

УДК 620.1:530.1

Андріюк В.Р., студентка гр. 132-23-3 ММФ

Науковий керівник: Слупська Ю.С., PhD., доцент кафедри механічної та біомедичної інженерії

(Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна)

## ВПЛИВ НАНОРОЗМІРНИХ ЕФЕКТІВ НА ВЛАСТИВОСТІ ТА ЗАСТОСУВАННЯ НАНОМАТЕРІАЛІВ

Наноматеріали привертають значну увагу науковців завдяки унікальним фізичним, хімічним, магнітним та оптичним властивостям, які суттєво відрізняються від традиційних об'ємних матеріалів. Їх малий розмір і велика площа поверхні забезпечують широкий спектр застосувань у медицині, електроніці, матеріалознавстві та енергетиці. Розуміння механізмів нанорозмірних ефектів є ключем до реалізації потенціалу цих матеріалів у технологіях [1].

Метою роботи є аналіз унікальних властивостей наноматеріалів, які відрізняються від властивостей об'ємних аналогів, зокрема магнітних, оптичних, електричних, механічних і хімічних характеристик. Особливу увагу приділено впливу нанорозмірних ефектів, хімічного складу, поверхневої площі та поверхневого заряду на поведінку наночастинок у різних умовах, а також визначенню їх потенціалу для використання у біомедичних, матеріалознавчих, енергетичних та інших високотехнологічних галузях [2,3].

Властивості наноматеріалів значно відрізняються від властивостей атомів та об'ємних матеріалів через поверхневий заряд, кристалографію, склад, площу поверхні та нанорозмірні ефекти, що впливають на їхні магнітні, оптичні, електричні, механічні, хімічні й фізичні характеристики. Чистота та функціональні властивості наночастинок залежать від їхнього хімічного або елементного складу [1].

Розмір частинок є ключовим параметром для характеристики наночастинок, а електронна мікроскопія - найпоширеніший метод вимірювання їхнього розміру та розподілу. Відношення площі поверхні до об'єму суттєво впливає на властивості та ефективність наночастинок, яку визначають за допомогою аналізу Брунауера-Еммета-Теллера (БЕТ). Чистота та ефективність наночастинок також залежать від їхнього хімічного або елементного складу [2].

Взаємодія наночастинок з цільовим об'єктом залежить від її поверхневого або загального заряду. Дзета-потенціометр часто використовується для визначення поверхневого заряду та стабільності дисперсії речовини в розчині.

*Фізичні властивості наноматеріалів.* Температура плавлення об'ємного матеріалу не залежить від його розміру, але температура плавлення наноматеріалів зменшується зі зменшенням розміру частинок через наявність вільних поверхневих атомів [2].

*Магнітні властивості наноматеріалів.* Магнітні властивості елементів змінюються на нанорівні залежно від розміру магнітних наночастинок. Наноструктурування об'ємних магнітних матеріалів модифікує їхні характеристики, що дозволяє створювати м'які та тверді магніти з покращеними властивостями. Зменшення розміру може підвищувати коерцитивність і викликати суперпарамагнітну поведінку при критичних розмірах зерен [3].

Коерцитивність - це фізична величина, що характеризує здатність матеріалу протистояти розмагнічуванню. Зокрема, вона визначає, наскільки сильне зовнішнє магнітне поле необхідно докласти для того, щоб повністю розмагнітити матеріал. Коерцитивність найчастіше згадується в контексті феромагнітних матеріалів, таких як залізо, нікель, кобальт та їхні сплави [3].

Немагнітні матеріали у об'ємному стані можуть набути магнітних властивостей на нанорівні. Наприклад, золото і платина, що є немагнітними в об'ємі, стають магнітними в наномасштабі. Магнітні наноматеріали використовуються в біомедичних застосуваннях, таких як магнітно-резонансна томографія (МРТ), доставка ліків і магнітна гіпертермія [3].

*Оптичні властивості наноматеріалів.* Локалізований поверхневий плазмонний резонанс (LSPR) - це оптична характеристика наночастинок, що залежить від їхнього розміру. Наприклад, при зменшенні розміру золотих наночастинок спектр світла зміщується від ближнього інфрачервоного до ультрафіолетового діапазону. Дуже малі частинки можуть втратити LSPR і стати фотолюмінесцентними. Зменшення розміру також призводить до зміщення пікового випромінювання до коротших довжин хвиль. Наприклад, золоті наносфери змінюють колір від жовтого (100 нм) до червоного (25 нм), а срібні - від помаранчевого (200 нм) до синього (40 нм) [3].



