УДК 621.38-022.532:004.9

ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ СУЧАСНОГО ІНФОРМАЦІЙНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО ПРОСТОРУ В ГАЛУЗІ МІКРО- ТА НАНОТЕХНОЛОГІЙ

Данілов В., Стрілкова Т.О.
e-mail: Vadym.danilov@nure.ua, tetiana.strilkova@nure.ua
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МЕЕПП, м. Харків, Україна

The paper discusses the use of modern information and computational space in the field of micro- and nanotechnology. It examines visual inspection systems for nanoobjects, specifically scanning electron microscopes (SEM), tunnel microscopes, and optical microscopes with super resolution technology (STED, PALM, STORM). It is noted that cloud technologies and virtual machines play a significant role in the effective processing of large volumes of information in real-time

Об'єкти в нанотехнологічних процесах мають розміри в діапазоні від кількох нанометрів до мікрометрів. Наночастинки (1–100 нм) мають унікальні властивості завдяки високому співвідношенню площі поверхні до об’єму та квантовим ефектам. Квантові ефекти, які проявляються в наночастинках менше 10 нм, змінюють їх електронні, оптичні та магнітні властивості, що використовується в напівпровідниках та оптоелектроніці. Оптичні властивості включають плазмонний резонанс у металевих наночастинок, таких як золото і срібло, що змінює їх колір залежно від розміру. Механічні властивості включають високу міцність і твердість, а також покращені зносостійкі характеристики. Магнітні наночастинки можуть проявляти суперпарамагнетизм, що робить їх корисними в медичній діагностиці, наприклад, як контрастні агенти для МРТ. Деякі наноматеріали, такі як вуглецеві нанотрубки, мають високу теплопровідність. Хімічна активність наночастинок робить їх ефективними каталізаторами в хімічних реакціях. Деякі наночастинки, наприклад, оксиди металів або полімерні наночастинки, є біосумісними та застосовуються в медицині. Завдяки цим властивостям наночастинки широко використовуються в електроніці (нанотранзистори, дисплеї), медицині (доставка ліків, діагностика), каталізі (очищення вихлопних газів, воднева енергетика), косметиці (сонцезахисні креми на основі ZnO та TiO2) і матеріалознавстві (легкі та міцні нанокомпозити). Наномолекули (кілька нанометрів) складаються з атомів або молекул і застосовуються для створення нових матеріалів, каталістів і в біомедичних пристроях. Наноплівки (1–100 нм) використовуються для покриттів, сенсорів і сонячних батарей. Наносистеми можуть складатися з різних наночасток або молекул і застосовуються для створення нових матеріалів і в фармацевтиці. Молекулярні машини (1–10 нм) можуть змінювати форму або рухатися під дією світла, хімічних реакцій чи

електричних імпульсів. Вони мають контрольований рух, здатність до самоорганізації, селективність і зворотність процесів. Потребують джерела енергії та можуть працювати автономно. Прикладами є ротаксани, катенани, молекулярні ротори, нанокари та біологічні моторні білки. Кожен тип об'єкта має свої властивості, що визначають його використання в різних сферах науки і техніки [1].

Такі об'єкти потребують надзвичайно високої роздільної здатності для їх дослідження і контролю в реальному часі [2]. Просторові розміри цих об'єктів становлять лише декілька атомів або молекул, і тому для їх вивчення необхідно застосовувати спеціалізовані інструменти [3].

Скануючі електронні мікроскопи (СЕМ) дозволяють отримати зображення з високою роздільною здатністю (до 1 нм). Це дає змогу досліджувати поверхню і структуру наноматеріалів. СЕМ потребують вакуумного середовища і не можуть використовуватися для аналізу живих матеріалів. Тунельні мікроскопи дають можливість отримувати зображення з атомною роздільною здатністю (до 0,1 нм) і вимірювати як поверхневі, так і внутрішні властивості нанооб’єктів. Мають обмеження через необхідність спеціальних умов і повільний процес сканування. Сучасні оптичні мікроскопи з технологією «super resolution» (STED, PALM, STORM) дозволяють досягати роздільної здатності до 20-50 нм і використовуються для спостереження в реальному часі. Їх роздільна здатність нижча порівняно з електронними мікроскопами. Рентгенівська мікроскопія використовується для вивчення внутрішніх структур матеріалів, дозволяючи аналізувати зразки без їх пошкодження. Вона має обмежену роздільну здатність і вимагає спеціального обладнання. Рамановська спектроскопія дозволяє вивчати склади і молекулярні властивості матеріалів, не пошкоджуючи їх. Однак вона також обмежена точністю візуалізації на атомному рівні. Кожна з цих систем має свої переваги і недоліки та вибір залежить від цілей дослідження, необхідної роздільної здатності і типу об'єктів для аналізу.

