

УДК 001.2:008+37, 669:66-963, 378

DOI 10.18372/2786-5495.1.15793

**Сичікова Яна Олександрівна** 

доктор технічних наук, доцент,  
завідувач кафедру фізики та методики навчання фізики,  
Бердянський державний педагогічний університет,  
м. Бердянськ, Україна

**Богданов Ігор Тимофійович** 

доктор педагогічних наук, професор,  
ректор Бердянського державного педагогічного університету,  
м. Бердянськ, Україна

## **УДОСКОНАЛЕННЯ ЗМІСТУ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ У ГАЛУЗІ НАНОМАТЕРІАЛОЗНАВСТВА ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ IMAGE J**

***Анотація.** У статті представлено удосконалення змісту підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства в умовах дистанційного навчання. Запропоновано використання програмного продукту для статистичного аналізу зразків наноматеріалів IMAGE J. Це дозволить проваджувати якісну системну підготовку фахівців в умовах відсутності можливості виконувати дослідження в лабораторіях.*

***Ключові слова:** наноматеріалознавство, підготовка фахівців, статистична обробка, дистанційне навчання*

***Annotation.** The article presents the improvement of the content of training of future specialists in the field of nanomaterials in the conditions of distance learning. The use of a software product for statistical analysis of IMAGE J nanomaterial samples is proposed. This will allow to conduct high-quality systematic training of specialists in the absence of the ability to perform research in laboratories.*

***Keywords:** nanomaterials, training, static processing, distance learning*

Підготовка фахівців у галузі наноматеріалознавства потребує активних форм навчання, а саме проведення лабораторних робіт, дослідницької діяльності у спеціалізованих лабораторіях тощо. Майбутній наноінженер повинен володіти навичками синтезу наноструктур [1, 2], дослідження їхніх властивостей [3, 4], складу [5], визначення рівня якості наноматеріалів [6] та перспективних галузей застосування [7, 8]. Це зумовлено різноманітністю існуючих наноструктур, серед яких можна виділити: поруваті шари [9, 10], наноголки [11, 12], квантові цятки [13, 14], тонкі плівки [15], текстуровані поверхні [16] тощо. В умовах тотального карантину та спричиненої ним дистанційної форми навчання не має можливості проводити якісні дослідження офлайн. Все це може критично відобразитися на якості підготовки майбутніх наноінженерів. Тому сьогодні вкрай необхідно розробляти нові форми організації освітнього процесу, удосконалювати зміст професійної підготовки та запроваджувати інноваційні технології навчання, які дозволять зберегти рівень якості освіти та сформувані ключові фахові компетентності майбутніх наноматеріалознавців.

У роботі запропоновано використовувати сучасне програмне забезпечення, яке дозволяє проводити аналіз наноструктур, статистично обробляти результати досліджень та прогнозувати механізми синтезу наноматеріалів.

Вивчення структурних характеристик наноструктурованих поверхонь – одне з ключових завдань сучасного матеріалознавства, на основі якого базується процес створення наноматеріалів та виробів на їх основі. Реалізація високоякісного аналізу пов'язана з відомими труднощами, які зумовлені [17]:

- суб'єктивністю спостережень;
- невеликою швидкістю процесу дослідження;

- складністю проведення досліджень;
- необхідністю застосування статистичних методів;
- необхідності застосування високошвидкісного обладнання тощо.

Так як невеликі зміни при аналізі і обробці зображень мають великий вплив на подальшу долю готового виробу, методи неруйнівного і швидкого контролю, які визначають і аналізують дані зміни, можуть бути успішно використані в якості інструменту контролю якості наноструктур.

Оцінка властивостей структури наноматеріалів має подвійну мету – з одного боку, це оцінка адекватності процесу управління структурою, з іншого боку, це забезпечення оптимальної якості готового виробу.

Суто візуальний аналіз досліджуваних зразків не дає повної і точної інформації щодо розміру нанооб'єктів. Сьогодні існує велика кількість методик вимірювання розмірів нанооб'єктів. Однак, більшість з них заснована на вимірюванні розміру кожного об'єкту окремо. Такий підхід є трудомістким і потребує багато часу. За цих умов майже неможливо дослідити розподіл часток або пор за розмірами, встановити статистичні закономірності тощо. Крім того, результати такої роботи в більшості випадків залежать від суб'єктивної оцінки дослідника і внаслідок цього можуть містити велику кількість помилок і значних похибок. Вони можуть різнитися у різних дослідників і мати погану відтворюваність.

У зв'язку з цим виробники мікроскопів розробляють спеціальні програми для дослідження мікроскопічних зображень *in situ*. Однак, ці програми вартісні, застосовані до конкретної марки мікроскопів і часто виявляються складними у користуванні. Такі програми працюють переважно з електронним зображенням зразка, який знаходиться у мікроскопі в даний проміжок часу. На практиці дуже часно необхідним є проведення аналізу зображення без наявності самого зразка (з плином часу чи з будь-якої іншої причини). Тому доречним є вибір програми, яка дозволяє працювати з мікрофотографіями об'єктів, отриманих за допомогою різних типів мікроскопів.

