

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДРОГОБИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ІВАНА ФРАНКА**

Кафедра технологічної та професійної освіти

«До захисту допускаю»
завідувач кафедри технологічної та професійної освіти,
доктор педагогічних наук, професор
_____ Леонід ОРШАНСЬКИЙ
«___» червня 2023 р.

**Зміст і методичний супровід науково-
технічного гуртка «Сучасні нанотехнології
та наноматеріали»**

Спеціальність 014.10 Середня освіта (Трудове навчання та технології)

Магістерська робота

на здобуття кваліфікації – вчитель трудового навчання,
технологій та креслення

Автор роботи: Ключник Оксана Василівна _____
підпис

Науковий керівник: кандидат фіз.-мат. наук, доцент
Павловський Юрій Вікторович _____
підпис

Дрогобич – 2023

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка

Зав. кафедри

_____ 12.10.2021 р.
(підпис) (дата)

Завдання

на підготовку магістерської роботи

1. Тема: «Зміст і методичний супровід науково-технічного гуртка «Сучасні нанотехнології та наноматеріали»».

2. Керівник – канд. фіз.-мат. наук, доцент Павловський Ю.В.

3. Студент – Ключник Оксана Василівна.

4. Перелік питань, що підлягають висвітленню у кваліфікаційній роботі:

1. Проаналізувати основні поняття та сучасні досягнення в галузі нанотехнологій і наноматеріалів, проблеми та перспективи розвитку нанотехнологій.

2. Розробити методичні вказівки до планування змісту науково-технічного гуртка «Сучасні нанотехнології та наноматеріали».

3. Розробити методичне забезпечення науково-технічного гуртка «Сучасні нанотехнології та наноматеріали».

5. Список рекомендованої літератури:

1. Алієва Н.З., Русляков Д.В. Наноматеріали та нанотехнології в легкій промисловості: навч. посібн. Ч.1. Дніпропетровськ: НМетАУ, 2019. 152 с.

2. Богданов Г.Г., Захожай З.В. Еволюція матеріалів для одягу. Київ: КНУТД, 2009. 240 с.

3. Наноматеріали і нанотехнології: навчальний посібник / М.О. Азаренков та ін. Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2014. 316 с.

4. Наноматеріали. Класифікація, особливості властивостей, застосування та технології отримання / Б.М. Балоян, А.Г. Колмаков, М.І. Алімов, А.М. Кротов. Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2007. 125 с.

5. Наноматеріали, нанотехнології, нанопристрої / М.О. Боровий та ін. Київ: «Інтерсервіс», 2015. 350 с.

6. Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології: зб. наук. пр. / НАН України, Ін-т металофізики імені Г. В. Курдюмова. Т. 10. вип. 4. Київ, 2012. 250 с

7. Ткач О.П. Наноматеріали і нанотехнології в приладобудуванні. Навчальний посібник. Суми: СДУ, 2014. 127 с.

8. Шашок Ж.С., Прокопчук Н.Р. Застосування вуглецевих наноматеріалів у полімерних композиціях. Київ: Академперіодика, 2014. 232 с.

9. Фулерени: перспективи практичного застосування в медицині, біології та екології / Д.В. Щур та 2ін. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія.* 2012. Вип. 20, Т. 1. С. 139-145.

6. Етапи підготовки роботи:

№ з/п	Назва етапу	Термін виконання	Термін звіту перед керівником, кафедрою
1.	Вивчення й аналіз психолого-педагогічної та методичної літератури; визначення вихідних положень дослідження (об'єкт, предмет, методи); формування мети; постановка завдань.	до 22.12.2021 р.	29.12.2021 р.
2.	Підготовка 1-го розділу роботи.	до 15.06.2022 р.	24.06.2022 р.
3.	Підготовка 2-го розділу роботи.	до 14.12.2022 р.	30.12.2022 р.
5.	Формування висновків. Оформлення роботи.	до 02.03.2023 р.	16.03.2023 р.
6.	Перевірка роботи на плагіат	до 25.05.2023 р.	30.05.2023 р.
7.	Попередній захист роботи і рецензування.	до 31.05.2023 р.	05.06.2023 р.

7. Дата видачі завдання – 12.10.2021 р.

8. Термін подачі роботи керівнику – 22.05.2023 р.

9. З вимогами до виконання роботи і завданням ознайомлений _____ Ключник О.В.

10. Керівник _____ доц. Павловський Ю.В.

ЗАХИСТ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

Тема: «Зміст і методичний супровід науково-технічного гуртка «Сучасні нанотехнології та наноматеріали».

Оцінка за стобальною шкалою: _____

Оцінка за національною чотирибальною шкалою: _____

Коротка мотивація оцінки захисту:

_____	Голова ДЕК _____	_____
дата	підпис	прізвище та ініціали
	Секретар ДЕК _____	_____
	підпис	прізвище та ініціали

АНОТАЦІЯ

Ключник О.В. Зміст і методичний супровід науково-технічного гуртка «Сучасні нанотехнології та наноматеріали». – Рукопис.

З'ясовано, що на сьогоднішній день наноматеріали займають вагомую нішу в сучасному матеріалознавстві та технологіях і широко використовуються у будівництві, електроніці, енергетиці, авто- і авіабудуванні, екології, медицині, сільському господарстві, війсьній промисловості. Встановлено, що перспективи розвитку сучасного матеріалознавства вимагають невідкладного впровадження в освітні програми відповідних тематичних розділів, учнівських проєктів, факультативних занять, науково-технічних гуртків з вивчення сучасних нанотехнологій та наноматеріалів. Розроблено календарно-тематичне планування науково-технічного гуртка «Сучасні нанотехнології та наноматеріали» і його методичне забезпечення, що сприятиме розвитку пізнавальних інтересів учнів до сучасних технологій та матеріалознавства, формуванню творчого начала та технологічної культури.

Ключові слова: науково-технічний гурток, наноматеріал, нанотехнологія, нанокомпозит, методичне забезпечення.

ANNOTATION

Klyuchnyk O.V. Content and methodical support of the scientific and technical circle «Modern nanotechnologies and nanomaterials». – Manuscript.

It has been found that today nanomaterials occupy an important niche in modern materials science and technology and are widely used in construction, electronics, energy, automobile and aircraft construction, ecology, medicine, agriculture, military industry. It has been established that the prospects for the development of modern materials science require the urgent introduction into educational programs of appropriate thematic sections, student projects, optional classes, scientific and technical circles for the study of modern nanotechnologies and nanomaterials. The calendar and thematic planning of the scientific and technical circle «Modern nanotechnologies and nanomaterials» and its methodological support have been developed, which will contribute to the development of students' cognitive interests in modern technologies and materials science, the formation of creativity and technological culture.

Keywords: scientific and technical circle, nanomaterials, nanotechnology, nanocomposite, methodological support.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНІ НАНОТЕХНОЛОГІЇ ТА НАНОМАТЕРІАЛИ	9
1.1. Основні поняття та сучасні досягнення у галузі нанотехнологій і наноматеріалів	9
1.2. Наноматеріали на основі різних модифікацій вуглецю	14
1.2.1. Графен	14
1.2.2. Вуглецеві нанотрубки	16
1.2.3. Фулерени	19
1.3. Сучасні нанокompозитні матеріали	21
1.3.1. Формування нанокompозитного матеріалу	21
1.3.2. Нановіскери	24
1.3.3. Нанопористі матеріали	27
РОЗДІЛ 2. ПЛАНУВАННЯ ТА ЗМІСТ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОГО ГУРТКА «СУЧАСНІ НАНОТЕХНОЛОГІЇ ТА НАНОМАТЕРІАЛИ»	31
3.1. Планування як процес, який забезпечує регулювання діяльності науково-технічного гуртка.....	31
3.2. Календарно-тематичне планування науково-технічного гуртка «Сучасні нанотехнології та наноматеріали»	32
3.3. Методичне забезпечення науково-технічного гуртка «Сучасні нанотехнології та наноматеріали».....	34
2.3.1. Розробка конспектів уроків.....	34
2.3.2. Тестові завдання для закріплення та контролю знань	53
2.3.3. Розробка кросворду «Нанотехнології та наноматеріали».....	59
ВИСНОВОК	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	62

ВСТУП

Актуальність теми. Розвиток цивілізації у XXI столітті пов'язаний з нанотехнологією як прогресивною, проривною, яка переводить наш світ у наступний технологічний порядок, у нове техногенне суспільство. Але що таке технологія? Раніше вважалося, що технологія – це сукупність знань про способи та засоби здійснення виробничих процесів [1]. Такому визначенню відповідають промислові технології: хімічна, металургійна, будівельна тощо. Особливість нанотехнології полягає в тому, щоб здійснювати дії та процеси, маніпулювати окремими атомами, молекулами у нанометровому діапазоні просторових розмірів, а не в макроскопічних об'ємах матеріалу, що містять мільярди атомів і молекул, характерних для традиційної технології. Друга особливість нанотехнології полягає у створенні матеріалів із принципово новими фізико-хімічними та біологічними властивостями. За останні десятиліття нанотехнології стали стратегічним індустріальним напрямом. До матеріалів у наностані проявляється величезний інтерес у зв'язку з реальною можливістю практичної реалізації їхніх унікальних властивостей у різноманітних галузях науки і техніки [2].

Таким чином, людина не просто копіює механізми та матеріали, створені природою, як це було у попередніх науково-технічних революціях, а й створює нові матеріали, невідомі природі.

Така перспектива розвитку сучасного матеріалознавства вимагає невідкладного впровадження в освітні програми спеціальних тем, необхідних для підготовки фахівців, які могли б на сучасному рівні та досить ефективно вирішувати фундаментальні та прикладні завдання у галузі нанотехнологій та наноматеріалів. У цьому контексті актуальним є питання розробки учнівських проектів, факультативних занять, науково-технічних гуртків з вивчення сучасних нанотехнологій та наноматеріалів.

