

ВІДГУК

офіційного опонента

Миرونюка Олексія Володимировича

на дисертаційну роботу Кривобока Андрія Вікторовича

«Композиційні радіопоглинаючі матеріали

на основі ферримагнітних з'єднань»,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 161 Хімічні технології та інженерія

Актуальність теми

Широке застосування струмів високої частоти в електроніці створює фон електромагнітного випромінювання, посилення якого внаслідок багаторазового відбивання від стін у приміщеннях негативно впливає на персонал і може призвести до збоїв у роботі устаткування. Сьогодні також спостерігається висока потреба у розробці нових маскувальних матеріалів для війська в умовах російської агресії. Резюмуючи вище наведене можна сказати, що зараз створення нових матеріалів для зниження потужності електромагнітного випромінювання є дуже актуальним завданням. Тому дисертаційна робота Кривобока Андрія Вікторовича, що спрямована на розвиток наукових основ та ідей створення нових ферритових матеріалів та технологічних параметрів виготовлення функціональних радіопоглинаючих матеріалів на їх основі є актуальною.

В дисертаційній роботі вирішується науково-технічна задача з розробки нікельцинкового фериту з високою діелектричною проникністю та композиційних радіопоглинаючих матеріалів на його основі з ефективним поглинанням в діапазоні 10-50 МГц. Приведено оптимізацію технологічних процесів виготовлення ферритів та радіопоглинаючих матеріалів на їх основі з відповідною структурою і заданим складом, що забезпечує підвищення радіопоглинаючих властивостей цих матеріалів.

Тема дисертації пов'язана з виконанням науково-дослідних робіт кафедри

«Технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей» НТУ «ХПІ». Зокрема, здобувач брав участь у держбюджетній НДР МОН України: «Підвищення корозійної стійкості та довговічності високотемпературної радіопрозорої кераміки для об'єктів авіаційної та ракетно-космічної техніки» (№ ДР 0120U001004) Науковий керівник НДР: доктор технічних наук, професор Георгій Лісачук. Участь автора – виконавець окремих етапів.

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

Обґрунтованість наукових положень базується на детальному вивченні літератури, великому об'ємі проведених розрахунково-теоретичних та експериментальних досліджень, які виконано з використанням сучасних методів розрахунку та визначення технічних і експлуатаційних властивостей матеріалів.

При вивченні фазових та структурних характеристик матеріалів застосовані інструментальні методи та апаратура, які забезпечують низький рівень похибки дослідження.

Результати експериментів, теоретичне обґрунтування та висновки, які сформульовані в дисертації, є цілком переконливими.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність теоретичних та експериментальних досліджень наведених в дисертаційній роботі Кривобока А.В., не викликає сумнівів, оскільки вони проведені на високому науково-технічному рівні з використанням термодинамічних розрахунків та сучасних інструментальних методів досліджень. Були визначені електрофізичні, фізико-механічні, експлуатаційні властивості матеріалів; виконано рентгено-фазовий та мікроструктурний аналізи їх складу та структури. Результати експериментів, теоретичне обґрунтування та висновки, які сформульовані в дисертації, є цілком переконливими, обґрунтованими і логічними та не суперечать положенням цієї галузі знань, сформульованими, обґрунтованими та підтвердженими вітчизняними та зарубіжними дослідниками.

До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступне:

- *вперше* проведено триангуляцію системі $\text{NiO} - \text{ZnO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$ за допомогою отриманого рівняння теплоємності для NiFe_2O_4 та ZnFe_2O_4 , 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 $\text{Ni}_{0,3}\text{Zn}_{0,7}\text{Fe}_2\text{O}_4$;

- *вперше* встановлено оптимальну частоту обертання планетарного млина (400 об./хв, 85-90 % потужності) для подрібнення вихідних ферритоутворюючих оксидів і ферритового порошку та кількість поверхнево-активної речовини для утворення подвійного електричного шару, що підвищило густину та збільшило магнітну й діелектричну проникності нікель-цинкових ферритів.

- *вперше*, експериментально підтверджено, що незначне збільшення вмісту оксиду заліза (0,2-0,4 мас. %) у складі нікель-цинкового ферриту $\text{Ni}_{0,3}\text{Zn}_{0,7}\text{Fe}_2\text{O}_4$ понад стехіометрію виконує роль модифікатора та приводить до збільшення діелектричної проникності в 3 рази. Що також пов'язано з формуванням бар'єрного механізму ємності Окадзакі на основі структури з напівпровідникових зерен, оточених діелектричними прошарками, що відбувається на етапі синтезу;

- *вперше* встановлено вміст легуючих добавок – оксидів кальцію та титану, що на 50-70 % підвищують діелектричну проникність досліджених ферритів. Цей механізм забезпечується формуванням зернограничного шару, що характеризується високою діелектричною проникністю та високим електроопором (механізм ємності Окадзакі);

- *вперше* за результатами комплексних розрахункових і експериментальних досліджень розроблено технології виробництва композиційних радіопоглинаючих матеріалів на основі створеного нікель-цинкового ферриту.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.

