

## РЕЦЕНЗІЯ

рецензента, к.т.н, доц. Нагорного Андрія Олеговича  
на дисертаційну роботу Кривобока Андрія Вікторовича

**«Композиційні радіопоглинаючі матеріали  
на основі ферромагнітних з'єднань»**

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії  
за спеціальністю – 161 Хімічні технології та інженерія

Аналіз дисертаційної роботи Кривобока А.В. на тему «Композиційні радіопоглинаючі матеріали на основі ферромагнітних з'єднань», що представлена для захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут», дає змогу зробити висновок щодо її актуальності, ступеня обґрунтованості наукових положень, висновків, достовірності та значущості отриманих результатів, наукової новизни та практичної цінності, надати розгорнену оцінку дисертації.

### **1. Актуальність теми та зв'язок з науковими планами і програмами**

Активне використання високочастотних струмів в електроніці створює електромагнітний фон, який через багаторазове відбивання від стін у приміщеннях посилюється, що негативно впливає на персонал і може призвести до збоїв у роботі обладнання. Також наразі існує висока потреба в розробці нових маскувальних матеріалів для війська через російську агресію, тому створення матеріалів, здатних знижувати потужність електромагнітного випромінювання, є дуже актуальним.

### **2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

Дисертаційна робота виконувалась на кафедрі технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей НТУ «ХПІ» у рамках завдань держбюджетних НДР МОН України: держбюджетне НДР МОН України: «Підвищення корозійної стійкості та довговічності високотемпературної радіопрозорії

кераміки для об'єктів авіаційної та ракетно-космічної техніки» (№ ДР 0120U001004), в яких здобувач був виконавцем окремих етапів.

### **3. Наукова новизна одержаних результатів**

Дисертація містить наукову новизну для матеріалознавства, найбільш обґрунтованими вважаю наступні пункти:

- проведено тріангуляцію системі  $\text{NiO} - \text{ZnO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$ , визначено співіснуючі фази та евтектики між ферритами та в трикутнику між ферритами та оксидом заліза (III), що дало можливість встановити область перспективних складів нікель-цинкових ферритів та обрати базовий склад  $\text{Ni}_{0,3}\text{Zn}_{0,7}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ;
- встановлення механізму впливу модифікуючих та легуючих добавок, що пояснюється формуванням бар'єрного механізму ємності Окадзакі (відбувається формування структури з напівпровідникових зерен, оточених діелектричними прошарками).

### **4. Практична цінність одержаних результатів та рекомендації щодо їх подальшого використання**

Практична цінність роботи є в тому, що автором, на основі класичних теоретичних та експериментальних досліджень в галузі технології неметалічних сполук, було розроблено склади та технологічні параметри виготовлення композиційних радіопоглинаючих матеріалів.

Зроблено нові композиційні керамічні матеріали на основі славсонітової матриці, що вирізняються підвищеною міцністю та забезпечують зменшення дії електромагнітного випромінювання в діапазоні частот 10 МГц – 100 МГц в середньому на 8,5 дБ.

Створено композиційні керамічні матеріали на основі керамічних мас для виготовлення облицювальної плитки, які зберігають естетичні характеристики. Вони забезпечують зниження зменшення дії електромагнітного випромінювання в діапазоні частот 10 МГц – 100 МГц в середньому на 7,0 дБ, що достатньо для нейтралізації побутового небажаного електромагнітного випромінювання і забезпечення ефективного захисту біологічних та технічних об'єктів.

Встановлено можливість використання розробленого нікель-цинкового фериту як радіопоглинаючого наповнювача в полімерних композиціях, що є важливим для розробки маскувальних матеріалів.

**5. Повнота викладення матеріалів дисертації в наукових працях, які опубліковані автором.**

За результатами дослідження дисертаційної роботи опубліковано 12 наукових праць, з них у фахових наукових виданнях, рекомендованих ДАК Міністерства освіти і науки України – 3, наукових праць, що засвідчують апробацію матеріалів дисертації – 9. Вище зазначене дозволяє стверджувати, що представлена дисертаційна робота є самостійним, завершеним науковим дослідженням, результати якого мають значення для кількох напрямів: матеріалознавство, радіоелектроніка та військово-промисловий комплекс.

**6. Аналіз змісту дисертації. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації**

Робота Кривобока А.В. є завершеною науковою роботою, містить анотацію – українською та англійською мовами, вступ, шість розділів, висновки, список використаних джерел з 80 найменувань та 2 додатки.

Робота спрямована на розробку наукових основ і концепцій створення нових феритових матеріалів, а також визначення технологічних параметрів для виготовлення функціональних радіопоглинаючих матеріалів на їх основі.

Об'єктом дослідження є процеси синтезу нікель-цинкового фериту з високою діелектричною проникністю та розробка складів і технологічний процес виготовлення композиційних радіопоглинаючих матеріалів на його основі.

Предметом дослідження є фізико-хімічні закономірності формування фазового складу і структури Ni-Zn феритів та композиційних матеріалів на їх основі.

В вступі автором обґрунтовано актуальність теми, зазначено зв'язок роботи з науковими темами, сформульовано мету і задачі дослідження, визначено об'єкт, предмет та методи дослідження, показано наукову новизну

та практичне значення отриманих результатів, наведено інформацію про практичне використання, особистий внесок здобувача, апробацію результатів дослідження та їх висвітлення у публікаціях. Дисертантом приводяться відомості щодо структури та обсягу дисертаційної роботи.