Цілком зрозумілим є прагнення в галузі освіти розповісти про нанотехнології та наноматеріали в рамках однієї дисципліни, одного курсу. У цьому полягає складність, пов'язана з тим, що нанотехнологія є міждисциплінарною галуззю науки, в якій задіяні фізика, хімія, біологія,

технології, прикладні науки. Саме з цієї причини, незважаючи на наявність великої кількості навчальних посібників з даної тематики, є потреба розробки навчально-методичних матеріалів, які інтегрують знання з різних наук в єдине ціле з наноматеріалів та нанотехнологій.

Отже, тема магістерської роботи «Зміст і методичний супровід науково-технічного гуртка «Сучасні нанотехнології та наноматеріали» є актуальною та перспективною.

Об'єкт дослідження: сучасні нанотехнології та наноматеріали.

Предмет дослідження: методичне забезпечення вивчення сучасних нанотехнологій та наноматеріалів.

Мета дослідження: аналіз наукових, навчальних та методичних джерел вивчення сучасних нанотехнологій і наноматеріалів та розробка навчально-методичних матеріалів, які інтегрують знання з різних наук в єдиний навчальний комплекс.

Реалізація поставленої мети передбачає розв'язання таких **завдань**:

1. Проаналізувати основні поняття та сучасні досягнення в галузі нанотехнологій і наноматеріалів, проблеми та перспективи розвитку нанотехнологій.
2. Розробити методичні вказівки до планування змісту науково-технічного гуртка «Сучасні нанотехнології та наноматеріали».
3. Розробити методичне забезпечення науково-технічного гуртка «Сучасні нанотехнології та наноматеріали».

Теоретична значущість магістерської роботи полягає в детальному аналізі сучасного стану розвитку нанотехнологій та наноматеріалознавства. З'ясовано перспективи використання наноматеріалів у будівництві, електроніці, енергетиці, авто- і авіабудуванні, екології, медицині, сільському господарстві, військовій промисловості

Практична значущість магістерської роботи полягає у розробленні календарно-тематичного планування та методичного забезпечення науково-технічного гуртка «Сучасні нанотехнології та наноматеріали».

Апробація роботи. За матеріалами магістерської роботи опубліковано

наукову працю у збірнику матеріалів Міжнародної конференції: 1. Павловський Ю.В., **Ключник О.В.** Сучасні нанотехнології та наноб'єкти. *Актуальні проблеми сучасної науки*. Збірник IX міжнародної науково-практичної конференції викладачів та студентів НН ІФМЕІТ / за ред. М.Б. Паласевича, П.В. Скотного. Дрогобич: РВВ ДДПУ ім. І. Франка, 2022. С. 298-300.

Структура магістерської роботи. Магістерська робота складається зі вступу, двох розділів, висновків та списку використаних літературних джерел з 33 найменувань. Матеріали викладені на 64 сторінках, містять 30 ілюстрацій та 1 таблицю.

РОЗДІЛ 1.

СУЧАСНІ НАНОТЕХНОЛОГІЇ ТА НАНОМАТЕРІАЛИ

1.1. Основні поняття та сучасні досягнення в галузі нанотехнологій і наноматеріалів

Нанотехнології поділяються на два види за принципами: «знизу-вверх» (англ. «bottom-up») і «зверху-вниз» (англ. «top-down»). Принцип «знизу-вверх» дозволяє отримувати наноструктуровані матеріали за технологією, в якій з атомів і молекул (нижній рівень) утворюються наночастинки (верхній рівень), при цьому вихідні елементи структури укрупнюються до частинок нанометрового розміру (рис. 1.1). Така технологія дозволяє отримувати ізольовані наночастинки, нанопорошки та компактні наноматеріали. За принципом «зверху-вниз» отримують наноструктуровані матеріали, але в при цьому розміри частинок порядку нанометрів досягають за допомогою подрібненням більших частинок, порошоків або зерен твердих тіл. До технологій цього виду належать методи, які застосовують для отримання компактних наноматеріалів та нанопорошків з об'ємних заготовок [3].

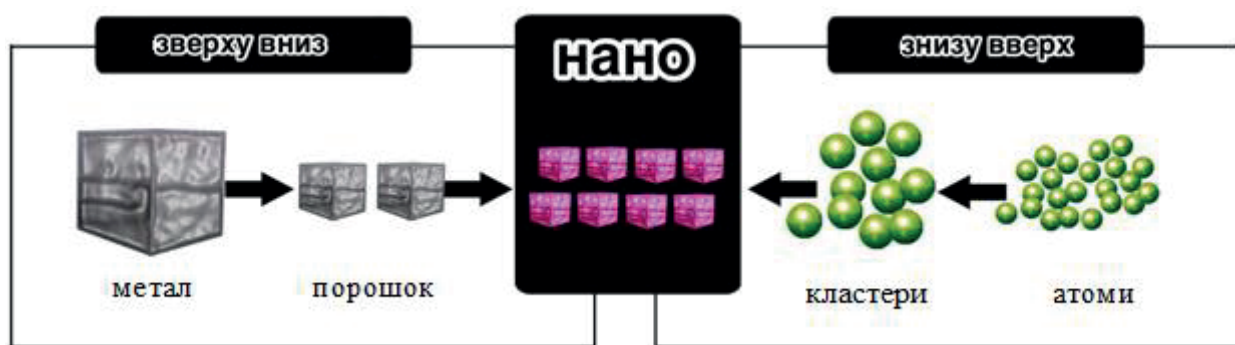


Рис. 1.1. Види нанотехнологій

Основою нанотехнології є наноматеріали – це матеріали, незвичайні функціональні властивості яких визначаються упорядкованою структурою їх нанофрагментів розміром від 1 до 100 нм [4].

Нині існує низка підходів до визначення наноматеріалів. Основні з них

представлені на рис. 1.2. Перший підхід – найпростіший. Він визначає наноматеріали за геометричними розмірами структури цих матеріалів. Критерієм приналежності до наноматеріалів вибрано розмір мікроструктури від 1 до 100 нм. Такі матеріали у літературі зустрічаються також під іншими назвами: наноструктурні, нанофазні, нанокристалічні, супрамолекулярні.

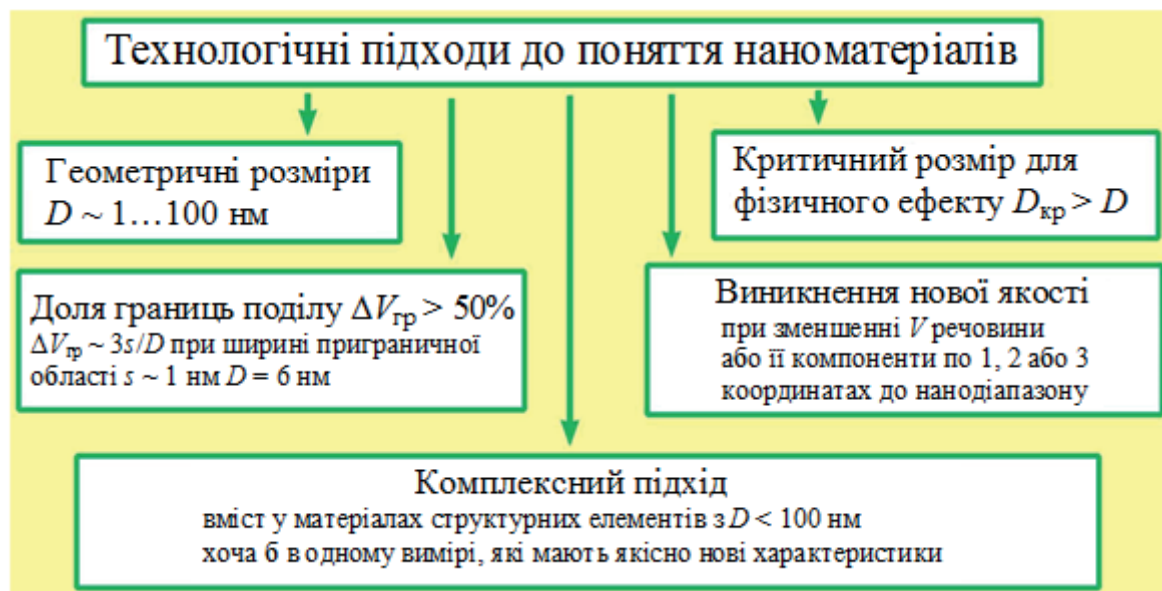


Рис. 1.2. Технологічні підходи до поняття наноматеріалів

Нанотехнологія оперує, маніпулює наночастинками: атомами, молекулами, іонами та їх асоціатами – і створює нанооб’єкти, наноматеріали із строгою молекулярною структурою, які мають принципово нові або суттєво покращені властивості в порівнянні з традиційними матеріалами, які складаються з мікро- та макрочастинок [4].

До нанооб’єктів відносять:

- тверді частки нанорозмірів;
- пори нанорозмірів;
- шорсткості нанорозмірів;
- плівки нанотовщини;
- волокна;
- нанокраплі у наноемульсії;
- нанопіни тощо.

Нанооб’єкти поділяють на чотири основні класи (рис. 1.3) [4]:

- тривимірні частинки, які можна одержати за допомогою плазмового синтезу, вибуху провідників та відновлення тонких плівок;
- двомірні об'єкти – плівки, які можна одержати методами іонного або молекулярного нашаровування;
- одномірні об'єкти – віскери, які можна одержати шляхом введення речовин у циліндричні мікропори або методом молекулярного нашарування;
- квантові точки.