Запропоновано базовий склад, легуючі добавки та режими спікання для отримання нікель-цинкового ферриту з високою діелектричною проникністю, що

забезпечують збільшення поглинання випромінювання в інтервалі частот від 10 МГц до 100 МГц.

Показано, що малі добавки оксиду заліза (понад стехіометрію) у складі нікель-цинкового ферриту підвищує їх питомий електроопір до $10^5 - 10^6$ Ом·м, забезпечуючи високий рівень поглинання випромінювання у досліджуваному частотному інтервалі.

Створено композиційні керамічні матеріали на основі славсонітової матриці, що характеризуються підвищеною міцністю та термостійкістю. Встановлено зниження дії електромагнітного випромінювання у діапазоні частот 10-100 МГц в середньому на 8,5 дБ порівняно.

Створено композиційні керамічні матеріали на основі керамічних мас для виготовлення личкувальної плитки зі збереженням естетичних характеристик, що забезпечує зниження напруженості електромагнітного поля у діапазоні частот 10-100 МГц в середньому на 7,0 дБ, що є достатнім для нівелювання побутового небажаного електромагнітного випромінювання і забезпечує ефективний захист біологічних і технічних об'єктів.

Встановлено можливість використання розробленого нікель-цинкового ферриту в якості радіопоглинаючого наповнювача полімерних композиціях, що мають високу актуальність з точки зору розробки маскувальних матеріалів (середній рівень зниження потужності електромагнітного випромінювання складає 9,0 дБ).

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Результати досліджень висвітлено в 12 публікаціях, серед яких: 3 статті у наукових фахових виданнях України та 9 тез у збірках доповідей міжнародних конференцій. Участь здобувача у роботах, що опубліковані у співавторстві зазначена у дисертаційній роботі.

Опубліковані матеріали повністю відображають зміст дисертації та відповідають вимогам пункту 8 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44.

Оцінка змісту дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Кривобока А.В. складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел, 2 додатків.

У вступі дисертантом обґрунтовано актуальність теми, зазначено зв'язок роботи з науковими темами, сформульовано мету і задачі дослідження, визначено об'єкт, предмет та методи дослідження, приведено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено інформацію про практичне використання, особистий внесок здобувача, апробацію результатів дослідження та їх висвітлення у публікаціях. Автором показано відомості щодо структури та обсягу дисертаційної роботи.

У першому розділі автором досліджено основні джерела електромагнітного випромінювання негативного побутового та військового (радіо-локаційного), 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. Дисертантом висвітлено переваги та недоліки сучасного виробництва радіопоглинаючих матеріалів. Визначено напрямки та сформульовано завдання для досліджень, що спрямовані на створення технології виготовлення нікель-цинкових ферритів з високою діелектричною проникністю, придатного для створення композиційних радіопоглинаючих матеріалів різного призначення.

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

В третьому розділі теоретично обґрунтовано використання системи $\text{NiO} - \text{ZnO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$ виготовлення нікель-цинкових ферритів, приведено результати тріангуляції та обґрунтування областей для досліджень.

У четвертому розділі дисертації автором наведено результати досліджень з розробки складів нікель-цинкових ферритів, що дозволяють розширити частотний діапазон ефективного поглинання електромагнітного випромінювання завдяки зміні базового складу ($\text{Ni}_{0,3}\text{Zn}_{0,7}\text{Fe}_2\text{O}_4$) шляхом введення легуючих та модифікуючих

добавок. Показано, що створені феритові матеріали мають високі значення магнітної та діелектричної проникності, що забезпечує зміщення частотного інтервалу поглинання випромінювання в сторону зменшення частоти. Показано, що зростання діелектричної проникності феритів пов'язано з формуванням бар'єрного механізму ємності Окадзакі на основі структури з напівпровідникових зерен, оточених діелектричними прошарками.

В п'ятому розділі дисертантом приведено результати дослідження зі створення композиційних радіопоглинаючих матеріалів на основі розробленого нікель-цинкового фериту. Автором створено:

1. Радіопоглинаючі композиційні керамічні матеріали на основі славсонітової матриці, які характеризуються підвищеною міцністю та термостійкістю. Встановлено, що ці матеріали знижують дію електромагнітного випромінювання у діапазоні частот 10-100 МГц в середньому на 8,5 дБ.

