

ВИБІР НАПОВНЮВАЧІВ ДЛЯ ГІБРИДНИХ РАДІОПОГЛИНАЮЧИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

О.О. Гребенюк¹, О.Ю. Федоренко², С.В. Лежавська³

¹аспірант кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей, НТУ «ХПІ», Харків, Україна

²завідувачка кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей, НТУ «ХПІ», Харків, Україна

³студентка кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей, НТУ «ХПІ», Харків, Україна

Радіопоглинаючі композити складаються з полімерної матриці, яка впливає на структурні та експлуатаційні властивості композиту, та наповнювачів, варіювання яких дозволяє змінювати характер та характеристики поглинання. Для наповнювачу важливими є не тільки фазовий склад, вміст, розміри часток, товщина покриття, але й метод синтезу.

Метою роботи є порівняльний аналіз феритів різного складу, як наповнювачів радіо поглинаючих композитів. Як критерії ефективності оцінювали наступні характеристики матеріалів: резонансні частоти, ширину смуг поглинання понад 10 та 20 дБ, доступність, вартість та екологічність, а також наявність/відсутність додаткових етапів, що ускладнюють або здорожчують технологію.

Авторами [1] досліджено композити на основі поліанілінової матриці, наповненої карбоновими нанотрубками та NiZn- або BaZn-феритами, які отримані методами рідко- та твердофазного синтезу. Глибина піку послаблення варіювалася від 20,64 до 38 дБ за частот 12,8÷13 ГГц. Наповнювачі, одержані твердофазним синтезом сприяють сильнішому високочастотному послабленню, а ті, які одержували за участі рідкої фази – низькочастотному. В обох випадках збільшення товщини зсувало пік послаблення в бік низьких частот та підвищувало інтенсивність низькочастотного послаблення.

В роботі [2] як наповнювач використовували NiZnCo- та LiZnCo-ферити, перший з яких синтезовано співосадженням, а другий – золь-гель методом. За товщини 1 мм композити мали послаблення ~7дБ за 8÷12 ГГц та ~10дБ за 12÷13 ГГц і 14,5÷18 ГГц. При цьому, наповнювач $Ni_{0,3}Zn_{0,4}Co_{0,3}Fe_2O_4$ вирізнявся сильнішим ефектом.

Фахівці [3] розробили композит на основі акрилонітрил-бутадієнової матриці з NiZn- та MnZn-феритами та технічним вуглецем при співвідношенні наповнювачу до матриці 3:1. Глибина піків послаблення становила 49–69 дБ за 3,25÷5,26 ГГц та 45–57 дБ за 1,35÷1,86 ГГц для композитів без вуглецю та вуглецевмісних відповідно.

Авторами роботи [4] досліджено ZnCe-ферит, синтезований за допомогою механохімічного методу при варіюванні вмісту Се в межах 0,01–0,05 моль. Послаблення в інтервалі 11÷11,3 ГГц становило 12,5÷17,6 дБ. Збільшення вмісту Се зсувало пік в бік високих частот з одночасним посиленням поглинання.

Автори [5] твердофазним методом синтезували BaMn-ферит, при варіюванні вмісту Ва від 0 до 0,2 моль. В інтервалі частот 8,4÷10,5 ГГц ефект послаблення складав 14–18 дБ. Збільшення долі Ва зсуває піки в бік високих частот. За вмісту 0,1 моль спостерігається сильніше низькочастотне послаблення; а за 0,2 моль Ва смуга поглинання розширюється.

Дослідники [6] вивчали феритові плити, відформовані з BaCoCu-фериту, отриманого твердофазним синтезом. Встановлено послаблення ЕМВ понад 18 дБ за частоти 9÷12 ГГц, причому послаблення збільшується з частотою.

Фахівцями [7] створено нанокompозитну багатошарову плівку, одержану золь-гель методом, перший шар якої складається з TiO_2 та $\text{BaFe}_{10,5}\text{Al}_{1,5}\text{O}_{19}$ (1); другий шар – з $\text{BaFe}_{10,1}\text{Al}_{1,9}\text{O}_{19}$ (2); та третій шар – $\text{BaFe}_{11,4}\text{Cr}_{0,6}\text{O}_{19}$ (3). Показники послаблення ЕМВ для 1,2 і 3 шарів відповідно становили: 15 – 20 дБ в діапазоні частот 7,1÷14,35 ГГц; 13–37 дБ для частот 7,45÷14,6 ГГц, 15–25 дБ для 7,25÷13,5 ГГц. Багатошарова плівка поєднує вищенаведені ефекти і забезпечує послаблення ЕМВ в межах 15–38 дБ в діапазоні частот 7,25÷13,2 ГГц.