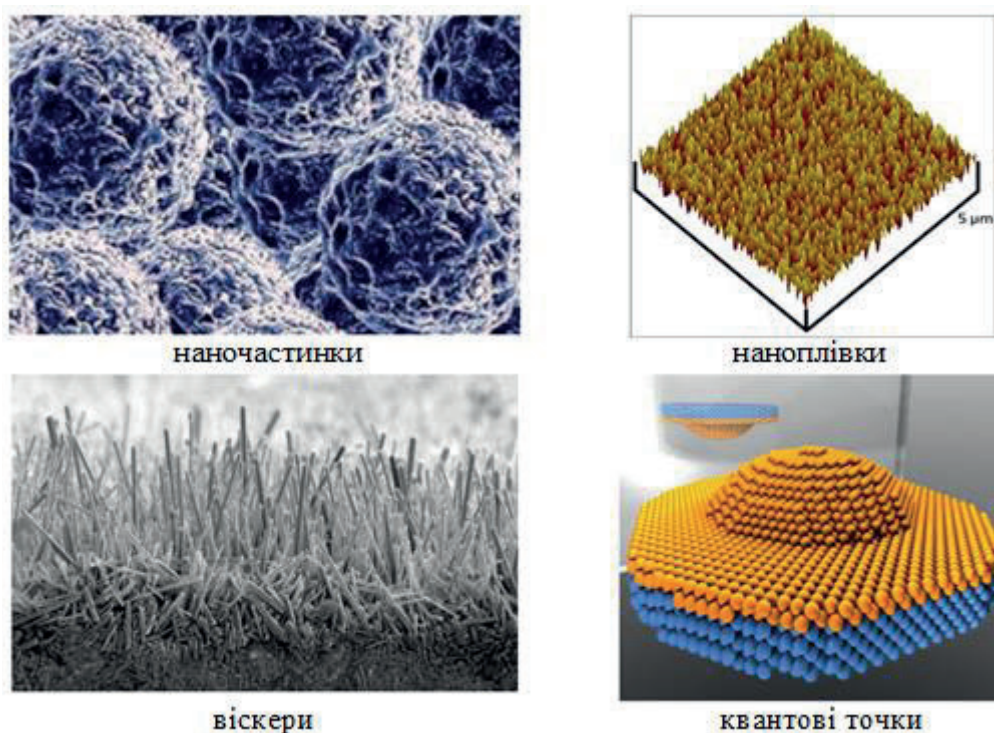


Рис. 1.3. Основні групи нанооб'єктів

Наноструктури збирають не тільки з окремих атомів чи молекул, а й з молекулярних блоків, таких як графен, вуглецеві нанотрубки та фулерени.

Другий підхід до визначення наноматеріалів пов'язаний із великим впливом на їх властивості численних поверхонь розділу. Переглянемо рис. 2. Критерієм визначення наноматеріалів є об'ємна частка поверхонь розділу в загальному об'ємі матеріалу. При розмірі структурних елементів у наноматеріалах порядку кількох нм вона становить приблизно 50%.

Третій підхід бере за критерій визначення наноматеріалів критичний розмір фізичного явища – розмір матеріалу, в якому його певна властивість

зберігається. Наприклад, для магнітних властивостей – це розмір однодоменного кристалу, для електропровідності – довжина вільного пробігу електронів, для властивостей міцності – розмір бездефектного кристала.

Четвертий підхід до визначення наноматеріалів як критерій визначення висуває виникнення нової якості в об'єкті або композиції з таких об'єктів при зменшенні його об'єму по будь-якій координаті до розмірів нанометрового масштабу. В цьому підході головним є поява нової якості, а не лише розмір.

П'ятий підхід до визначення наноматеріалів є найбільш повноцінним. Він використовує в комплексі два критерії – розмір структурного елемента хоча б в одному напрямку менший 100 нм та наявність у матеріалі якісно нових характеристик.

Нанотехнологія – це сукупність методів та прийомів, завдяки яким можна контролювано створювати та модифікувати об'єкти з розмірами компонентів меншими 100 нм, які володіють принципово новими якостями та інтегруються в повноцінно функціонуючі системи більшого масштабу [4].

Наноматеріал – це матеріал, який містять структурні елементи, геометричні розміри яких хоча б в одному вимірі не перевищують 100 нм, і має якісно нові властивості, функціональні та експлуатаційні характеристики [4].

Наноматеріали поділяють на чотири основні категорії (рис. 1.4):

- нановироби;
- мікровироби;
- масивні матеріали;
- композити з компонентами з наноматеріалів.

До нановиробів належать матеріали у вигляді твердих тіл, розміри яких в одному, двох або трьох просторових координатах не перевищують 100 нм. Наприклад, нанодроти та нановолокна, нанорозмірні частинки (нанопорошки), нанотрубки, надтонкі плівки (товщиною менше 100 нм) тощо. Вони можуть містити від одного структурного елемента або кристаліта (у випадку частинок порошку) до декількох шарів (у випадку плівки). У зв'язку з цим першу категорію класифікують як наноматеріали з малою кількістю структурних елементів або наноматеріали у вигляді нановиробів [5].



Рис. 1.4. Класифікація наноматеріалів

Мікровиробами є матеріали, які представляють малорозмірні вироби з визначальним розміром в діапазоні 1 мкм – 1 мм. Сюди відносять стрічки, дроти, фольги. Такі матеріали характеризуються значною кількістю структурних елементів, що дозволяє визначати їх наноматеріалами з великою кількістю структурних елементів (кристалітів) або наноматеріалів, що мають вигляд мікровиробів.

Масивними матеріалами є об'ємні наноматеріали, в яких розміри виготовлених з них виробів входять у макродіапазон більший кількох мм. Ці матеріали характеризуються великою кількістю нанорозмірних елементів (кристалітів) і є полікристалічними матеріали, які мають розмір зерна 1-100 нм. Таку категорію наноматеріалів поділяють на два класи.

Перший клас складається з однофазних матеріалів (мікроструктурно однорідні матеріали), у яких зміна структури та/або хімічного складу за об'ємом матеріалу відбувається лише на атомному рівні. Такими матеріалами є пересичені тверді розчини, гелі, скло.

Другий клас складається з мікроструктурно неоднорідних матеріалів, у

складі яких є нанорозмірні елементи (кристаліти, блоки), що відрізняються структурою та/або складом. Наприклад, багатофазні матеріали з врахуванням складних металевих сплавів.

Інша назва мікровиробів та масивних матеріалів – нанокристалічні або нанофазні матеріали.

Композити, які мають компоненти наноматеріалів, відносять до композиційних матеріалів. Компонентами виступають нановироби у вигляді нанопорошків, нанодротів, нановолокон, нанотрубок.

1.2. Наноматеріали на основі різних модифікацій вуглецю

1.2.1. Графен

Наноструктури збирають не тільки з окремих атомів чи молекул, але й молекулярних блоків – графену, вуглецевих нанотрубок та фулеренів.

Графен – це новий матеріал, що має унікальні електричні, оптичні та механічні властивості. Вперше графен у вільному стані був отриманий у 2004 р., що стало великим відкриттям, попри те, що графен – це вид простої речовини – чистого вуглецю. Його структура подібна до двомірної сітки, в якій кожен атом вуглецю жорстко зв'язаний з трьома сусідніми атомами (рис. 1.5) [6-9].

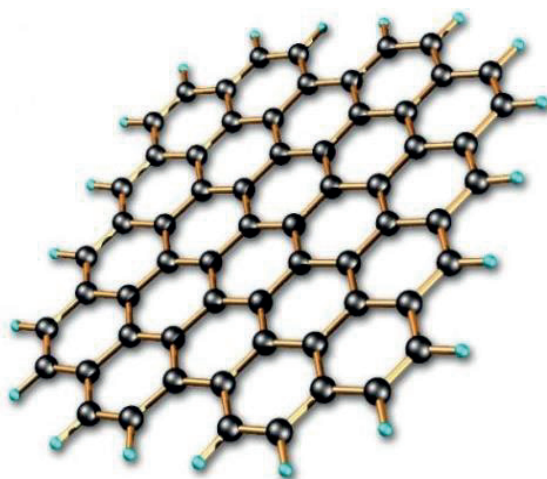


Рис. 1.5. Структура графену

Графен отримували нанесенням на клейку стрічку найтоншого шару графіту з подальшим видаленням основи. Це пов'язано з легким відділенням

один від одного шарів графіту. Механічний вплив на високоорієнтований піролітичний графіт призводить до отримання шматочків графену. Створення досить тонких шарів відбувається при розміщенні плоских шматків графіту між липкими стрічками (скотч) та багаторазовому їх розщепленні. Скотч, на якому залишилися тонкі плівки графіту, надалі притискають до підкладки окисленого кремнію. Цей спосіб отримання графену має такий недолік, як неможливість його промислового використання. Більш ефективним способом отримання нового матеріалу став метод, в якому основою є шари міді, нікелю, кремнію, які потім видаляються методом травлення.

Графен (graphene) – новий матеріал з незвичайними якостями. Вже зараз фізики, хіміки та інженери-електроніки багато говорять про його унікальні можливості. Це найтонший матеріал з усіх, що нині існують – товщиною в один атомний шар. При цьому він надзвичайно міцний, з урахуванням його товщини це найміцніший матеріал у світі. Він чудовий провідник електрики та теплоти і до того ж прозорий. Уявіть собі вуглецеву пластину товщиною всього в один атом, але міцнішу, ніж алмаз, і яка пропускає електрику в 100 разів краще, ніж кремній комп'ютерних чіпів. Через сітку атомів вуглецю проходить до 97,7% світла. А стійкий прозорий електропровідний матеріал придатний для плоскопанельних екранів [6].

Графен не тільки найтонший, а й найміцніший у світі матеріал. Доказ цього надали вчені з Колумбійського університету в Нью-Йорку. Вони помістили графен над крихтливими отворами в кристалі кремнію. Потім натисканням найтоншої алмазної голки спробували зруйнувати шар графену та виміряли силу тиску. Виявилося, що графен у 200 разів міцніший від сталі. Якщо уявити собі графеновий шар завтовшки з харчову плівку, він би витримав тиск вістря олівця, на протилежному кінці якого балансував би слон чи автомобіль.

У графена є дві неповторні властивості. По-перше, його молекулярна структура стійка до пошкоджень. По-друге, електрони переміщуються в ньому набагато швидше і поводяться подібно до частинок з масою набагато меншою, ніж у металевих провідниках або суперпровідниках [7].

Можливі сфери використання графену – якісні та дешеві плоскопанельні сенсорні екрани, сонячні батареї, накопичувачі енергії, стільникові телефони, супершвидкі комп'ютерні чіпи, швидкісні комп'ютери, суперчутливі газові детектори, здатні виявити найменший витік газу [8]. До перспективних напрямів застосування графену можна віднести сонячні та паливні елементи, літійні батареї, мембрани для очищення води та повітря, різні датчики тощо (рис. 1.6).



