystals / E. I. Eknadiosiants, V. S. Borodin, V. G. Smotrakov. et al // Ferroelectrics. - 1990. - Vol.111, - P. 283-289.

Основні матеріали дисертації опубліковані в роботах:

1. Антоненко А.М., Гавшин М.Г., Кудзин А.Ю. Влияние доменной структуры на электромеханические свойства сегнетокерамики ЦТС « МНВТ // ФТТ. - 1997. - N5, т.39. - С.920-921.
2. Антоненко А.М., Гавшин М.Г., Кудзин А.Ю. Рост монокристаллов в морфогропной области твердых растворов натровисмутитового титаната. // ФТТ. -1997. - N8, т39. - С.1443-1445.
3. M.G. Gavshin, V.I. Pastukhov. Raman scattering anomalies in monocrystalline $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3$ and $\text{Ba}_{0.14}(\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5})_{0.86}\text{TiO}_3$. // Ferroelectrics. - 1998. - Vol.205, - P. 81-85.
4. Бочкова Т.М., Крузин Т.В., Гавшин М.Г., Кудзин А.Ю. П'єзокерамічний матеріал на основі натрій в'єсмутитового титанату. пріорітетна довідка України N95094013 від 4.09.1995
5. Schneider A., Schneider E., Botschkova T., Gawschin M., Krusina T, Kudsin A. // Offenlegungsschrift De 195 30 592 A1 Deutsches Patentamt 21.8.1995.
6. Антоненко А.М., Крузина Т.В., Гавшин М.Г. Пьезо- и пьезоэлектрические датчики на основе натрий-висмутитового титаната. // Тезисы всероссийской научно-технической конференции с участием зарубежных специалистов. Датчик-94 часть 1. - 1994. - С.32-33.

7. Antonenko A.M., Gavshin M.G., Kruzina T.V., Kudzin A.Yu. Piezoelectric properties of $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3$ // Ukrainian-Polish East-European workshop on ferroelectricity and phase transitions. Uzhgorod-94. - 1994. - P.30.
8. Крузина Т.В., Кудзин А.Ю., Соколянский Г.Х., Гавшин М.Г. Стимулированная проводимость в кристаллах натрий-висмутного титаната. // Материалы 7-го Международного семинара по физике сегнетоэлектриков-полупроводников. МП "Книга" Ростов-на-Дону - 1996. - С.94-95.
9. Кудзин А.Ю., Крузина Т.В., Гавшин М.Г. Электромеханические свойства монокристаллов модифицированного натровисмутного титаната. // Материалы 7-го Международного семинара по физике сегнетоэлектриков-полупроводников. МП "Книга" Ростов-на-Дону - 1996. - С.107.
10. Бочкова Т.М., Крузина Т.В., Гавшин М.Г. Пьезоэлектрические свойства твердых растворов на основе натровисмутного титаната. // Матеріали міжвузівської науково-практичної конференції "Сучасні проблеми фізики", м. Дніпропетровськ, 1996. - С.23.
11. M.G. Gavshin, V.I. Pastukhov. Raman scattering study of diffuse phase transition in monocrystalline $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3$ and $\text{Ba}_{0.14}(\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5})_{0.86}\text{TiO}_3$. // The 9th International Meeting on Ferroelectricity. Seoul, Korea, -1997 - P.54.

Гавшин М.Г. Электромеханичні властивості твердих розчинів на основі натрій-висмутного титанату. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата фізико - математичних наук за спеціальністю 01.04.07 - фізика твердого тіла. - Дніпропетровський державний університет, Дніпропетровськ, 1997.

Захищається 11 наукових робіт, що містять результати рентгеноструктурних, діелектричних і п'єзоелектричних досліджень монокристалів $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3$, $\text{Ba}_{0.14}(\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5})_{0.86}\text{TiO}_3$ і керамік з морфотропної області натрій-висмутного титанату складу $\text{Ba}_x(\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5})_{1-x}\text{TiO}_3$. Досліджені розмиті фазові переходи в даних матеріалах. Вперше вирощені монокристали методом Чохральського поблизу морфотропної області твердих розчинів $\text{Ba}_x(\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5})_{1-x}\text{TiO}_3$. Зроблене порівняння п'єзоелектричних властивостей керамік і монокристалів у області морфотропного переходу. Сегнетокераміка $\text{Ba}_x(\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5})_{1-x}\text{TiO}_3$ по електромеханічним властивостям порівняна з промисловою керамікою ЦТС, а по коефіцієнту електромеханічного зв'язку $k_{33}=80\%$ переважає всі відомі сегнетокерамічні матеріали.

Ключові слова: п'єзоелектрика, розмитий фазовий перехід, п'єзокераміка, морфотропна фазова границя, перовскит.

Гавшин М.Г. Электромеханические свойства твердых растворов на основе натрий-висмутного титаната. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - физика твердого тела. - Днепропетровский государственный университет, Днепропетровск, 1997.

Защищается 11 научных работ, которые содержат результаты рентгеноструктурных, диэлектрических и пьезоэлектрических исследований монокристаллов $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3$, $\text{Ba}_{0.14}(\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5})_{0.86}\text{TiO}_3$ и керамик из морфотропной области натрий-висмутитового титаната состава $\text{Ba}_x(\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5})_{1-x}\text{TiO}_3$. Исследованы размытые фазовые переходы в данных материалах. Впервые выращены монокристаллы методом Чохральского в окрестности морфотропной области твердых растворов $\text{Ba}_x(\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5})_{1-x}\text{TiO}_3$. Произведено сравнение пьезоэлектрических свойств керамик и монокристаллов в области морфотропного перехода. Сегнетокерамика $\text{Ba}_x(\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5})_{1-x}\text{TiO}_3$ по электромеханическим свойствам сравнима с промышленной керамикой ЦТС, а по коэффициенту электромеханической связи $k_{33}=80\%$ превосходит все известные сегнетокерамические материалы.

Ключевые слова: пьезоэлектричество, размытый фазовый переход, пьезокерамика, морфотропная фазовая граница, перовскит.

Gavshin M.G. Electro-mechanical properties of solid solutions on the sodium bismuth titanate basis. - Manuscript.

Thesis for obtaining a scientific degree of "Candidate of physico-mathematical sciences" on a speciality 01.04.07 - physics of solid state. - Dnepropetrovsk state university, Dnepropetrovsk, 1997.

11 scientific paper is protected, which contain results of X-ray analysis, dielectric and piezoelectric properties of monocrystalline $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3$, $\text{Ba}_{0.14}(\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5})_{0.86}\text{TiO}_3$ and ceramics $\text{Ba}_x(\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5})_{1-x}\text{TiO}_3$ from morphotropic phase boundary. Diffuse phase transitions in given materials are investigated. Monocrystalline was grown by the Czochralski method in morphotropic phase boundary for the first time. Comparison piezoelectric properties of ceramics and monocrystalline in the area morphotropic phase transition is made. Ferroelectrics ceramics $\text{Ba}_x(\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5})_{1-x}\text{TiO}_3$ due to electro-mechanical properties is comparable with industrial ceramics PZT, and due to the coupling factor $k_{33}=80\%$ surpasses all known ferroelectrics materials.

Key words: piezoelectrics, diffuse phase transition, piezoelectric ceramics, morphotropic phase boundary, perovskite.

AB 39.826 6

AB 39.826