2. Радіопоглинаючі композиційні матеріали на основі керамічних мас для виготовлення личкувальної плитки, які зберігають естетичні характеристики та забезпечують зниження напруженості електромагнітного поля у діапазоні частот 10-100 МГц в середньому на 7,0 дБ. Що є достатнім для нівелювання побутового небажаного електромагнітного випромінювання і забезпечує ефективний захист біологічних та технічних об'єктів.

3. Можливість використання розробленого нікель-цинкового фериту в якості радіопоглинаючого наповнювача у полімерних композиціях, що є актуальним з точки зору розробки маскувальних матеріалів. Середній рівень зниження потужності електромагнітного випромінювання складає 9,0 дБ.

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 у дисертації завдань. У цілому висновки відповідають вимогам, що висуваються до результатів дисертаційного дослідження на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Додатки містять інформацію про публікації за темою дисертації та впровадження її результатів у навчальний процес кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

Анотація відображає основний зміст дисертації і достатньо повно розкриває наукові результати та практичну цінність роботи.

Академічна доброчесність

Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації, не виявлено.

Зазначено, що 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.

По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:

При формулюванні мети роботи (на с. 39) автор спирається на актуальність дослідження, в той час як основна проблема сформульована недостатньо виразно. Зокрема, з тексту розділу незрозуміло що саме в існуючій технології одержання та властивостях існуючих матеріалів потребувало удосконалення.

В літературному огляді (с. 31) автор вказує що звичайний тиск пресування заготовок з феритів складає 50-600 МПа, але в описі методів на с. 40 зазначається що шихту брикетували під тиском 20 МПа. Не зовсім зрозуміло чим зумовлена ця відмінність.

В якості поверхнево-активної речовини, що полегшує процеси формування заготовок обрано триполіфосфат натрію, однак незрозуміло чому він вибраний з широкого переліку ПАР і чим зумовлена його концентрація.

В роботі для синтезу ферритів обрано оксидну технологію та відсутні пояснення такого вибору, хоча в літературному огляді і приведено кілька різних способів.

В четвертому розділі (в кінці п. 4.3) результати досліджень інтерпретуються таким чином, що збільшення температури випалу викликає ріст діелектричної

проникності створених ферритів за рахунок збільшення розмірів кристалів твердого розчину NiFe_2O_4 та ZnFe_2O_4 . Вважаю, що для обґрунтування цього пояснення обов'язково потрібно наводити детальне дослідження мікроструктури, зокрема необхідно було б окремо дослідити вплив розміру кристалів на діелектричну проникність.

На с. 108 за результатами досліджень автор робить висновок що композити епоксидна смола-ферит «є перспективними для виготовлення захисних гнучких матеріалів», однак відомо що отверджена епоксидна смола не є гнучкою. Можливо, використовувалася особлива марка цієї смоли, що, нажаль, не вказано в описі матеріалів.

І, на мою думку, головне зауваження – відсутність порівняльного аналізу композиційних радіопоглинаючих матеріалів розроблених автором та відомих аналогів, хоча вказання на с. 116 констатується те що «розроблені композиційні радіопоглинаючі матеріали мають рівень захисних властивостей не нижчій за сучасних матеріалів, що використовуються в світовій практиці».

Існують незначні недоліки оформлення матеріалу дисертаційної роботи, зокрема некоректність формулювань, друкарські, пунктуаційні та стилістичні помилки.

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи, яка є цілісною науковою працею.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Кривобока Андрія Вікторовича «Композиційні радіопоглинаючі матеріали на основі ферримагнітних з'єднань» за своїм змістом відповідає спеціальності 161 – Хімічні технології та інженерія. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка розв'язує важливу науково-практичну задачу, що спрямована на розробку складів нікель-цинкового ферриту з високою діелектричною проникністю та композиційних радіопоглинаючих матеріалів на його основі з ефективним поглинанням в діапазоні 10-100 МГц.

Подана дисертаційна робота «Композиційні радіопоглинаючі матеріали на основі ферримагнітних з'єднань» Кривобока А.В. відповідає спеціальності 161 –

Хімічні технології та інженерія, відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, а саме вимогам пунктів 6, 7, 8 і 9 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44, а здобувач Кривобок Андрій Вікторович 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

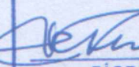
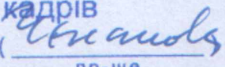
«Київський політехнічний інститут

імені Ігоря Сікорського»,

кандидат технічних наук, доцент



23 липня 2024 р.

Олексій МИРОНЮК	
Підпис гр. _____	
ЗАСВІДЧУЮ	
Відділ кадрів	
 підпис	 пр-ще