Рис. 1.6. Можливості застосування графену

1.2.2. Вуглецеві нанотрубки

Вуглецеву нанотрубку можна представляти або як згорнутий в трубку лист графіту, або як розрізаний по середній лінії «м'ячик» фулерену, між половинками якого вставлені додаткові осередки атомів вуглецю. Отже, структуру фулерену можна розглядати як граничний, окремий випадок нанотрубки (рис. 1.7). Відповідно, нанотрубки бувають як із закругленими кінцями, закритими фулереновими ковпачками, так і з відкритими кінцями, а також одношаровими чи багатшаровими (рис. 1.8) [9].

Потенційно нанотрубки мають неймовірно широку сферу застосування, але перш ніж розглядати конкретні галузі їх використання, варто сказати кілька слів про ті чудові фізико-хімічні властивості, які зумовлюють такі можливості.

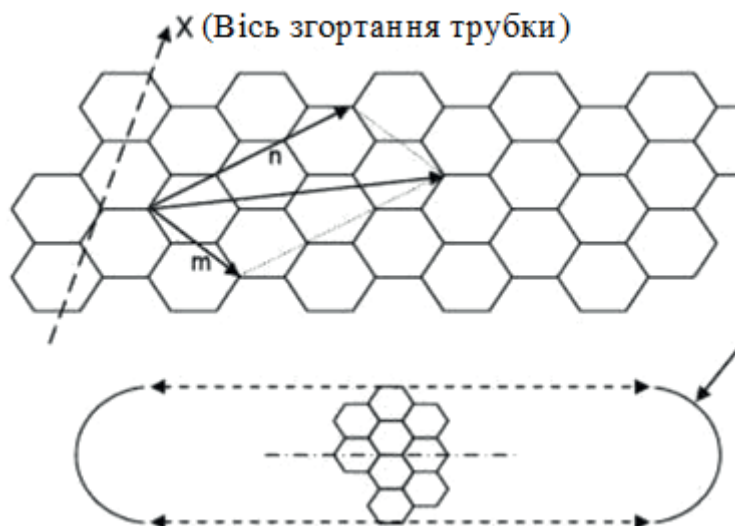


Рис. 1.7. Структура вуглецевої нанотрубки

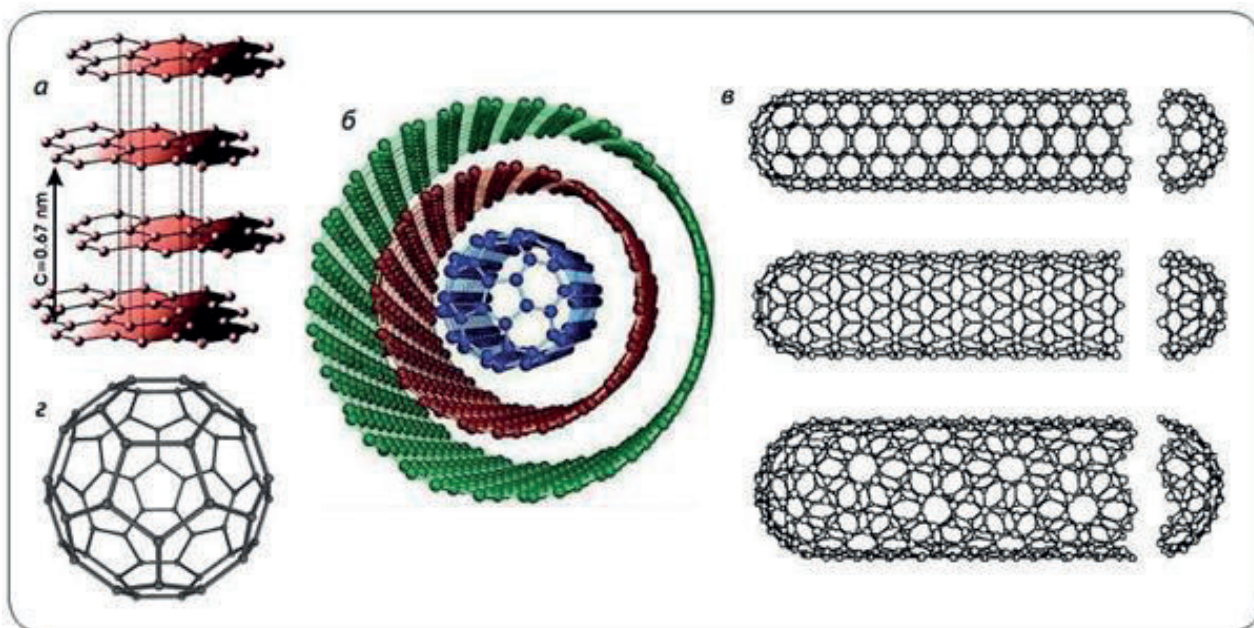


Рис. 1.8. Схема розташування вуглецевих атомів у ґратці графіту (а), багатошарових (б) та одношарових (в) нанотрубках і нижчих фулеренах (г)

Залежно від внутрішньої конфігурації нанотрубки можуть бути провідниками металевого типу або напівпровідниками.

Хоча насправді вуглецеві нанотрубки не отримують шляхом згортання графітових аркушів, проте деякі властивості нанотрубок можна пояснити,

виходячи з уявного розгляду способів такого згортання. Так, наприклад, провідні властивості нанотрубок пов'язані із співвідношенням параметрів n та m . Якщо відношення $(n-m)/3$ є цілим числом, провідність нанотрубки буде металевого типу. Інакше провідність буде напівпровідниковою [10].

Нанотрубки із металевим типом провідності оціночно можуть пропускати мільярд ампер на квадратний сантиметр. Для порівняння, провідність одного з найкращих металевих провідників – міді – не більше мільйона ампер на квадратний сантиметр. У випадку перевищення цього порогу мідний провідник плавиться. Однією з причин таких хороших властивостей є невелика кількість дефектів, які виникають при синтезі нанотрубки, а також висока теплопровідність. Вона майже вдвічі вища, ніж теплопровідні властивості алмазу.

Вуглецеві трубки дуже міцні. Наприклад, якщо порівнювати характеристики нанотрубок з характеристиками інших матеріалів за таким параметром міцності, як модуль Юнга, можна сказати, що модуль Юнга вуглецевих нанотрубок має величину порядку 1,28-1,8 ТПа. Модуль Юнга хорошої сталі становить 0,21 ТПа, модуль Юнга ебоніту – 2-3 ГПа, модуль Юнга каучуку – 12 МПа. Тобто модуль пружності вуглецевих нанотрубок майже на порядок вищий, ніж модуль пружності сталі, і приблизно 100 000 разів вищий, ніж у каучуку.

Оскільки структура вуглецевих нанотрубок містить мало дефектів, а співвідношення довжини трубки до її діаметра може бути дуже великим, крім високої жорсткості, вуглецева трубка має ще й значну гнучкість. Пруток з пучка нанотрубок можна багаторазово вигинати у різні боки, і при цьому він розпрямлятиметься без пошкоджень. Ця властивість є наслідком того факту, що стінки нанотрубки складаються з вуглецевих кілець, які при згинанні можуть деформуватися без розривів міжатомних зв'язків. Крім того, у вуглецевих кільцях вуглецеві зв'язки піддаються sp^2 -гібридизації і можуть перегібридизовуватися при згинах.

Межа міцності сталевих сплавів становить величину близько 2 ГПа, для нанотрубки ця величина становить 45 ГПа. Таким чином, при випробуваннях на

розрив нанотрубки приблизно в 20 разів міцніші від сталі.

Ще в 1996 р було виявлено, що окремі вуглецеві нанотрубки можуть мимоволі скручуватися в канатики з 100-500 волокон-трубочок, причому міцність цих канатиків виявилася більшою, ніж у алмазу (рис. 1.9). Точніше кажучи, вони у 10-12 разів міцніші та у 6 разів легші сталі. Нитка діаметром 1 міліметр могла б витримати 20-тонний вантаж, у сотні мільярдів разів більший за її власну вагу!

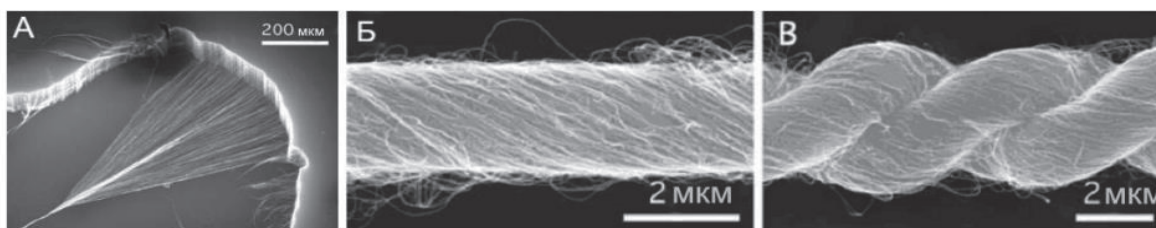


Рис. 1.9. Одержання канатів з вуглецевих нанотрубок: А – метод отримання; Б – одиничний канат; В – переплетений канат [11]

Вуглецеві нанотрубки мають також великі перспективи практичного використання у мікроелектроніці (нанопроводи, нанотранзистори), в паливних елементах, оптиці, нейрокомп'ютерних розробках, для моніторингу навколишнього середовища, в медичних, військових та біотехнологічних застосуваннях тощо.

1.2.3. Фулерени

Фулерени – це досить незвичайний клас молекул, що є однією з форм існування вуглецю (так званих алотропних модифікацій). Всім відомі алмаз і графіт – теж не що інше, як різні алотропні форми вуглецю, проте в структурі алмазу атоми вуглецю зібрані в тетраедри, графіт складається з плоских шарів, утворених шестикутниками, а фулерени – це кулясті молекули із замкненою поверхнею. Найпростіший з фулеренів містить 60 атомів вуглецю і дивним чином нагадує за своєю структурою футбольний м'яч: його поверхня утворена п'яти- і шестикутниками, які чергуються, причому розмір цього «м'яча» становить лише 1 нм (нанометр).

