

СИНТЕЗ УЛЬТРАДИСПЕРСНИХ ФЕРИТИВ ДЛЯ РАДІОПОГЛИНАЮЧИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ: НОВІ ПІДХОДИ ТА МОЖЛИВОСТІ

С.Л. Лігезін¹, О.О. Гребенюк¹, О.Ю. Федоренко², Є.В. Акименко³

¹ аспірант кафедри ТКВСЕ, НТУ «ХПІ», Харків, Україна

² завідувачка кафедри ТКВСЕ, д-р техн. наук, професор, НТУ «ХПІ», Харків, Україна

³ студент кафедри ТКВСЕ, НТУ «ХПІ», Харків, Україна

akademikligezin@gmail.com

Захист від радіолокаційних систем відіграє вирішальну роль у підвищенні життєздатності військової техніки. Як відомо, стелс-геометрія літака лише частково вирішує проблему протидії радіолокації, ефективно відхиляючи радіолокаційні хвилі лише сантиметрової та міліметрової довжини. В цьому випадку важливим доповненням технології приховування об'єкту стає використання покриття, здатного поглинати сигнал від радару.

Радіопоглинаюче покриття не може поглинати радіохвилі на всіх частотах. Склад і морфологія матеріалу мають бути ретельно підібрані для поглинання радіолокаційних хвиль у певному діапазоні частот. Радіопоглинаючий матеріал (РПМ) – це спеціальний клас композитних матеріалів, що застосовуються до поверхні військових літаків (таких як F-22 Raptor і F-35 Lightning II) і стелс-версій тактичних безпілотних літальних систем (таких як Boeing X-45), щоб ускладнити їх виявлення радаром [1]. РПМ працює за принципом поглинання літальним апаратом енергії електромагнітних хвиль для мінімізації інтенсивності відбитого сигналу.

Більшість антирадарних матеріалів є смолами або фарбами, що містять феромагнітні частинки, які вбудовані у полімерну матрицю з високою діелектричною проникністю. Коли електромагнітне випромінювання потрапляє на покриття, його молекули коливаються, перетворюючи радіохвилі або мікрохвилі на тепло, яке розсіюється, а не відбиває енергію назад до джерела.

Феритовмісні композити є найефективнішими матеріалами, які можна використовувати як радіопоглинаючі і радіозахисні завдяки поєднанню відмінних діелектричних і магнітних властивостей феритів. Ферити – це клас керамічних магнітних матеріалів (напівпровідників або ізоляторів) з низькою електропровідністю, що робить їх ідеальними для використання у високочастотних пристроях, де втрати енергії повинні бути мінімізовані. Склад фериту відображає загальну формулу $M-(Fe_xO_y)$, де М позначає вміст іонів двовалентних металів (Ba, Co, Ni та ін.).

Ферити демонструють широкий спектр магнітних характеристик, таких як магнітна сприйнятливість, коерцитивна сила, залишкова намагніченість і насичення магнітного поля. Суттєвими перевагами феритів є низька щільність матеріалу, здатність ефективно поглинати ЕМВ в діапазоні частот 1–50 ГГц, а також можливість частотної селективності, що робить їх універсальним матеріалом для протидії різноманітним радіолокаційним системам. Висока термостійкість феритів обумовлює можливість використання в умовах високих температур, а висока хімічна стійкість є позитивним фактором, наприклад, у виробництві РПМ. Характеристики феритів, зокрема, морфологія кластерів, форма і розмір частинок істотно залежать від методу синтезу, що, в свою чергу, впливає на їх магнітні властивості. Отже, властивості феритів можна регулювати шляхом зміни методу або умов їх синтезу.

Аналіз світових тенденцій показав, що перспективними напрямками у сфері створення РПМ є розробка матеріалів з розширеним діапазоном поглинання, малою

товщиною та малою щільністю. На нашу думку, значний інтерес представляє розробка ширококугових РПМ для створення екрануючих композитів. Розвиток вітчизняного виробництва феритів, здатних конкурувати на світовому ринку, є, безперечно, актуальним завданням, яке потребує використання науково обґрунтованих рішень при виборі технологічних підходів.

Метою нашої роботи є визначення оксидних композицій та параметрів енергоощадного синтезу феритів нікелю і кобальту на основі діаграм стану відповідних оксидних систем та дослідження феритів, отриманих традиційним методом твердофазового спікання та шляхом піросинтезу.

Нітратно-цитратним методом синтезовано ферити типу шпінелі $\text{CoO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ та $\text{NiO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$. В якості вихідних компонентів використовували хімічно чисті нітрати $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$. Як відновник використовували лимонну кислоту ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$). Нітратно-цитратний метод синтезу полягає в розчиненні нітратів металів у воді з подальшим додаванням лимонної кислоти. Лимонна кислота діє як комплексоутворювач, стабілізуючи іони металів у розчині та сприяючи утворенню однорідної суміші. Кількість реагентів, використаних для синтезу, визначали розрахунковим шляхом з урахуванням стехіометричних співвідношень феритів типу шпінелі. Із дозованих вихідних речовин отримували водний розчин, який нагрівали для попереднього випаровування надлишкової вологи. Після збільшення в'язкості розчину спостерігалось зростання температури до деякого критичного значення, при якому відбувалося самозаймання.

В результаті були отримані продукти синтезу, які відрізнялися високою дисперсністю і низькою насипною щільністю. Фазовий склад продуктів синтезу визначали за допомогою якісного рентгеноструктурного аналізу на дифрактометрі ДРОН-3М у $\text{CuK}\alpha$ -випромінюванням. Середній розмір часток розраховували за формулою Шерера за даними вимірювання ширини дифракційних максимумів на дифрактограмах зразків. Як показали результати досліджень у порошках феритів, отриманих методом нітратно-цитратного піросинтезу, домішкові фази не виявлені. Рефлекси основних фаз невеликі і мають дифузну (широку) форму, що свідчить про високу дисперсність часток.

Слід зазначити, що нітратно-цитратний метод є досить гнучким і може бути адаптований для синтезу феритів (в т.ч. комплексних) з високою чистотою. Змінюючи співвідношення розчинів нітратів та умови синтезу, можна регулювати електрофізичні та магнітні характеристики феритів, а також їх фізико-механічні та теплофізичні властивості. Застосування інших відновників (сечовини, гліцину), що відрізняються за складом і хімічною будовою, а також кількістю газоподібних продуктів реакції, дозволить, на нашу думку, змінювати температуру синтезу, а отже, впливати на розмір та морфологію часток синтезованої сполуки. Дослідження в цьому напрямку будуть продовжені з метою вдосконалення методів синтезу та пошуку шляхів масштабування технології виробництва феритів у промислових обсягах.

Можна очікувати, що застосування ультрадисперсних порошоків феритів у складі радіопоглинаючих композиційних матеріалів сприятиме скороченню технологічних витрат на їх виготовлення та забезпечить зниження відбиття електромагнітних хвиль поверхнею об'єктів техніки та надійність захисту від виявлення радіолокаційними системами.

Список літератури:

1. Seong-Hwang Kim, Seul-Yi Lee, Yali Zhang, Soo-Jin Park, Junwei Gu. (2023) Carbon-Based Radar Absorbing Materials toward Stealth Technologies. *Advanced Science*, 10, 2303104.
2. Puthucher, Smitha, Singh Isha, Najim M., Panwar Ravi, Singh Dharmendra, Agarwala Vijaya, Varma Ghanshyam (2016). Development of thin broadband radar absorbing materials using nanostructured spinel ferrites. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. 27. DOI 10.1007/s10854-016-4760-6.