Кількість інформації, яку необхідно обробляти для систем візуального контролю в наноелектроніці, є значною через високу роздільну здатність зображень, які створюються під час аналізу наноматеріалів і мікроструктур. Наприклад, СЕМ або тунельний мікроскоп можуть отримувати зображення з роздільною здатністю до 1 нм або навіть 0,1 нм. Це означає, що кожне зображення може містити мільйони пікселів, кожен з яких має кілька значень, наприклад, яскравість або енергетичний спектр. В результаті обсяг даних може бути величезним, до кількох гігабайт або навіть теребайт. Оскільки процес зйомки може тривати від кількох хвилин до годин, тому загальний обсяг інформації значно зростає. Оптичні мікроскопи (STED, PALM, STORM) не здатні досягти такої високої роздільної здатності, томі ці системи зазвичай генерують менше даних, що спрощує їх обробку.

Оскільки моделювання та симуляції наноструктур вимагають великих обчислювальних потужностей, важливо мати доступ до потужних

обчислювальних ресурсів. Важливу роль у цьому процесі відіграють хмарні обчислення. Вони дозволяють швидко масштабувати обчислювальні ресурси для обробки великих обсягів даних без необхідності інвестувати в дороге фізичне обладнання. Хмарні технології дають можливість зберігати дані в розподіленому середовищі та дозволяють легко отримувати доступ до них і обробляти з будь-якої точки світу. Віртуальні машини в хмарі дозволяють ефективно використовувати ресурси, налаштовувати їх для конкретних завдань і масштабувати відповідно до потреб обробки даних. Крім того, хмарні обчислення дозволяють інтегрувати алгоритми машинного навчання для автоматизації аналізу отриманих даних, що забезпечує виявлення дефектів або аномалій в наноматеріалах без необхідності ручної обробки. Таким чином, хмарні обчислення та віртуальні машини значно підвищують ефективність обробки даних у реальному часі, дозволяючи здійснювати автоматизований аналіз і значно зменшувати час на отримання результатів.

Таким чином для дослідження нанотехнологічних об'єктів широко використовуються інструменти з високою роздільною здатністю, такі як СЕМ, тунельні та оптичні мікроскопи. Обробка величезних обсягів даних, що генеруються при дослідженнях потребує потужних обчислювальних систем. Хмарні технології та віртуальні машини забезпечують ефективну обробку та автоматизацію аналізу даних, підвищуючи ефективність досліджень в наноелектроніці.

Список використаних джерел:

1. Пятайкіна М. І., Стрілкова Т. О. Дослідження дефектів дислокації в напівпровідникових матеріалах оптичними методами // XXII Міжнародна науково-технічна конференція "ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи". Секція 2. Оптичні та оптико-електронні прилади системи. Фотоніка. 16-17 травня 2023 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна. С. 45-48.

2. Калмиков О. С., Стрілкова Т. О. Моделювання процесу поширення оптичного випромінювання в анізотропному середовищі // XXII Міжнародна науково-технічна конференція "ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи". Секція 2. Оптичні та оптико-електронні прилади системи. Фотоніка. 16-17 травня 2023 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна., С. 48-50.

3. Стрілкова Т.О., Калмиков О.С., Бендеберя Г.М., Пятайкіна М.І., Поліщук О.В. Стохастичні моделі вихідних сигналів в оптико-електронних системах // Колективна монографія «Сучасні технології в науці та освіті». 2021. Сєвєродонецьк. С. 256-259.