Відкриття фулеренів – один із яскравих прикладів прогностичної потужності науки: ще в 70-ті роки XX століття були зроблені теоретичні квантово-хімічні розрахунки, що передбачають існування подібних молекул, проте лише в 1985 році їх вперше виявили при дослідженні парів графіту після його лазерного опромінення. Пізніше фулерени були знайдені і в природних мінералах [12].



Рис. 1.10. Фулеренові молекули: а) C_{60} і футбольний м'яч; б) C_{70}

Фулерени – це щільна закрита структура у вигляді опуклих замкнутих багатогранників, які містить понад 20 атомів вуглецю і складається повністю з вуглецевих атомів із трьома зв'язками. Загалом виділяють такі різновиди фулеренів: фулеренова сажа; суміш C_{60}/C_{70} /вищі фулерени; фулерени C_{60} ; фулерени C_{70} ; вищі фулерени; ендоедральні фулерени; хімічні модифікації фулеренів; фулереномодифікована продукція (рис. 1.10).

Для фулеренів характерні такі властивості: 1) легування фулеренів C_{60} незначною концентрацією атомів лужних металів призводить до утворення матеріалу, який за низьких температур стає надпровідним; 2) висока сорбційна здатність (до поглинання газів, пари або речовин), як сорбенти фулерени набагато перевершують активоване вугілля; 3) фотопровідність; 4) висока механічна міцність; 5) нелінійні оптичні властивості; 6) висока пружність; 7) низька поверхнева енергія; 8) висока хімічна стабільність; 9) слабкі міжмолекулярні взаємодії; 10) біосумісність, що уможливлює їх використання в медицині [13, 14].

1.3. Сучасні нанокompозитні матеріали

1.3.1. Формування нанокompозитного матеріалу

Композитні матеріали містять дві або більше різних фаз, сполучених у процесі зростання, просочення, змішування, компактування дрібнодисперсних фракцій тощо. Провести чітку межу між нанокompозитами та багатофазними об'ємними нанострукторними матеріалами досить важко. Їх отримують схожими методами, в них велику роль відіграють структура міжфазних меж, сила зчеплення між окремими морфологічними одиницями, ступінь термодинамічної стійкості тощо [15].

Іноді до композитів відносять дисперсно-зміцнені сплави (ДС). Зміцнення у них досягається шляхом штучного старіння матеріалу, що заздалегідь гомогенізують гартуванням з області твердого розчину. В результаті розпаду пересиченого розчину виділяються дисперсні частинки, блокуючі процеси утворення та переміщення дислокацій. Класичні приклади ДС – дуралюміни та жароміцні хромонікельові сплави з добавками Мо, W, В. У деякій мірі процес виділення зміцнюючої фази при термообробці ДС нагадує утворення нанокристалів при керованій кристалізації з аморфної фази.

Матриця, у якій розміщено наповнювач, може бути рідкою або твердою. Наноструктурні рідини (колоїди, гелі, суспензії, полімерні композиції) використовують як змащувально-охолоджуюче середовище, герметики, середовище з керованими зовнішніми полями та фізичними властивостями (наприклад, що змінюють в'язкість під дією магнітного поля в гідромуфтах; коефіцієнти заломлення, повороту площини поляризації під дією електричних і магнітних полів у рідкокристалічних індикаторах та дисплеях). Надзвичайно важливою рідиною є вода, у якій в різних температурних інтервалах можуть утворюватись різні асоціати нанометрових розмірів. Це впливає на їх властивості та функціонування біооб'єктів і живих організмів.

Відповідно до природи основи розрізняють металеві, керамічні, полімерні та біокompозити. Деякі об'єкти можуть бути віднесені як до одного, так і до іншого класу. Наприклад, металеві композити можна отримувати за

«керамічною» технологією, тобто шляхом пресування порошкової суміші та подальшого спікання [16].

Класифікація нанокомпозиційних матеріалів (НКМ) за морфологічними ознаками приведена на рис. 1.11. Її можна вважати окремим випадком глейтерівської схеми [17].

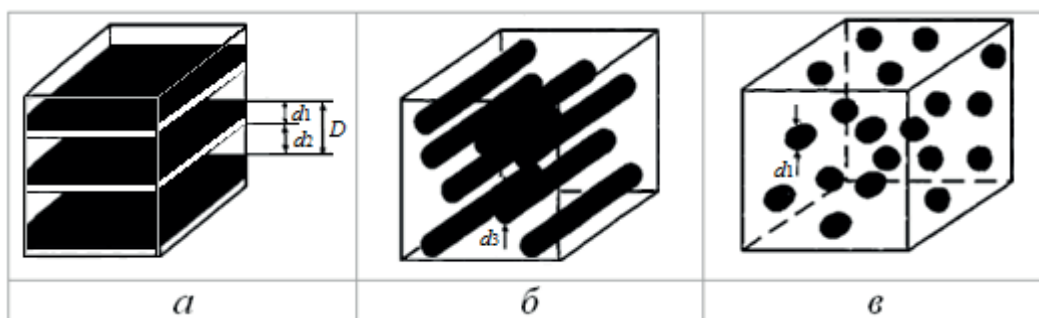


Рис. 1.11. Основні типи композитних матеріалів, які містять нанорозмірні компоненти: *а* – наношаруваті; *б* – нановолокнисті; *в* – з сферіодними включеннями; D – періодичність чергування шарів; d_1 , d_2 – характерні розміри окремих морфологічних одиниць

Для віднесення композиту до наноматеріалів (НМ) необхідно, щоб хоча би одна фаза у певному напрямку мала нанометрові розміри (зазвичай < 100 нм). Нанорозмірна фаза може розташовуватися всередині крупніших зерен матриці або по їх межах. У граничному випадку всі компоненти композиту можуть мати нанометрові розміри. Поряд з розмірами та характеристиками частинок кожної фази істотну роль у формуванні всього комплексу властивостей відіграють сили зчеплення між ними. Тому у технології має бути приділена увага як методам приготування окремих компонентів, так і їх змішуванню та консолідації [18].

З технологічних позицій металеві та керамічні композити дуже схожі. Способи їх виробництва подібні або навіть співпадають з методами формування об'ємних НМ. Помел і механічне сплавлення добре підходять для тонкого подрібнення, перемішування, а часто і проведення механохімічного синтезу. Високопродуктивними методами золь-гель-технології можна отримувати нанокомпозити різного складу з високою однорідністю і малим розкидом розмірів частинок. Нанокомпоненти можуть бути введені у гель, що

розпилюється, як до висушування, так і після нього [19].

Великого поширення набули методи просочення та екструзії суміші елементів. Ці способи дозволяють упорядкувати та зорієнтувати відповідні структурні фрагменти уздовж одного напрямку (армовані НКМ). Таке макровпорядкування дає можливість добитися необхідної анізотропії властивостей та високої міцності матеріалу у напрямі дії максимальних напружень в конструкціях. Волокнисті НКМ з армуючими елементами з ниткоподібних кристалів (вусів або віскерів), вуглецевих, борвмісних, скляних, кремнеземних та карбідокремнієвих волокон набули значного поширення у аерокосмічній галузі, транспортному машинобудуванні та інших областях. Вони застосовуються як конструкційні, теплоізолюючі, фрикційні матеріали [20, 21].

Одне з найважливіших завдань при створенні конструкційних композитів – забезпечення передачі навантаження з матриці на зміцнюючі елементи. Для поліпшення зчеплення вуглецевих волокон з матрицею у композиті часто застосовують покриття нанотрубок додатковою оболонкою кремнію завтовшки у декілька десятків атомних шарів. Характерно, що чим міцніше волокно, тим більш довгим воно має бути для забезпечення надійного зчеплення з матрицею.

Наноккомпозити та нанокераміки на основі оксидів, карбідів, боридів та інших неорганічних сполук привертають увагу внаслідок можливостей комбінувати та сполучати різні компоненти і отримувати матеріали з унікальними характеристиками. Вже створені десятки композицій на основі ZrO_2 , TiO_2 , $BaTiO_3$, SiC , Mn_3O_4 , CeO_2 , MGO , $PbTiO_3$, ітрій-алюмінієвих гранатів, перовскіту, гідрооксиапатиту, TiB_2 , TiC та інших речовин. Як основу НКМ найчастіше використовують перші чотири сполуки з дисперсністю 5...100 нм. Зокрема, зменшення розміру зерен з 300 до 80 нм у кераміці на основі ZrO_2 дозволяє збільшити швидкість надпластичної деформації на 1,5 порядки. У цирконієвих кераміках, легованих ітрієм, добиваються високих значень K_{1c} (до 17 МПа) при розмірах зерна близько 100 нм [22-24].

Для аерокосмічних та інших галузей, що потребують легких

високоміцних матеріалів, велику перспективу мають полімерні нанокомпозити. Зокрема, оптимально сформовані композити на основі ВНТ можуть забезпечити міцність близько 50 ГПа, жорсткість ~ 1000 ГПа і деформацію до руйнування до десятків відсотків [24].

Крім рекордної питомої міцності полімерні нанокомпозити можуть мати низку інших корисних особливостей:

- високий ступінь самовпорядкування частинок наповнювача при його низькій об'ємній частці;
- велику щільність частинок;
- низьку перколяційну межу;
- велику питому площу меж;
- малу відстань між частинками наповнювача (10...50 нм);
- порівняні з розмірами самих частинок наповнювача, відстані між ними і радіуси релаксацій у полімерному ланцюзі.

Ці особливості дозволяють створювати унікальні функціональні НКМ, що не мають аналогів серед інших класів матеріалів.

1.3.2. Нановіскери

Направлене зростання ниткоподібних кристалів, або віскерів (від англійського слова *whiskers* – вуса) на поверхнях, активованих краплинами каталізатора, було відкрито Вагнером і Еллісом в експериментах по газофазному осадженню кремнію з пари SiCl_4 і H_2 на поверхні $\text{Si}(111)$, активованій золотом. Ключовий ефект активації поверхні полягає в тому, що зростання на поверхні під краплиною відбувається значно швидше, ніж на неактивованій частині поверхні.