З урахуванням функціональних можливостей серед різноманіття сучасних програмних продуктів для аналізу зображень доречним є вибір таких програм: PHOTOM, OPTIMAS, IMAGE EXPERT PRO, IMAGE J тощо.

У функціоналі цих програмних продуктів є всі необхідні для обробки мікроскопічних зображень алгоритми:

- високочастотного і низькочастотного фільтрування;
- виділення меж зображень;
- арифметичних і логічних операцій;
- корекції яскравість/контраст та ін.

Обробка зображення в даному випадку спрямована не на поліпшення візуального сприйняття, а на його підготовку до подальшого аналізу.

У всіх прикладних програмах даної специфіки запропонована певна послідовність алгоритмів для обробки та отримання характеристик наноструктури (рис 1).

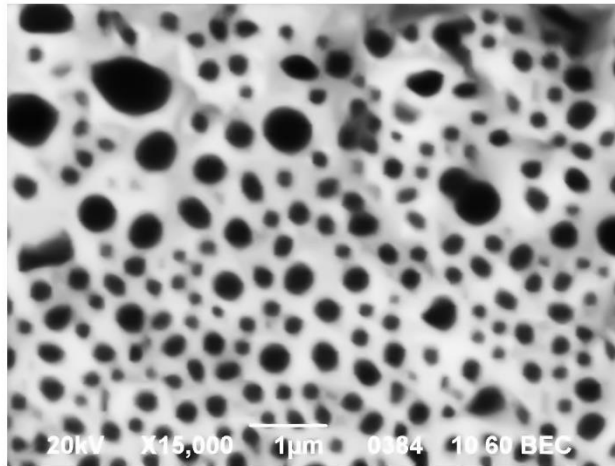


**Рис. 1. Послідовність алгоритмів для обробки зображень, отриманих за допомогою мікроскопів**

Кінцевими завданнями аналізу мікрофотографій поверхні наноструктурованих зразків є [18, 19]:

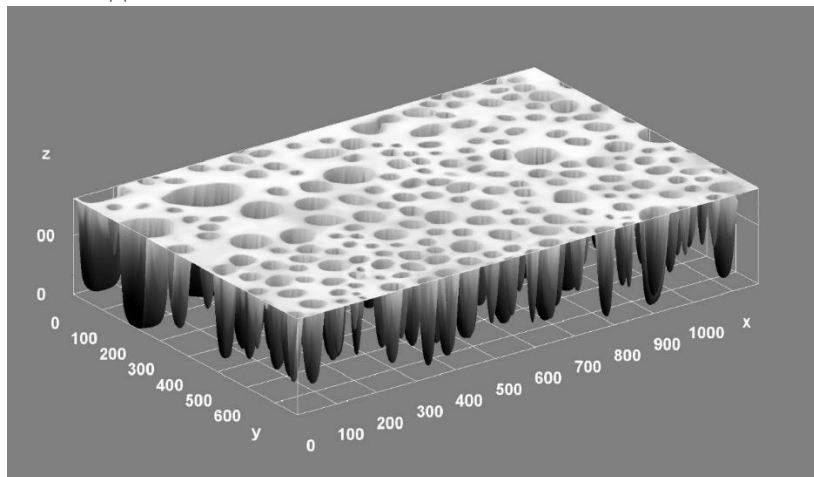
- статистична обробка отриманих в процесі вимірювання характеристик об'єктів;
- визначення середніх значень отриманих величин;
- побудова графічних залежностей для візуалізації процесу аналізу.

Двовимірне зображення, що отримується за допомогою мікроскопу можна уявити як матрицю. Дозвіл цифрового зображення (число пікселів в вихідному зображенні і глибина кольору) є найголовнішою характеристикою. На рис. 2 наведено зображення зразка наноструктурованого напівпровідника, яке було оброблено за допомогою функції бінаризації об'єкта. Це дозволяє зробити зображення більш контрастним, що необхідно для розрахунку морфологічних характеристик наноматеріалу.



**Рис. 2.** Зображення поверхні наноструктурованого напівпровідника, отримане за допомогою сканувального електронного мікроскопу та оброблене за допомогою програми ImageJ

Програмний додаток ImageJ дозволяє проводити моделювання об'ємного зображення. Програма будує діаграму розподілу ділянок зображення, що відрізняються контрастом. Рис. 3 демонструє результати моделювання.



**Рис. 3 –** Моделювання росту пор в глибину зразка, виконане у програмі ImageJ

Аналіз проведеного моделювання дозволяє зробити висновок про механізми росту наноструктури, зрозуміти основні етапи формування та спрогнозувати результати експерименту у реальних умовах.

