

## РЕЦЕНЗІЯ

рецензента, кандидата технічних наук, доцента Лаврової Інни Олегівни

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

Детальний 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 комплексний висновок щодо її актуальності, ступеня обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, достовірності та значущості отриманих результатів, наукової новизни, теоретичної та практичної цінності, надати загальну оцінку дисертації.

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

Широке застосування в електроніці струмів високої частоти створює фон електромагнітного випромінювання, посилення якого внаслідок багаторазового перевідбивання від стін у приміщеннях негативно впливає персонал і може призвести до збоїв роботи устаткування. Також зараз спостерігається висока потреба розробці нових маскувальних матеріалів для війська в умовах російської агресії, тому створення нових матеріалів для зниження потужності електромагнітного випромінювання є дуже актуальною. Радіопоглинаючі матеріали повинні мати високий електроопір, термостійкість, низьку горючість, а власне покриття – невелику товщину.

### **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 радіопрозорої 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, а з найбільш важливих її доробків вважаю:

- підтвердження використання в ролі модифікатора  $Fe_2O_3$ , який в малих кількостях (до 0,4 мас.%) призводить до збільшення діелектричної проникності в 3 рази;

- використання встановленої кількості легуючих добавок – оксидів кальцію та титану для формуванням зернограничного шару, що характеризується високою діелектричною проникністю та високим електроопором.

Вважаю, що робота дисертанта є внеском в матеріалознавство, зокрема в сучасні матеріали на основі неметалічних сполук.

### **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 силікатів, було розроблено склади та технологічні параметри виготовлення композиційних радіопоглинаючих матеріалів.

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

Також створено композиційні керамічні матеріали на основі керамічних мас для виготовлення облицювальної плитки, які зберігають естетичні характеристики. Вони забезпечують зниження напруженості електромагнітного поля 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.

Досліджено 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, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації – 9. Зазначене вище дозволяє стверджувати, що представлена дисертаційна робота є самостійним, завершеним науковим дослідженням, результати якого мають значення для матеріалознавства, радіоелектроніки та оборонної складової нашої країни.

#### **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 та 2 додатки.

Дисертаційні дослідження спрямовані 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.

В роботі 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 розглядає основні джерела електромагнітного випромінювання, зокрема, негативного побутового електромагнітного випромінювання, їхню потужність та частотний діапазон. Досліджено класифікацію радіопоглинаючих матеріалів та встановлено характеристики існуючих радіопоглинаючих матеріалів, а також проаналізовано їхні спеціальні властивості у взаємозв'язку зі структурою та фазовим складом. Наведено переваги та недоліки сучасного стану виробництва радіопоглинаючих матеріалів в Україні та за кордоном.

Автор визначає напрями та формує завдання досліджень, що спрямовані на створення технології виготовлення нікель-цинкового ферриту з високою діелектричною проникністю та придатних для виготовлення композиційних радіопоглинаючих матеріалів різного призначення.

В другому розділі автором наводяться відомості щодо сировинних матеріалів, методів виготовлення лабораторних зразків, а також надано 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 тріангуляцію, чим обґрунтовує області для синтезу ферритів.

В четвертому розділі дисертації автор приводить 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. 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 можна пояснити формуванням крупнозернистої структури зі зростанням температури спікання

В п'ятому розділі автором описано проведені 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 об'ємних елементів засобів маскування.

Приводяться підтвердження, що розроблені автором 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 вирішення висунутих в дисертації завдань. В цілому висновки відповідають вимогам, які висуваються до результатів дисертаційного дослідження на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Список літератури широко охоплює предметне поле досліджень, повною мірою відображає опрацювання автором значної кількості сучасних наукових джерел.

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

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

Достовірність результатів дисертаційної роботи підтверджується апробацією результатів досліджень на міжнародних науково-технічних

конференціях, публікаціями у відкритому друку, а також дослідженнями розроблених матеріалів в провідних в даній сфері лабораторіях України.

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

Дисертація виконана з дотримання вимог академічної доброчесності, отримані результати свідчать про оригінальність роботи. У тексті містяться авторські ідеї, і не виявлено використання ідей інших науковців без посилання на їх роботи.

Основні ідеї автора та результати дослідження викладено у трьох фахових статтях, а також дисертант активно приймав участь в українських та закордонних конференціях, де була проведена апробація ідей, що викладено у дисертаційному дослідженні.

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

1) доцільно привести більш детальний опис методик визначення електрофізичних характеристик, а також експериментально дослідити вплив температури на них;

2) в роботі можна було б привести залежність впливу гранулометричного складу ферритового прес-порошку на досліджувані властивості отриманого матеріалу;

3) необхідно було надати більш детальний опис механізму формування зернограничного шару та впливу його структури на діелектричні властивості;

4) для попередніх досліджень створення полімерних композицій, доцільно було б спочатку відпрацювати розподіл ферритового наповнювача на парафіновій матриці.

Вказані недоліки та зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи.

#### **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 та практичну значущість проведених досліджень, 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

заступник директора з навчальної роботи

Навчально-наукового інституту

хімічних технологій та інженерії

Національного технічного університету

«Харківський політехнічний інститут»

Інна ЛАВРОВА