Рисунок 1 – Оптичні властивості заліза та срібла (зображення <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/nano.202300038>)

*Електричні властивості наноматеріалів.* Наноматеріали можуть підвищувати провідність керамічних матеріалів, але водночас збільшувати електричний опір металів. Великих матеріалах електрони можуть вільно рухатися, але в наномасштабі виникають квантові ефекти, які обмежують їхній рух. Це призводить до заміни енергетичних зон на дискретні стани, внаслідок чого метали можуть поводитися як напівпровідники або ізолятори. Наприклад, вуглецеві нанотрубки можуть бути як провідниками, так і напівпровідниками в залежності від їхньої структури. На рисунку 2 показано, як зменшення діаметра дроту зменшує число мод електронних хвиль, що впливають на електропровідність [4].

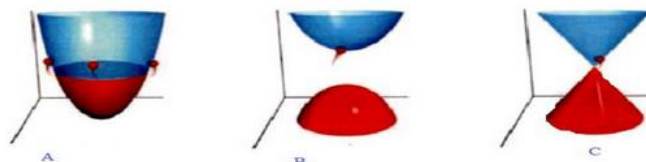


Рисунок 2 – Електричне поведіння нанотрубок металу, напівпровідника та графіту (зображення <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878535217300990>)

*Хімічні властивості наноматеріалів* визначають їх застосування, включаючи реактивність наночастинок з цільовими об'єктами, а також їхню стабільність і чутливість до таких факторів, як волога, навколишнє середовище, тепло та світло. Важливими характеристиками наночастинок є займистість, корозійна активність, антикорозійні властивості, а також окислювальний і відновлювальний потенціал.

Наноматеріали також демонструють значно покращені або нові каталітичні властивості, такі як реактивність, селективність та ефективність, у порівнянні з об'ємними аналогами [5].

*Механічні властивості.* Механічні властивості матеріалів, такі як еластичність, пластичність, міцність на розрив і гнучкість, суттєво впливають на їх застосування. Наноматеріали демонструють підвищену твердість, межу плинності, модуль пружності та ударну в'язкість у порівнянні з об'ємними матеріалами. Міцність і твердість наноструктурованих матеріалів зростають зі зменшенням розміру зерна. Це пов'язано зі зменшенням дефектів і збільшенням недосконалостей, що покращує твердість, в'язкість сплавів і надпластичність кераміки [5].

Наноматеріали відрізняються унікальними властивостями від об'ємних аналогів завдяки нанорозмірним ефектам, кристалографії, поверхневому заряду та високому відношенню площі поверхні до об'єму. Ці особливості впливають на їхні механічні, електричні, оптичні, магнітні та хімічні характеристики. Зменшення розміру частинок змінює провідність, коерцитивність, температуру плавлення та інші властивості. Наноматеріали мають широкий спектр застосувань у медицині, матеріалознавстві, енергетиці та електроніці завдяки своїм унікальним характеристикам [2].

*Висновки.* Наноматеріали мають унікальні властивості, які відрізняються від об'ємних матеріалів завдяки малому розміру, нанорозмірним ефектам та високій площі поверхні. Вони характеризуються зміненими електричними, оптичними, магнітними, механічними та хімічними властивостями, що забезпечує їх застосування в медицині, енергетиці та електроніці. Характеристики, такі як коерцитивність, температурна стійкість і електропровідність, відкривають нові можливості для інноваційних технологій у сучасній науці та промисловості.

#### Список використаних джерел.

1. M. Rai, T. A. Nguyen, editors. *Nanomaterials Recycling*. Elsevier, Amsterdam, Netherland; 2021. – Електронний ресурс [Режим доступу] - <http://surl.li/dequhn>
2. A. Yaqoob, R. M. Khan, A. Saddique *Int. J. Res* 2019, **6**, 7. – Електронний ресурс [Режим доступу] - <http://surl.li/nzyraj>
3. K. Khalid, X. Tan, Z. H.F. Mohd, Y. Tao, C. C. Lye, D. T. Chu, M. K. Lam, Y. C. Ho, J. W. Lim, W. L. *Bioengineered*. 2020, 11, 328. . – Електронний ресурс [Режим доступу] - <http://surl.li/wnfzta>
4. D. Bokov, A. Turki Jalil, S. Chupradit, W. Suksatan, M. Javed Ansari, I. H. Shewael, G. H. Valiev, E. Kianfar, *Adv. In Mater. Sci. Engi.* 2021, **1**, 21. – Електронний ресурс [Режим доступу] - <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2021/5102014>
5. G. G. Flores-Rojas, F. López-Saucedo, R. Vera-Graziano, E. Mendizabal, E. Bucio, *Macromol.* 2022, **2**, 374, 90. – Електронний ресурс [Режим доступу] - <https://www.mdpi.com/2673-6209/2/3/24>