

СКЛАДНООКСИДНІ НАНОМАТЕРІАЛИ ЗІ СТРУКТУРОЮ ШПІНЕЛІ

Василевська В. В., Руденко А. Б., Камінський О. М., Кучерук С. В., Денисюк Р. О.
Житомирський державний університет імені Івана Франка

Складнооксидні наноматеріали зі шпінельною структурою становлять клас хімічних сполук, до якого належать шпінелі, ферити та хроміти загальної формули AB_2O_4 , а також гранати типу $A_3Fe_5O_{12}$, де А і В відповідають іонам двох- та тривалентних металів. Для цих матеріалів характерні висока термічна й хімічна стабільність, а також широкий спектр фізичних властивостей, зокрема магнітні та електропровідні характеристики, значна питома поверхня, адсорбційна активність і каталітичні властивості. Завдяки цьому вони розглядаються як перспективні матеріали для різноманітних промислових застосувань, включно з каталізом, створенням оптичних сенсорів і феромагнітних систем [1-2].

Зокрема, ферити є складнооксидними сполуками із загальною формулою MFe_2O_4 , де М зазвичай є двовалентним іоном металу, таким як $Cu(II)$, $Zn(II)$, $Mg(II)$, $Ni(II)$, $Fe(II)$, $Co(II)$ або $Mn(II)$. Магнітом'які ферити кристалізуються в кубічній кристалічній системі та мають шпінельну структуру, аналогічну природному мінералу $MgAl_2O_4$.

На прикладі зазначених сполук доцільно розглянути основні закономірності формування магнітних властивостей феримагнетиків. У роботах [3-4] показано, що наявність і характер магнітних властивостей зумовлюються кристалічною будовою матеріалів, зокрема розподілом іонів двовалентних металів і іонів Феруму серед іонів Оксигену. Елементарна комірка шпінелі має форму куба і містить вісім структурних

одиниць типу MeFe_2O_4 , що відповідає 32 іонам Оксигену, 16 іонам тривалентного Феруму та 8 іонам двовалентного металу. При цьому в елементарній комірці потенційно можуть бути зайняті 8 тетраедричних (c) та 16 октаедричних (b) міжвузлових позицій (рис. 1.1).

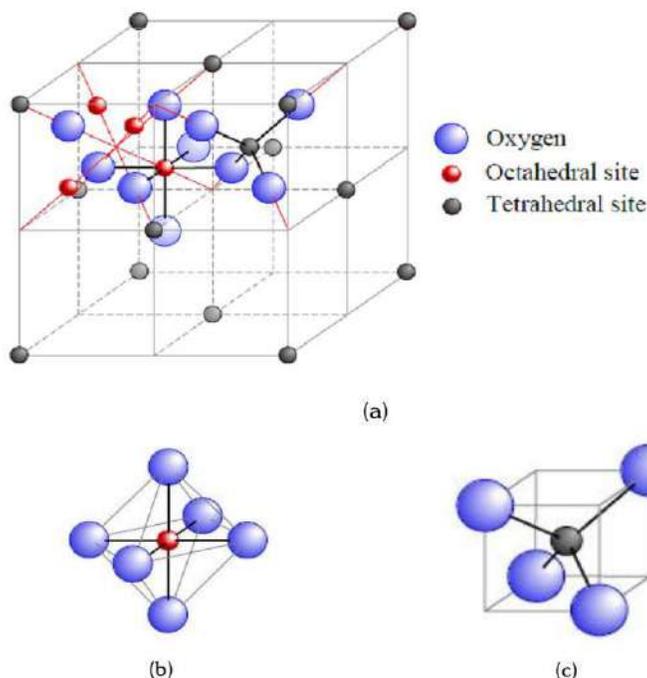


Рис.1.1. Елементарна комірка шпінелі AB_2O_4 . Для спрощення показана тільки передня частина комірки.

Зокрема, нікелевий ферит належить до зворотних шпінелей, у яких елементарна комірка містить вісім формульних одиниць NiFe_2O_4 . При цьому половина іонів Феруму локалізується в тетраедричних позиціях (А-підгратка), тоді як інша половина разом з іонами Ni^{2+} займає октаедричні позиції (В-підгратка). Відповідно, кристалічну структуру нікелевого фериту можна подати формулою $(\text{Fe}^{3+})_A(\text{Ni}^{2+}\text{Fe}^{3+})_B\text{O}_4$, де А та В відповідають тетраедричним і октаедричним міжвузловим позиціям відповідно [5].

Електричні та магнітні властивості NiFe_2O_4 значною мірою залежать від природи іонів металів, їх валентного стану та просторового розподілу в кристалічній ґратці. Нікелевий ферит виявляє феромагнітні властивості, які зумовлені наявністю результуючого магнітного моменту, що виникає внаслідок антипаралельної орієнтації спінів між іонами Fe^{3+} , розміщеними в А-позиціях, та іонами Ni^{2+} у В-позиціях [6].

Покращення хімічного складу сипучих матеріалів є одним із ключових чинників, що визначають їхню якість. Водночас, поряд із хімічним складом, вирішальну роль у формуванні властивостей наноматеріалів відіграють розміри частинок і їх морфологічні характеристики [7].

Список використаних джерел

1. Fardood S. T., Ramazani A., Moradi S. Green synthesis of Ni–Cu–Mg ferrite nanoparticles using tragacanth gum and their use as an efficient catalyst for the synthesis of polyhydroquinoline

- derivatives. *J. Sol-Gel Sci Technol.* 2017. Vol. 82. P. 432-439. <https://doi.org/10.1007/s10971-017-4310-6>.
2. Ali Z., Luma A., Rajaa M. Synthesis of Inverse Spinel Nickel Ferrite Like-Broccoli Nanoparticle and Thermodynamic Study of Photo-decolorization of Alkali Blue 4B dye. *Journal of Nanostructures.* 2022. Vol. 12. P. 697-710. <https://doi.org/10.22052/JNS.2022.03.022>.
 3. Cullity B. D., Graham C. D. Introduction to Magnetic Materials. *Second Edition.* 2009. 550 p. (ISBN 978-0-471-47741-9). http://www2.fisica.unlp.edu.ar/magnet/Cullity_Graham.pdf.
 4. Aharoni A. Introduction to the Theory of Ferromagnetism. Oxford science publications. *Clarendon Press.* 2000. P. 319.
 5. Tatarchuk T., Bououdina M., Vijaya J. J., Kennedy L. J. Spinel ferrite nanoparticles: synthesis, crystal structure, properties, and perspective applications, *Nanophys. Nanomater. Interface Stud. Appl.* 2017. Vol. 195. P. 305-325.
 6. Ekambaram S., Patil K. C., Maaza M. Synthesis of lamp phosphors: facile combustion approach. *J Alloys Comp.* 2005. P. 39381-92.
 7. Salih S. J., Mahmood W. M. Review on magnetic spinel ferrite (MFe₂O₄) nanoparticles: From synthesis to application. *Heliyon.* 2023. Vol. 9, Is. 6. P. 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16601>.