Для пояснення механізму формування ниткоподібних кристалів на активованих поверхнях був запропонований механізм зростання «пара – рідина – кристал», суть якого полягає у наступному. Припустимо, що в системі створені такі умови, за яких епітаксіальне зростання на неактивованій поверхні достатньо повільне, і адсорбція речовини з газоподібного середовища

відбувається, переважно, на поверхні краплини розчину. У випадку газофазної епітаксії такі умови зростання зазвичай забезпечуються низькою температурою поверхні, при якій швидкість хімічної реакції у поверхні підкладки невелика. Крім того, віскери зазвичай вирощують на тій поверхні, для якої звичайне епітаксіальне зростання кристала відбувається найповільніше, наприклад, на поверхні Si(111) у разі кремнію. Адсорбція речовини на поверхні краплини призводить до того, що розчин стає перенасиченим і кристалізується на поверхні підкладки під краплиною. В результаті під краплиною росте кристалічний стовпчик з розміром в площині зростання (латеральним), приблизно рівним діаметру краплини, а сама краплина рухається вгору зі швидкістю, рівній швидкості росту віскера. При невисоких перенасиченнях газоподібного середовища зародкоутворення на бічних гранях віскера дуже мале, тому розширення віскера в латеральному напрямі не відбувається. Зростання віскерів за механізмом «пара – рідина – кристал» схематично зображено на рис. 1.12 [25].

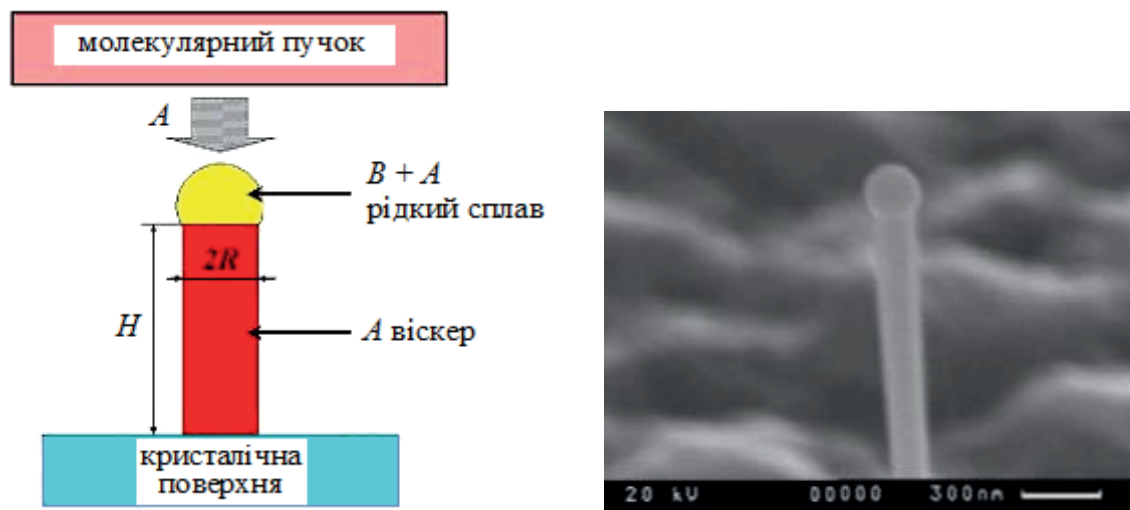


Рис. 1.12. Схема формування віскера з матеріалу A з діаметром $D=2R$ і висотою H за механізмом «пара – рідина – кристал» (а); GaAs нановіскер, вирощений методом молекулярно-променевої епітаксії на поверхні GaAs (111), активованій Au (б)

Напівпровідникові нановіскери є одновимірними квантоворозмірними об'єктами, які мають унікальні транспортні і оптичні властивості. Це робить їх

вельми перспективними елементами для створення нового покоління польових транзисторів з товщиною провідного каналу всього декілька нанометрів і світловипромінюючих приладів з наднизьким споживанням енергії.

Структурні параметри нановіскерів, що мають малий латеральний розмір, та характеризуються великим відношенням висоти до діаметру ($10 \div 100$), високою поверхневою щільністю (до 10^{10} см^{-2}) дозволяють використовувати їх як багатоострійні катоди, зонди для атомно-силових мікроскопів, для хімічного аналізу газів і рідин, в біосенсорах, що детектують віруси тощо.

Морфологія ансамблю нановіскерів залежить від початкової ефективної товщини осадження H . Приклади ансамблів GaAs нановіскерів, вирощених на поверхні GaAs(111), активованій золотом, наведені на рис. 1.13 [15].

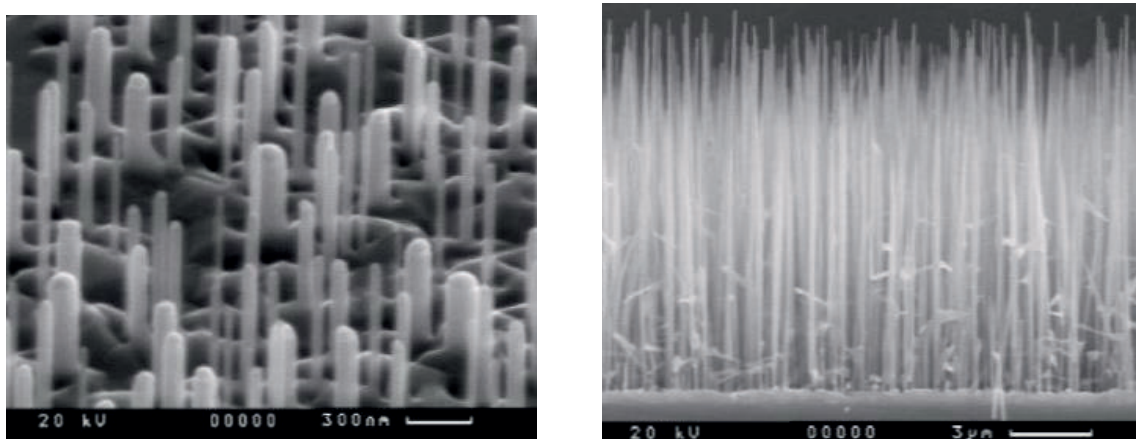


Рис. 1.13. Електронномікроскопічне зображення GaAs нановіскерів вирощених методом молекулярно-променевої епітаксії при різних режимах

Унікальна морфологія нановіскерів, які є вертикальними одновимірними нанокристалами, а тому мають високу міцність, досконалу кристалографічну структуру, міцний зв'язок з підкладкою, що визначає їх використання в різних галузях. До цих властивостей відносять: одновимірний транспорт носіїв, ефекти одновимірного розмірного квантування, велике відношення об'єму до площі поверхні (що є важливим при використанні як сорбентів та каталізаторів), унікальна чутливість провідності до управління полем (у транзисторах) або до модифікації поверхні кристала (у біо- і хемосенсорах).

На рис. 1.14 наведені зображення SiGe нановіскерів, вирощених методом плазмо-індуційованої газофазної епітаксії на поверхні Si(111), активованою Au [15].

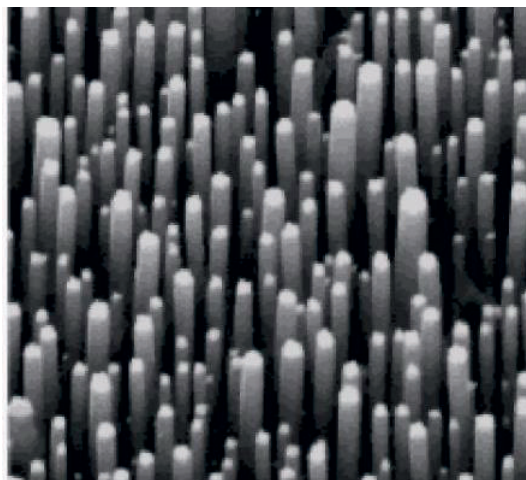


Рис. 1.14. Зображення SiGe нановіскерів на поверхні Si(111)-Au

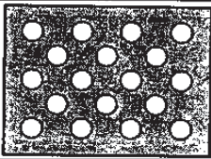
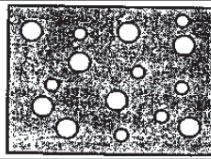
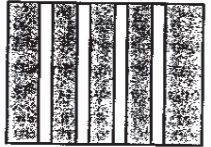
1.3.3. Нанопористі матеріали

Усі пористі матеріали діляться на три класи: нанопористі (характерний розмір пор $R < 2$ нм), мезопористі ($2 < R < 50$ нм) та макропористі ($R > 50$ нм). Нанопористі матеріали можна розглядати як наноконпозиційні, у яких пори відіграють роль другої фази, випадково або закономірно розподіленої у матриці (табл. 1.1). Існує декілька фізичних причин для того, щоб їх виділити в окремий клас матеріалів. Наявність великої кількості пор або каналів розмірами 0,3...10 нм додає нанопористим матеріалам низку унікальних фізичних властивостей [26].

Така специфіка нанопористих матеріалів пояснюється величиною вільної та доступної для взаємодії з газами та рідинами поверхні, яка може перевищувати 10^3 м²/г. Це поліпшує умови для гетерофазних хімічних та каталітичних реакцій, збільшенню сорбційної місткості тощо. Однак, збільшення питомої поверхні далеко не вичерпує причин підвищення подібної активності нанопористих матеріалів. Велика відносна кількість атомів, що знаходяться на поверхні та упрі поверхневих шарах з високою кривизною, може радикально змінити властивості самого матеріалу, як і властивості атомів та молекул, адсорбованих порами з навколишнього середовища.

