

## ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

Миرونюка Олексія Володимировича

на дисертаційну роботу Білогубкіної Карини Володимирівни

«Керамічні матеріали радіотехнічного призначення

на основі системи  $\text{BaO-ZnO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ »,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія

### Актуальність теми.

Дослідження, спрямовані на розробку нових складів радіопрозорих керамічних матеріалів (РПКМ) із заданими функціональними властивостями та встановлення закономірностей їх формування є важливою задачею, вирішення якої сприятиме науково-технічному прогресу в галузях радіоелектроніки, електронної та аерокосмічної техніки. Тому дисертаційна робота Білогубкіної К. В., що спрямована на створення гетерофазних керамічних матеріалів радіотехнічного призначення на основі композицій системи  $\text{BaO-ZnO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ , є актуальною та має перспективи подальшого розвитку досліджень.

У дисертаційній роботі вирішується науково-практичне завдання розробки радіопрозорих керамічних матеріалів із заданими діелектричними характеристиками і комплексом високих експлуатаційних властивостей, які призначені для виготовлення захисних елементів зовнішнього антенного обладнання (носових обтічників, радіопрозорих вікон антенно-хвильоводних систем і НВЧ трактів), яке використовують для радіокерування авіаційною та ракетною технікою.

Актуальність даного напрямку підтверджується зв'язком із науково-дослідними роботами кафедри «Технологія кераміки, вогнетривів, скла та емалей» НТУ «ХП», що виконані на замовлення Міністерства освіти і науки України, в яких здобувачка брала безпосередню участь:

1) НДР МОН України: «Розробка теоретичних і технологічних основ виробництва радіопрозої кераміки на основі системи  $\text{RO - Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$  для об'єктів ракетно-космічної техніки» (№ ДР 0122U00131);

2) НДР МОН України «Підвищення корозійної стійкості та довговічності високотемпературної радіо прозорої кераміки для об'єктів авіаційної та ракетно-космічної техніки» (№ ДР 0120U001004).

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.**

Результати експериментів, теоретичне обґрунтування та висновки, що сформульовані в дисертаційній роботі Білогубкіної К.В. є переконливими, обґрунтованими і логічними та не суперечать положенням, висунутим іншими дослідниками. Обґрунтованість отриманих у роботі наукових положень, висновків і рекомендацій базується на використанні фундаментальних методів фізико-хімічного і термодинамічного аналізів, які підкріплені великим обсягом експериментальних досліджень. Сформульовані в дисертаційній роботі висновки відповідають задачам досліджень та відображають головні наукові положення та закономірності, отримані здобувачем, стисло відображають наукову новизну і практичну значущість роботи. Виваженості та коректності висновкам і рекомендаціям (як теоретичного, так і технологічного характеру) надають аргументованість наукових положень експериментальна верифікація та позитивні результати дослідно-промислових випробувань.

**Достовірність результатів досліджень.**

Достовірність наукових положень підтверджується взаємоузгодженістю і відтворюваністю результатів, відсутністю протиріч з даними відомих наукових шкіл, вітчизняних та іноземних вчених в галузі технології тугоплавких неметалічних матеріалів. Достовірність наукових результатів дисертації також підтверджується застосуванням комплексу сучасних методів фізико-хімічного аналізу фазового складу і структури матеріалів та стандартизованих методик досліджень їх властивостей та використанням повіреного обладнання. Достовірність результатів теоретичних досліджень додатково підтверджується результатами відповідних експериментальних досліджень. Обробка експериментальних даних виконувалась з використанням методів математичної статистики; для оптимізації параметрів шлікерного лиття виробів використано математичне планування експерименту.

**До основних нових наукових результатів дисертації, які виносяться на захист, слід віднести наступне:**

- досліджено субсолідусну будову базової оксидної системи  $\text{BaO} - \text{ZnO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$  та отримані нові дані щодо геометро-топологічних характеристик її фаз та елементарних тетраедрів (об'єми існування, ступінь асиметрії тетраедрів та їх взаємозв'язок, склади і температури чотирикомпонентних евтектик);

- розроблено принципи проектування складів гетерофазних керамічних матеріалів на основі прогнозних графо-аналітичних розрахунків в системах фазотвірних оксидів, яка дозволяє визначити умови одночасного синтезу цільових фаз (в даному випадку  $\text{BaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ,  $\text{Zn}_2\text{SiO}_4$ ,  $\text{ZnAl}_2\text{O}_4$ ) та проаналізувати динаміку накопичення розплаву в заданому температурному інтервалі;

- теоретично обґрунтовано умови отримання хімічно стійкої гетерофазної кераміки на основі термодинамічного аналізу реакцій взаємодії з агресивними речовинами як цільових, так і супутніх фаз;

- встановлено можливість одночасного формування цільових фаз (цельзіану, віллеміту, ганіту) за зниженої температури ( $1150\text{ }^\circ\text{C}$ ) при використанні як інтенсифікатора фазоутворення добавки 2 мас. %  $\text{Li}_2\text{O}$ , що дозволяє покращити діелектричні характеристики та експлуатаційні властивості розробленої гетерофазної кераміки;

- встановлено позитивний вплив комплексної добавки, що містить розріджуючу і адгезуючу складові, на процес формування шлікерним литтям виробів складної конфігурації (носових обтічників) з непластичних керамічних шлікерів та визначено її оптимальний склад: 0,38 % Dolapix PC 67 і 0,7 % ПВС 1788.

**Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.**

Практична цінність результатів роботи полягає:

1) у створенні нового виду радіопрозорої кераміки з поліпшеними діелектричними характеристиками та комплексом високих експлуатаційних властивостей, що забезпечить надійний захист та роботу обладнання для радіокерування авіаційною та ракетною технікою;

- 2) у розробці рецептурно-технологічних параметрів виготовлення носових обтічників літальних апаратів, радіопрозорих вікон для антенно-хвилеводних систем, а також трактів НВЧ, що їх обслуговують;
- 3) у опрацюванні методології розробки гетерофазної кераміки заданого фазового складу, яка представляє інтерес для фахівців, які створюють інноваційні функціональні керамічні і склокристалічні матеріали;
- 4) у використанні отриманих теоретичних і практичних результатів роботи, які впроваджені у навчальний процес на кафедрі «Технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей» при підготовці фахівців різних кваліфікаційних рівнів.

### **Оцінка змісту дисертаційної роботи.**

Дисертаційна робота Білогубкіної К.В. складається з анотації української та англійською мовами, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і трьох додатків.

*Анотація* відображає основний зміст дисертації, достатньо повно розкриває наукові результати та практичну цінність роботи, а також висвітлює публікації здобувачки за темою дисертаційної роботи.

*У вступі* обґрунтовано актуальність теми дисертації, показана її наукова і практична цінність, сформульовані мета і задачі дослідження, які необхідно вирішити для її досягнення, описано зв'язок дисертації з науковими планами та темами, надано інформацію щодо публікації та апробації результатів дисертаційної роботи.

*В першому розділі* висвітлено сутність явища радіопрозорості та зазначено вимоги до радіопрозорих матеріалів. Сформульовано основні функціональні якості радіопрозорих матеріалів та критерії розробки радіопрозорої кераміки у взаємозв'язку її структурно-фазових ознак і діелектричних характеристик, а також виокремлено невирішені аспекти, які вимагають подальших досліджень.

*У другому розділі* подано інформацію про сировинні матеріали, методи виготовлення зразків та надано характеристику методів і обладнання для проведення досліджень, які були реалізовані в рамках дисертаційної роботи.

*В третьому розділі* проведено дослідження субсолідусної структури базової оксидної системи, проведено прогностичну оцінку фазового складу продуктів синтезу, здійснено проектування хімічних і шихтових складів мас та визначено умови отримання хімічно стійкої гетерофазної кераміки, що ілюструє гарне володіння здобувачки методами фізико-хімічного і термодинамічного аналізу та дозволяє скоротити об'єми матеріалоємних високовартісних робіт ще на етапі теоретичних досліджень.

*Четвертий розділ* присвячений розробці рецептурно-технологічних параметрів отримання цельзіан-віллемітової кераміки. На цьому етапі авторка досліджує вплив різних сировинних матеріалів на властивості та фазовий склад цельзіан-віллемітової кераміки, визначає вид та кількість інтенсифікаторів фазоутворення, дуже незначна добавка якого (2 мас. %  $\text{Li}_2\text{O}$  понад 100 %) забезпечує одностадійне формування цільових фаз при зниженій температурі та сприяє поліпшенню діелектричних і фізико-механічних властивостей виробів. Також в даному розділі опрацьовано режими шлікерного лиття носових обтічників та оптимізовано реологічні властивості непластичних шлікерів завдяки використанню комплексної добавки.

*В п'ятому розділі* надано рекомендації щодо використання рецептур розробленої гетерофазної кераміки і запропонованих технологічних рішень при виготовленні носових обтічників. Представлено технологічну схему їх виробництва та проведено порівняльний аналіз розробок з існуючими аналогами.

Кожний розділ має окремі чітко сформульовані висновки, які відповідають змісту певних етапів досліджень. Результати дисертаційної роботи узагальнені у фінальних висновках, де показані переваги запропонованих наукових підходів і технологічних рішень.

Список використаних джерел складається з 103 найменувань, включає вітчизняні та зарубіжні публікації за темою дисертації з переважною ретроспективною 15 років, що свідчить про глибоке опрацювання здобувачкою наукової літератури за обраним напрямком.

**Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладення наукових положень і результатів в опублікованих працях.**

Дисертаційна робота має логічну структуру. Загальні висновки повністю відповідають поставленим завданням дослідження та логічно витікають з отриманих результатів.