Автори роботи [8] за допомогою золь-гель методу отримали ВаТі-ферити при варіюванні вмісту Ті ($x = 0-0,6$ моль), які використовували разом із карбонільним залізом у співвідношенні 1:0,3. Для зразку з $x = 0$ послаблення становило 9,2–18,16 дБ за 6,35÷13,7 ГГц; за $x = 0,2$ моль послаблення складало 15–30,7 дБ за 5,7÷13,65 ГГц; за $x = 0,4$ моль послаблення змінювалося від 13,2 до 26,8 дБ за 5,9÷13,8 ГГц, а для $x = 0,6$ моль – від 11,8 до 23,2 дБ за 5,8÷13,8 ГГц. Отже, збільшення частки Ті понад 0,2 моль зменшує послаблення ЕМВ, а збільшення товщини композиту зсуває піки в бік низьких частот при збільшенні ширини смуги поглинання.

В роботі [9] досліджено CuNiZn-ферит твердофазного синтезу при варіюванні вмісту Cu від 0 до 0,4 моль. Для різних складів послаблення складає 33,8–57,5 дБ за частоти 2,2–23,6 МГц. Збільшення долі Cu звужує смугу поглинання та зсуває піки в бік високих частот.

Порівняльний аналіз розглянутих розробок дозволяє виокремити як найбільш перспективні наповнювачі (завдяки високим характеристикам поглинання, вкупі зі значною шириною смуг поглинання) для одержання широкополосних радіопоглинаючих матеріалів на основі гібридних композицій такі сполуки та їхні комбінації:

- 1) ферит складу $\text{Ba}_2\text{Co}_{1,8}\text{Cu}_{0,2}\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$;
- 2) $\text{Ni}_{0,3}\text{Zn}_{0,4}\text{Co}_{0,3}\text{Fe}_2\text{O}_4$ в матриці багатошарових карбонічних нанотрубок;
- 3) КЗ та $\text{Fe}_{10,1}\text{Al}_{1,9}\text{O}_{19}$ або $\text{BaFe}_{11,8}\text{Ti}_{0,2}\text{O}_{19}$ при співвідношенні 0,3 : 1;
- 4) $\text{Cu}_{0,2}\text{Ni}_{0,2}\text{Zn}_{0,6}\text{Fe}_2\text{O}_4$.

Список літератури:

1. Liu, R., Yang, L., Wang, L. et al. An investigation on preparation and wave-absorbing properties of carbon nanotube/ferrite/polyaniline complexes. *J Mater Sci: Mater Electron* 35, 2065 (2024).
2. Madhumita Dalal; Electromagnetic shielding: Effect of Ni and Li substitution in co substituted Zn-ferrite. *AIP Conf. Proc.* 12 January 2024; 2995 (1): 020046.
3. Kruželák, J., Kvasničáková, A., Hložeková, K. et al. Experimental investigation of absorption shielding efficiency of rubber composites. *Polym. Bull.* 80, 13051–13068 (2023).
4. Mashadi, M., Suyanti, S., Setiawan, J. et al. Magnetic and Microwave Absorbing Properties of Cerium Substituted Zinc Ferrite Synthesized Using Milling Technique. *J Supercond Nov Magn* 36, 721–731 (2023).
5. Luthfianti, Halida & Widanarto, W. & Ghoshal, Sib Krishna & Effendi, Muh & Cahyanto, Wahyu. (2020). Magnetic and microwave absorption properties of Mn 4+ doped barium-natural ferrites prepared by the modified solid-state reaction method. *Journal of Physics: Conference Series.* 1494. 012043.
6. Xu, F., Bai, Y., Jiang, K. et al. Characterization of a Y-type hexagonal ferrite-based frequency tunable microwave absorber. *Int J Miner Metall Mater* 19, 453–456 (2012).
7. Qiu, J., Wang, Y. & Gu, M. Microwave absorption properties of substituted $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{TiO}_2$ nanocomposite multilayer film. *J Mater Sci* 42, 166–169 (2007).
8. Feng, W., Cao, Y., Gang, J., & Su, W. (2018). Preparation and microwave absorption property of $\text{BaFe}_{12-x}\text{Ti}_x\text{O}_{19}$ /carbonyl iron powder nanocomposites. *Integrated Ferroelectrics*, 190(1), 63–70.
9. Ruiz, María & Bercoff, Paula & Jacobo, Silvia. (2013). Shielding properties of CuNiZn ferrite in the radio frequency range. *Ceramics International.* 39. 4777–4782.