Таблиця 1.1

Основні типи нанопористих матеріалів

Нанопористі матеріали	Впорядковані	Невпорядковані
З ненаскрізними порожнинами		
З наскрізними порожнинами		

Основні типи нанопористих матеріалів. Важливим параметром пористих тіл є проникність для газових та рідких середовищ. За нанорозмірних пор вона може стати різною для молекул, тобто нанопористі матеріали можуть використовуватися у селективних молекулярних ситах та фільтрах (рис. 1.15). Нанопористі матеріали застосовують у протигазах, системах автономного життєзабезпечення на підводних човнах та космічних станціях, можуть використовуватися у фільтрах для тонкого очищення повітря та води від забруднень (зокрема від хімічних і бактеріологічних, отруйних речовин). Для їх ефективної роботи важливо перевершити перколяційну межу, за якою не зв'язані між собою пори та канали починають утворювати крізні проходи для пропускання плинного середовища.

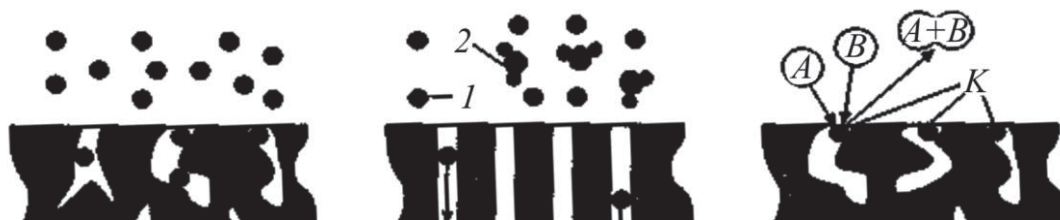


Рис. 1.15. Основні види взаємодії нанопористих матеріалів з навколишнім середовищем: *a* – адсорбція; *б* – фільтрація, розподілення сумішей; *в* – каталіз: *1* – маленькі молекули; *2* – великі молекули; *A* та *B* – вихідні реагенти; *A+B* – синтезований продукт

Особливої цінності набувають матеріали з наскрізними каналами

правильної геометричної форми і однаковими розмірами, оскільки чим менший розподіл останніх, тим краще селективні властивості фільтру.

Важливими параметрами нанопористих матеріалів є термочасова та хімічна стабільність, механічна міцність, вартість, технологічність. У хімічній, металургійній, біотехнологічній промисловостях одним з популярних типів нанопористих матеріалів є цеоліти – алюмосилікати, які отримують з особливих глин. Після спеціальної термообробки в них формуються пори розмірами $\sim 0,1\ldots 10$ нм, які утворюють тривимірну структуру з крізними каналами. Розмір пор залежить від кількості атомів кисню у циклічних структурах. Це дозволяє пристосовувати матеріал на поглинання певних молекул або розділення їх сумішей у мембранних фільтрах. Зокрема, алюмосилікати містять впорядковані циліндричні пори діаметром $2\ldots 10$ нм з малою дисперсією розмірів та володіють високою селективністю [26].

Вельми інтенсивно досліджуються мезопористі кварцити, пористий кремній та споріднені структури, що мають численні застосування. Особливий клас складають нанопористі мембрани штучного та біологічного походження. Іншим пористим матеріалом є активоване вугілля. Велику перспективу різноманітних застосувань мають вуглецеві матеріали на основі фулеритів та нанотрубок.

Зокрема, висока сорбційна здатність по відношенню до водню дозволяє сподіватися на створення високоефективних паливних елементів для екологічно чистої водневої енергетики. Інтенсивно обговорюються можливості створення селективних мембран з нанотрубок.

Ще одна перспективна область нанопористих середовищ – створення на їх основі нових магнітних матеріалів з унікальними властивостями шляхом заповнення пор магнітними наночастками. Зокрема, біологічні молекули феритину є порожніми сферами, які заповнені кристалічним оксидом заліза Fe_2O_3 . Залежно від кількості атомів заліза, ув'язнених в цій порожнині (від декількох штук до декількох тисяч), і температури нанокристал може демонструвати феромагнітні, антиферомагнітні або парамагнітні властивості. Інтерес до магнітних наноструктур обумовлений бажанням створити

високощільні носії інформації (у перспективі з щільністю ~ 10 ТБ/см², що на декілька порядків перевищує таку щільність у сучасних системах запису/зберігання інформації). Матрицею для розміщення таких нанокристалів можуть служити цеоліти, пористий кремній, нанопористі полімери.

Великий інтерес викликає відкриття люмінесценції пористого кремнію в області видимого діапазону світла, яка відсутня у монокристалічного кремнію. Крім фотолюмінесценції пористий кремній демонструє також електро- і катодолюмінесценцію (випускання видимого світла під дією прикладеної напруги або падаючих на його поверхню електронів, відповідно). Можливість використання пористого кремнію для створення оптоелектронних пар, дисплеїв, індикаторів, фотоперетворювачів є досить привабливою, оскільки при цьому передбачається застосовувати планарну «кремнієву» технологію.

РОЗДІЛ 2.

ПЛАНУВАННЯ ТА ЗМІСТ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОГО ГУРТКА «СУЧАСНІ НАНОТЕХНОЛОГІЇ ТА НАНОМАТЕРІАЛИ»

2.1. Планування як процес, який забезпечує регулювання діяльності науково-технічного гуртка

Найбільш поширеною груповою формою організації позакласної роботи є гурток – добровільне об'єднання учнів, які виявляють підвищений інтерес до певної галузі знань і прагнуть займатися практичною діяльністю. Це може бути спільне вивчення питань техніки та технології, конструювання та будівництво моделей, приладів та інших пристроїв, раціоналізаторська діяльність, науковий та технічний пошук. Заняття у гуртках характеризуються наявністю програми, регулярністю, тривалістю термінів та певним профілем роботи [27].

Планування як процес, що забезпечує діяльність гуртка, орієнтується на справжню роботу гуртка, але прагне визначити та контролювати розвиток гуртка у перспективі.

Планування як процес – це систематична підготовка прийняття рішення про мету, засоби та дії шляхом цілеспрямованої порівняльної оцінки реального та бажаного. Рекомендується спиратися на 4 етапи планування:

- вироблення мети для етапу розвитку;
- визначення шляхів досягнення мети;
- вибір засобів досягнення мети;
- контроль за досягненням мети.

Планування діяльності як процес умовно класифікується так [27]:

а) за ступенем охоплення:

- загальне планування, що охоплює всі напрямки діяльності гуртка;
- приватне планування, що охоплює конкретний напрямок (навчально-виховна робота, методична робота, масові заходи з дітьми);

б) за предметом планування:

- цільовий (окремий захід, конкретна мета);

- планування коштів (бюджет, ресурси, інформація);
- програмне (діяльність гуртка розбивається на сукупність заходів);
- планування дій (структура заходів, що забезпечують результат: сценарний план, план реалізації виховання чи впровадження педагогічних інновацій у практику);

в) за глибиною планування:

- глобальне (що охоплює всі напрямки);
- контурне (закладаються тактичні та варіативні дії, які можуть бути зоною пошуку, змін, творчості);
- детальний (докладний опис усіх дій щодо виконання кожного завдання, поставленого керівником);

г) за термінами:

- короткострокові (тижневі, четвертні);
- довгострокові (річні та більше);

д) за можливістю зміни плану:

- гнучке планування (допускається зміни дій, термінів);
- жорстке (суворе дотримання намічених заходів відповідно до логіки «мета - захід»);

До критеріїв ефективного планування відносять:

- повноту запланованих дій;
- точність заходів, намічених задля досягнення цілей;
- безперервність дій;
- еластичність та гнучкість;
- можливість контролю над виконанням;
- можливість оперативного коригування.

2.2. Календарно-тематичне планування науково-технічного гуртка «Сучасні нанотехнології та наноматеріали»

Зміст навчального матеріалу та вимоги до рівня загальноосвітньої підготовки учнів при відвідуванні науково-технічного гуртка «Сучасні нанотехнології та наноматеріали» представлені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Елементи програми

Дата проведення заняття	К-сть годин	Зміст навчального матеріалу	Вимоги до рівня загальноосвітньої підготовки учнів
	2	Нанотехнології: історія створення та перспективи розвитку (види нанотехнологій).	<i>Називає</i> види нанотехнологій, методи отримання наноматеріалів. <i>Наводить</i> приклади сфер застосування наноматеріалів. <i>Порівнює</i> властивості наноматеріалів з властивостями іншими конструкційних та функціональних матеріалів. <i>Розпізнає</i> різновиди наноматеріалів на основі різних модифікацій вуглецю. <i>Знає</i> історичні аспекти розвитку нанотехнологій, класифікацію та типи структур наноматеріалів. <i>Обґрунтовує</i> перспективність застосування наноматеріалів у приладобудуванні, машинобудуванні, двигунобудуванні, автомобільній промисловості, в електроніці, енергетиці, екології, сільському господарстві, фармації та медицині, військовій справі, у виробленні текстилю.
	2	Поняття про наноматеріали. Основи класифікації та типи структур наноматеріалів.	
	2	Методи отримання наноматеріалів (отримання нанопорошків, тонких плівок, кристалізація аморфних сплавів, методи інтенсивної пластичної деформації)	
	2	Властивості наноматеріалів та основні напрямки їх застосування (розмірний ефект).	
	2	Сучасні нанокомпозитні матеріали	
	2	Наноматеріали на основі різних модифікацій вуглецю (графіт, графен, нанотрубки, фулерени). Властивості та практичне застосування.	
	2	Приладові елементи на основі наноматеріалів (магніторезистивний ефект, спін-вентельні структури)	
	2	Нановолокна та волокнисті матеріали XXI століття (нові методи отримання волокон на основі принципів біоміметики та генної інженерії; нанотекстиль)	
	2	Біоміметика та наноматеріали (біоміметика та адгезія, змочування та нанотехнології, ефект лотоса).	
	2	Застосування наноматеріалів у машинобудуванні, двигунобудуванні та автомобільній промисловості	
	2	Використання наноматеріалів в електроніці, оптоелектроніці та приладобудуванні	
	2	Застосування наноматеріалів в енергетиці, сільському господарстві, екології	
	2	Нанотехнології та наноматеріали у фармації та медицині (діагностування, наночастинки для доставка лікарських препаратів та виробництва пробіотиків,	

		стоматологічні наноматеріали, нанокompозити антивірусної дії)	
	2	Використання наноматеріалів у військовій промисловості	
		Лабораторно-практичні роботи. Вивчення структурних властивостей наноматеріалів.	