Порушень академічної доброчесності (академічного плагіату, самоплагіату, фабрикації, фальсифікації) в дисертації та наукових публікаціях, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації не виявлено, про що свідчить аналіз перевірки дисертації на плагіат. Використання результатів, отриманих іншими науковцями супроводжується посиланнями на відповідні джерела. Усі результати, які винесено автором на захист, отримані самостійно і містяться в опублікованих роботах. У роботах, опублікованих у співавторстві, використані тільки ті ідеї, положення та розрахунки, які є результатом особистих наукових пошуків.

Матеріали дисертації були надані для широкого ознайомлення фахівцям і спеціалістам, а результати та основні положення її повністю висвітлені у друкованих виданнях, пройшли відповідну апробацію на міжнародних науково-практичних конференціях. За темою дисертаційної роботи опубліковано 11 наукових праць, в тому числі: 4 статті у наукових фахових виданнях України, 1 стаття закордонному виданні, яке індексується у міжнародній наукометричній базі Web of Science, 1 колективна монографія та 5 текстів і тез доповідей у матеріалах апробаційного характеру. Наведені публікації містять результати безпосередньої роботи здобувача на окремих етапах дослідження, повною мірою відображають основні положення та висновки роботи. Авторська участь здобувача в роботах, що опубліковані у співавторстві, погоджена зі співавторами та зазначена у дисертаційній роботі.

**По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:**

1. При огляді наукових досліджень за темою дисертації слід було б приділити більше уваги аналізу закордонної літератури, зокрема статей оглядового типу в журналах першого та другого квартилю.

2. В п. 3.2 за результатами графо-аналітичних досліджень в фазотвірних системах здобувач обґрунтовує вибір композицій для синтезу цільових фаз. На мій погляд, доцільно було б підтвердити дані щодо теоретичного фазового складу

продуктів синтезу (табл. 3.7) експериментальними даними. Це дозволило б кількісно оцінити внесок кожної з фаз у властивості керамічного матеріалу.

3. Розділ 4.4. дисертаційної роботи містить опис різних реологічних добавок, які використовуються як регулятори течії. Робота була б більш повною якщо окрім вибору певної добавки був би наведений її реологічний профіль в залежності від концентрації, або були б визначені характерні параметри: мінімальна та максимальна в'язкості, межі текучості, тощо. На с. 124 вказано що «ПВС 1788 є кополімером вінілацетату та полівінілхлориду», однак на с. 125 вже зазначається що «Полівініловий спирт, відомий також як ПВС 1788 ... ».

4. При обґрунтуванні переваг розробок слід звертати увагу не лише на технічну складову, а й враховувати економічні міркування, які також визначають доцільність широкого промислового впровадження.

5. Існують певні недоліки оформлення матеріалу дисертаційної роботи. Так, на SEM-знімках (рис. 4.8) бажано було б вказати фази, які ідентифіковані за даними РФА. Також в дисертації є два рисунки з номером 4.8 (с. 117, 118), а за текстом іноді зустрічаються друкарські помилки. Також назва системи, яка зазначена в анотації  $\text{ZnO} - \text{BaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$  не співпадає з назвою в титулі дисертаційної роботи:  $\text{BaO} - \text{ZnO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ .

Втім, вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи. Дисертація є актуальною і має високу наукову цінність та практичну значущість.

### Висновок

Дисертаційна робота Білогубкіної К.В. «Керамічні матеріали радіотехнічного призначення на основі системи  $\text{BaO}-\text{ZnO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ » є завершеною науково-дослідною роботою, яка розв'язує важливу науково-практичну задачу – створення гетерофазного керамічного матеріалу радіотехнічного призначення на основі композицій системи  $\text{BaO}-\text{ZnO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ . Результати роботи мають важливе значення для галузі знань 16 «Хімічна та біоінженерія» та повною мірою за напрямком і змістом відповідають спеціальності 161 – «Хімічні технології та інженерія».

З огляду на актуальність теми дисертації, яка виконана на високому

науковому рівні, наукову новизну та практичну цінність одержаних результатів, рівень досліджень та їх достовірність, апробацію та публікації, відсутність порушень академічної доброчесності, вважаю, що дисертація здобувачки Білогубкіної К.В. «Керамічні матеріали радіотехнічного призначення на основі системи  $\text{BaO-ZnO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ » повністю відповідає вимогам п.п. 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», від 12.01.2022 р. № 44 та «Вимогам до оформлення дисертацій», затвердженими наказом МОН України від 12.01.2017 р. № 40, а Білогубкіна Карина Володимирівна заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія».

Офіційний опонент

В.о. завідувача кафедри

хімічної технології композиційних матеріалів

Національного технічного університету

України «Київський політехнічний інститут

імені Ігоря Сікорського»,

кандидат технічних наук, доцент



26 липня 2024