У першому розділі автор досліджує основні джерела електромагнітного випромінювання, включаючи негативне побутове випромінювання, їхню потужність і частотний діапазон. Розглянуто класифікацію радіопоглинаючих матеріалів, встановлено характеристики існуючих зразків, а також проаналізовано їхні спеціальні властивості у зв'язку зі структурою та фазовим складом. Ним висвітлено переваги та недоліки сучасного виробництва радіопоглинаючих матеріалів в Україні та за кордоном. Автор визначає напрямки та формулює завдання для досліджень, спрямованих на створення технології виготовлення нікель-цинкового фериту з високою діелектричною проникністю, придатного для створення композиційних радіопоглинаючих матеріалів різного призначення.

В другому розділі дисертації автор приводить відомості щодо сировинних матеріалів, методів виготовлення лабораторних зразків, а також надає характеристику методів та обладнанню для теоретичних і експериментальних досліджень.

В третьому розділі автор теоретично обґрунтовує використання системи  $\text{NiO} - \text{ZnO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$  та здійснює її триангуляцію, чим обґрунтовує області для синтезу ферритів.

В четвертому розділі дисертації автором приведено результати досліджень з розробки складів Ni-Zn ферритів, що дозволяють розширити частотний діапазон ефективного поглинання електромагнітного випромінювання, за рахунок зміни базового складу ( $\text{Ni}_{0,3}\text{Zn}_{0,7}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ) введенням легуючих та модифікуючих добавок. Показано, що створені ферритові матеріали мають високі значення магнітної та діелектричної проникності, що забезпечує зміщення частотного інтервалу поглинання випромінювання в низькі частоти. Зростання діелектричної проникності ферритів, що

спостерігається при збільшенні їх магнітної проникності пояснюється формуванням крупнозернистої структури зі зростанням температури спікання.

В п'ятому розділі дисертації автором описано дослідження зі створення композиційних радіопоглинаючих матеріалів на основі розробленого нікель-цинкового ферриту. Створено композиційну кераміку на основі славсоніту. Створено композиційну кераміку для личкування стін в приміщеннях. Розроблено полімерну композицію для виготовлення гнучких та облежених елементів засобів маскування. Приведено підтвердження, що розроблені композиційні радіопоглинаючі матеріали відповідають комплексу характеристик необхідних для застосування за основним функціональним призначенням.

В шостому розділі дисертації автор приводить дослідження електродинамічних характеристик розроблених композиційних радіопоглинаючих матеріалів та рекомендації до їх використання в частотному діапазоні 10-100 МГц.

Висновки, сформульовані автором, висвітлюють результати дослідження як розв'язання поставлених в дисертації задач. В цілому висновки відповідають вимогам, що висуваються до результатів дисертаційного дослідження на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Список літератури в повній мірі охоплює поле досліджень, підтверджує опрацювання автором значної кількості сучасних наукових джерел.

Додатки містять інформацію про публікації за темою дисертації та впровадження її результатів в навчальний процес кафедри.

## **7. Достовірність отриманих результатів та висновків**

Достовірність теоретичних та експериментальних досліджень базується на детальному вивченні літератури, великому обсязі проведених розрахунково-теоретичних та експериментальних досліджень, що виконано з використанням сучасних методів розрахунку та визначення технічних і експлуатаційних властивостей матеріалів.

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

Дисертація виконана з дотриманням вимог академічної доброчесності, а отримані результати свідчать про її оригінальність. У тексті представлено авторські ідеї, і не виявлено використання ідей інших науковців без відповідних посилань на їхні роботи.

Основні ідеї автора та результати дослідження викладені у трьох фахових статтях. Дисертант також активно брав участь в українських та закордонних конференціях, де апробував ідеї, викладені у дисертаційному дослідженні.

## **9. Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи:**

- 1) доцільно було б навести порівняльний аналіз радіопоглинаючих матеріалів розроблених автором, та відомих аналогів;
- 2) в роботі доцільно було б привести залежність діелектричної проникності від розміру зерен ферриту;
- 3) в роботі доцільно було б привести більший спектр досліджень щодо диспергування ферритової шихти, зокрема різні види подрібнюючого обладнання;

## **10. Висновки**

Дисертаційна робота Кривобока А.В. є завершеною науково-дослідною роботою, яка містить науково-обґрунтовані результати, має наукову новизну та дає перспективи для подальших досліджень. Тема дослідження відповідає галузі знань 16 – «Хімічна інженерія та біоінженерія» та спеціальності 161 – «Хімічні технології та інженерія».

Отже, враховуючи актуальність теми, отримані результати, розв'язують важливу наукову задачу, суть якої полягає в створенні складів нікель-цинкового ферриту з високою діелектричною проникністю та композиційних радіопоглинаючих матеріалів на його основі з ефективним поглинанням в діапазоні 10-100 МГц, вважаю, що дисертаційна робота Кривобока Андрія

Вікторовича «Композиційні радіопоглинаючі матеріали на основі ферромагнітних з'єднань» відповідає вимогам 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціальної вченої ради Закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» від 12.01.2022 р. № 44 та вимогам до оформлення дисертації МОН України від 12.01.2017 № 40, а сам автор, Кривобок Андрій Вікторович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія».

Рецензент – кандидат технічних наук, доцент  
доцент кафедри технології кераміки,

вогнетривів, скла та емалей НТУ «ХПІ»

 Андрій НАГОРНИЙ

Підпис доц. Андрій Нагорний

ЗАСВІДЧУЮ:  
ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР  
НАЦІОНАЛЬНОГО-ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"



"02" 08 2024

Ю. І.