

«ЗЕЛЕНИЙ» СИНТЕЗ МАГНІТОЧУТЛИВИХ НАНОЧАСТИНОК

Галушко Юлія Миколаївна,
здобувач вищої освіти III курсу chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Мординський Іоанн Сергійович,
здобувач вищої освіти III курсу chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Хімчик Ольга Сергіївна,
здобувач вищої освіти III курсу chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Камінський Олександр Миколайович,
кандидат хімічних наук, доцент, alexkamin@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Денисюк Роман Олександрович,
кандидат хімічних наук, доцент, alexkamin@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Тітов Юрій Олександрович,
доктор хімічних наук, провідний науковий співробітник, chem@ukr.net
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Україна

На сучасному етапі розвитку нанохімії та матеріалознавства, феритові наночастинки представляють великий інтерес в науковому аспекті завдяки своїм структурним, магнітним та електричним властивостям [1]. Крім того, їх магнітні властивості можна контролювати з урахуванням практичного застосування шляхом правильного вибору декількох двох- та трьохвалентних елементів та їх співвідношення в структурі феритів.

Останнім часом все більшої популярності набуває «зелений» синтез наночастинок, суть якого полягає у використанні живих об'єктів для синтезу різноманітних наноматеріалів.

Так, у роботі [2] проведено економічно ефективний «зелений» синтез наночастинок нікель фериту (NiFe_2O_4) при використанні зразків NF1 і NF2 відповідно з екстракту листя *Terminalia catappa*. Рентгеноструктурний аналіз (XRD) показав, що зразки NF1 і NF2 мають інверсну структуру шпінелі з середнім розміром кристалітів 11,78 і 8,01 нм. Інфрачервона спектроскопія Фур'є (FTIR) та спектральний аналіз NF1 підтвердив утворення фериту шпінелі [2]. Відповідні нікель(II) та ферум(III) нітрати розчиняли у 50 мл дистильованої води у молярному співвідношенні 1:2. Експерименти проведено з двома різними об'ємами екстракту листя, включаючи 10 і 20 мл. Екстракт листя *Terminalia catappa* додавали по краплях до розчинів прекурсорів, нагрітих при інтенсивному перемішуванні за 80 °C. Потім розчин нагрівали до отримання гелю. Гель сушили в сушильній шафі за 150 °C протягом 2 год. Зразки відпалювали при 600 °C протягом 4 год. Готові порошкові зразки NiFe_2O_4 для X = 10 і 20 мл були позначені як NF1 і NF2 відповідно [2].

Авторами [3] з метою цільової терапії раку проведено «зелений» синтез наночастинок $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{ZnS}$ з екстрактом листя *Moringa oleifera*, як агентів магнітної гіпертермії. Рентгенівською дифракцією показано утворення кубічної шпінелі фериту CoFe_2O_4 і кубічної цинкової суміші ZnS фази в композитних наночастинках. Середні розміри частинок CoFe_2O_4 і $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{ZnS}$ становили 12 і 17 нм відповідно. ІЧ_Фур'є спектроскопією показано, що утворений пік при 1406-1411 cm^{-1} вказує на включення ZnS на поверхні.

У роботі [4] проведено «зелений» синтез композитних наночастинок $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Ag}$ з використанням *Moringa Oleifera* (МО) екстракту в процесі співосадження. Мікроструктура, оптичні та магнітні властивості синтезованого нанокompозиту досліджено рентгенівськими та ІЧ-Фур'є спектроскопічними методами. Встановлено, що додавання Ag збільшує розмір кристалітів наночастинок композиту $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Ag}$ до 25,4–32,6 нм. Загалом, результати свідчать, що додавання Ag до Fe_3O_4 має значний вплив на мікроструктурні, оптичні та магнітні властивості.

Проведено «зелений» синтез [5] каталізатору на основі магнітних наночастинок паладію ($\text{Pd}/\text{Fe}_3\text{O}_4$), декорованих на вуглецевій наносфері. Фітохімічні речовини, такі як поліфеноли, сапоніни, стероїди та флавоноїди, присутні в екстракті пагонів *Chenopodium album* Linn., полегшують відновлення Pd^{+2} до Pd^0 . Синтезований каталізатор досліджено методами польово-емісійної скануючої електронної мікроскопії (FESEM), XRD та FTIR. Встановлено, що частинка сферичної форми, середній розмір яких становив 70–90 нм. Синтезований каталізатор використовувався в реакції сполучення Сузукі-Міяура з арилгалогенідами та метоксифенілборонової кислоти в присутності фосфату калію та 1,4-діоксану при 90 °C. Каталізатор було перероблено та використано в реакції перехресного сполучення для перевірки ефективності. Показано, що каталізатор був активним до двох циклів, після чого втрачає ефективність.

Як видно з літературних даних, «зелений» синтез є ефективний метод сучасного синтезу наночастинок різного функціонального призначення.

1. Masrou, M. Hamedoun, A. Benyoussef, E.K. Hlil. Magnetic properties of mixed Ni-Cu ferrites calculated using mean field approach. J. Magn. Mater. 2014. V. 363. P. 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2014.03.043>

2. E. Sarala, M. Vinuth, M. Madhukara Naik, Y.V. Rami Reddy Green synthesis of nickel ferrite nanoparticles using Terminalia catappa: Structural, magnetic and anticancer studies against MCF-7 cell lines. Journal of Hazardous Materials Advances. 2022. 100150. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100150>

3. D. A. Larasati, D. L. Puspitarum et al. Green synthesis of $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{ZnS}$ composite nanoparticles utilizing Moringa Oleifera for magnetic hyperthermia applications. Results in Materials. 2023. Vol. 19. 100431. <https://doi.org/10.1016/j.rinma.2023.100431>

4. M. Y. Darmawan, N. I. Istiqomah, N. Adrianto, R. M. Tumbelaka, A. D. Nugraheni, E. Suharyadi Green synthesis of $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Ag}$ composite nanoparticles using Moringa oleifera: Exploring microstructure, optical, and magnetic properties for magnetic hyperthermia applications. Results in Chemistry. 2023. Vol. 6. 100999. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2023.100999>

5. M. Pai, E. Ahmed, S. Baturki, S. G. Kumar, R. Kusanur Green synthesis of Palladium magnetic nanoparticles decorated on carbon nanospheres using Chenopodium and their application as heterogenous catalyst in the Suzuki-Miyaura coupling reaction. Applied Surface Science Advances. 2023. Vol. 16. 100427. <https://doi.org/10.1016/j.apsadv.2023.100427>