Крім того, за допомогою програми ImageJ можна провести підрахунок кількості нанооб'єктів на поверхні зразка, розрахувати абсолютні та відносні показники: периметр, ефективний діаметр, густину і рівномірність розташування по поверхні тощо.

Отже, застосування програмних продуктів аналізу статистичних характеристик наноструктур є дієвим інструментом провадження ефективної освітньої діяльності,

направленої на формування фахових компетентностей майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства. Використання таких засобів навчання дозволяє зберігати якість освіти на високому рівні навіть в умовах дистанційної освіти.

**Список використаних джерел**

1. Vambol, S.O., Bohdanov, I.T., Vambol, V.V., Nestorenko, T.P., Onyschenko, S.V. Formation of filamentary structures of oxide on the surface of monocrystalline gallium arsenide. *Journal of Nano- and Electronic Physics*, 2017, 9(6), p. 06016
2. Vambol, S.O., Bohdanov, I.T., Vambol, V.V., Nestorenko, T.P., Onyschenko, S.V. Improvement of electrochemical supercapacitors by using nanostructured semiconductors. *Journal of Nano- and Electronic Physics*, 2018, 10(4), 04020
3. Suchikova, Y.O. Sulfide passivation of indium phosphide porous surfaces. *Journal of Nano- and Electronic Physics*, 2017, 9(1), p 01006
4. Suchikova, Y.A., Kidalov, V.V., Konovalenko, A.A., Sukach, G.A Usage of porous indium phosphide as substrate for indium nitride films. *ECS Transactions*, 2011, 33(38), p. 73–77
5. Suchikova, Y.A., Kidalov, V.V., Sukach, G.A. Influence of the carrier concentration of indium phosphide on the porous layer formation. *Journal of Nano- and Electronic Physics*, 2010, 2(4), p. 75–81
6. Bogdanov I., Suchikova, Y. The improvement environmental safety of nanomaterials by means of environmental assessment. *Technogenic and ecological safety*. 2017, №. 1, c. 44–49.
7. Khrypunov, G., Vambol, S., Deyneko, N., Suchikova, Y. Increasing the efficiency of film solar cells based on cadmium telluride. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2016, 6(5), p. 12–18
8. Suchikova Y. Developing ways of improving efficiency of the photovoltaic converters by nanostructuring of silicon wafers. *Technology audit and production reserves*. 2016., p. 16–20
9. Suchikova, Y., Bogdanov, I., Onishchenko, S., Vambol, V., Kondratenko, O. Photoluminescence of porous indium phosphide: Evolution of spectra during air storage. *Proceedings of the 2017 IEEE 7th International Conference on Nanomaterials: Applications and Properties, NAP 2017*, 2017, 2017-January, 01PCSI30.
10. Zhang G. et al. Regiocontrolled dimerization of asymmetric diazaheptacene derivatives toward X-shaped porous semiconductors. *Chemical Science*. 2020. –V. 11. №. 41. P. 11235-11243.
11. Vambol, S.O., Bohdanov, I.T., Vambol, V.V., Nestorenko, T.P., Onyschenko, S.V. Formation of filamentary structures of oxide on the surface of monocrystalline gallium arsenide. *Journal of Nano- and Electronic Physics*, 2017, 9(6), p. 06016
12. Kozlovskiy A. L., Zdorovets M. V. The study of the structural characteristics and catalytic activity of Co/CoCo2O4 nanowires. *Composites Part B: Engineering*. 2020. V. 191. P. 107968.
13. Liu Z. et al. Micro-light-emitting diodes with quantum dots in display technology. *Light: Science & Applications*. 2020. V. 9. №. 1. P. 1-23.
14. Lu H. et al. Transforming energy using quantum dots. *Energy & Environmental Science*. 2020. V. 13. №. 5. P. 1347-1376.
15. Suchikova J.A. Synthesis of indium nitride epitaxial layers on a substrate of porous indium phosphide. *Journal of Nano- and Electronic Physics*, 2015, 7(3), p. 03017
16. Suchikova, Y.A., Kidalov, V.V., Balan, O.S., Sukach, G.A. Texturation of the phosphide indium surface. *Journal of Nano- and Electronic Physics*, 2010, 2(1), p. 84–88
17. Suohikova, Y., Vambol, S., Vambol, V., Mozaffari, N., Mozaffari, N. Justification of the most rational method for the nanostructures synthesis on the semiconductors surface. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 2019, 92(1-2), p. 19–28
18. Roels J. et al. An interactive ImageJ plugin for semi-automated image denoising in electron microscopy. *Nature communications*. 2020. V. 11. №. 1. P. 1-13.
19. Carpentier G. et al. Angiogenesis Analyzer for imageJ—A comparative morphometric analysis of “endothelial tube formation Assay” and “fibrin Bead Assay”. *Scientific Reports*. 2020. V. 10. №. 1. P. 1-13.