2.3. Методичне забезпечення науково-технічного гуртка

«Сучасні нанотехнології та наноматеріали»

2.3.1. Розробка конспектів уроків

Тема заняття: Нановолокна та волокнисті матеріали XXI століття.

Мета заняття: *Розвиваюча:* розвивати пізнавальний інтерес учнів до сучасного матеріалознавства, особливостей технологічних процесів та практичному застосуванню наноматеріалів. *Виховна:* формування творчого начала та технологічної культури в учнів.

Методи навчання: розповідь, бесіда, демонстрація наочних посібників.

Тип заняття: набуття нових знань.

План заняття

- I. Організаційний момент (1 хв.)
- II. Повідомлення теми та мети заняття (2 хв.)
- III. Актуалізація опорних знань (5 хв.)
- IV. Виклад нового матеріалу (30 хв.)
- V. Закріплення вивченого матеріалу (6 хв.)
- VI. Домашнє завдання (1 хв.)

I. Організаційний момент

Привітання з учнями, відмічання відсутніх, перевірка готовності до заняття (наявність зошитів, ручок).

II. Повідомлення теми та мети уроку

Сьогодні на занятті ми поговоримо про сучасні методи одержання

нановолокнистих матеріалів. Дізнаємося про класифікацію текстильних волокон, виготовлення нановолокон різних видів, наповнення наночастинками волокна, про нові методи отримання волокон на основі принципів біоміметики та генної інженерії.

Отже, тема сьогоднішнього уроку «Нановолокна та волокнисті матеріали XXI століття».

III. Актуалізація опорних знань

1. Які ви знаєте види волокон?
2. Що таке низькорозмірні матеріали?
3. Хто може навести приклади використання наноматеріалів?
4. Чи знаєте ви що таке нанотекстиль?

IV. Виклад нового матеріалу

Нановолокна та нанотекстиль (тканина, трикотаж, нетканка) не є готовими продуктами. Нановолокна широко використовуються в техніці (наповнювачі композитних пластиків) у виробництві власне текстилю. Нанотекстиль використовується у виробництві одягу, головних уборів, взуття, предметів домашнього користування тощо).

Волокна і нановолокна можуть мати різне походження: природні (рослинні, тваринні) та хімічні – рукотворні.

Природні волокна: рослинні (бавовна, льон, пенька тощо) і тваринні (вовна, натуральний шовк) природа створює спочатку нанооб'єктами, оскільки вони мають надзвичайно розвинену нанопористість розміром близько 1-50 нм (рис. 2.1). Так 1 г бавовняного волокна має сумарну внутрішню поверхню пор $> 100 \text{ м}^2$. Природні волокна є нанопористими контейнерами для розміщення там наночастинок різної природи (органічні, неорганічні, антимікробні, струмопровідні, фотоактивні тощо). Так фарбування волокон формується шляхом інкорпорування наночастинок барвника в нанопори.

Волокна наповнені наночастинками почали виготовляти з 1990 р. Вони майже не зсідуються, мають підвищену міцність на розрив і стирання, знижену

горючість, та в залежності від природи введених наночастинок, можуть набувати інших захисних властивостей, потрібних для людини.

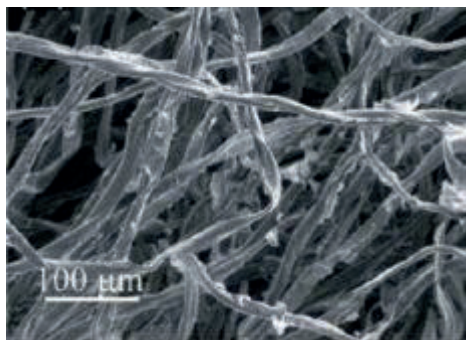


Рис. 2.1. Природні волокна з нанопористістю

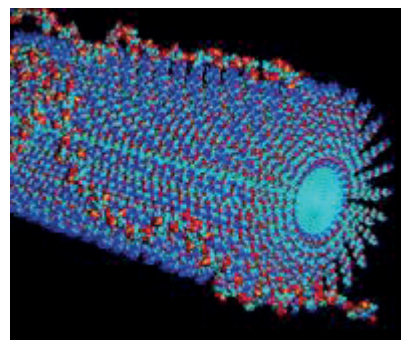


Рис. 2.2. Хімічні нановолокна

До структури будь-якого хімічного волокна на стадії приготування розчину або розплаву волокноутворювального полімеру можна вносити частинки наповнювача нанорозмірів (рис. 2.2). Залежно від хімічної природи наночастинок наповнювача отримують волокна з різними властивостями (висока механічна міцність, електропровідність, фотоактивність, антимікробні, сенсорні властивості, чутливість до зміни температури тощо). Звідси і потенційні сфери застосування: силові структури, спорт, медицина, домашній текстиль, одяг.

Як нанонаповнювачі використовують різні форми вуглецю (у тому числі фулерени), природні мінерали, оксиди різних металів (Ti, Mn, Si, Zn тощо). В принципі немає обмежень щодо введення наночастинок будь-якої природи у структуру волокон. Йде широкий пошук у цьому напрямку [28].

Вуглецеві нанотрубки також використовують як наповнювачі волокон, причому як з однією, так і декількома стінками. Такі волокна набувають унікальних властивостей – вони в 6 разів міцніші та в 100 легші від сталі. А якщо їх на 5-20% від маси наповнити вуглецевими наночастинками, то вони стають електропровідними як мідь та стійкими до багатьох хімічних речовин. За допомогою армування вуглецевими нанотрубками отримують особливо міцні матеріали з яких виготовляють екрани дисплеїв, сенсорів, сховища для

рідкого палива, повітряні зонди тощо. Відомо, що якщо наповнити вуглецевими нанотрубками полівінілспиртове волокно, яке виготовляють за коагуляційною технологією прядіння, то воно стає в 120 разів витривалішим від сталльної дротини і в 17 разів легшим за волокно Кевлар (використовують у бронежилетах) (рис. 2.3) [29].



Рис. 2.3. Кевлар найвідоміше і міцне хімволокно, яке одержують за традиційною технологією і використовують у бронежилетах

На сьогоднішній день ведуться дослідження та виробляються синтетичні волокон, наповнені наночастинками оксидів металів: ZnO , Al_2O_3 , TiO_2 , MgO . Такі волокна мають ряд специфічних властивостей [29]:

- електропровідність;
- антимікробні властивості;
- УФ-захист;
- фотокаталітична активність;
- брудовідштовхувальні властивості;
- фотоокислювальна здатність у різних біологічних та хімічних умовах.

Актуальним у виробництві нановолокон є напрямок надання їм нанопористої структури. Це забезпечує хорошу теплоізоляцію, різке зниження питомої маси (одержання легких матеріалів), стійкість до розтріскування. Наповнюючи нанопори рідинними, твердими тілами і навіть газоподібними речовинами нановолокна набувають різного функціонального призначення (медицина, біологічний захист, ароматизація текстильних

полотен).

Наступний спосіб одержання нановолокон – виробництво ультратонких волокон (діаметром до 100 нм). Вони мають хорошу сорбційну здатність та каталітичну активність.

Хімічні волокна можна виробляти ультратонкими, використовуючи спеціальну технологію електропрядіння, коли на виході з фільтри розчин або розплав полімеру волокноутворюючого полімеру проходить електричне поле. Ця технологія використовувалася для виробництва ультратонких волокон фільтрів спеціального призначення. Зараз електропрядіння широко використовується за кордоном для виробництва ультратонких та нановолокон для медицини, гігієнічного текстилю (прокладки, памперси тощо).

Всі хімічні нановолокна знаходять дуже широке застосування у різних галузях техніки та в побуті. Особливо широке використання нановолокон у виробництві композитів; маючи підвищену міцність, нановолокна надають композиту дуже високі фізико-механічні властивості. Такі композитні матеріали використовують у виробництві сучасних ракет, літаків, болідів, катерів, яхт, автомобілів, саней, лиж, ракеток тощо.

З нановолокон, наповнених струмопровідними та сенсорними наночастинками виготовляють нанотекстиль та спеціальний наноодяг, гнучкі екрани дисплеїв та інші пристрої аудіо- та відеотехніки.

Нові методи одержання волокон на основі принципів біоміметики та генної інженерії

В основу створення нових хімічних волокон лягла ідея відтворення природних процесів для одержання поліпептидних волокон та ниток комахами – шовкопрядами, павуками тощо. В США, Японії, Європі та Ізраїлі проводяться інтенсивні розробки зі створення синтетичних білкових волокон, які імітують структуру павутини, що має неперевершені фізико-механічні властивості [30].

Нитку, яку створює павук-кругопряд (рис. 2.4), за міцністю можна порівняти лише з небагатьма матеріалами, створеними людиною (рис. 2.5). Серед цих матеріалів «кевлар». Він знаходить різноманітне застосування від

виробництва бронежилетів та спорядження до продуктів авіаційної промисловості. Проте перед кевларом у павутини є значна перевага: вона еластична, тобто здатна ефективно поглинати енергію. Перш ніж порватись, нитка може розтягнутись відсотків на тридцять, а то й удвічі. Така її якість стає надзвичайно цінною, коли треба ловити кулі або затримувати альпіністів, що падають з вертикальних скель.



Рис. 2.4. Павутина



Рис. 2.5. Тканина – павучий шовк

Дослідження павутини дозволило відкрити ще два практичні напрямки. Перший – пов’язаний з «липкістю» павутиння. Згадайте, як нелегко скинути павутину. Вивчивши склад білкового клею, який покриває павутину та пов’язує жертву, вчені створили унікальний адгезив, аналогічний павучому клею. Другий напрямок пов’язаний з конденсацією крапель роси з туману на павутині. Вивчивши механізм цього явища, створили суперсорбент (суперпоглинач) вологи з повітря. Такий матеріал може витягувати вологу з атмосфери, де вода недоступна.

«Павуковий шовк» знайшов застосування в хірургії (нитки), у виготовленні невагомих та надзвичайно міцних бронежилетів, у рибальстві (легкі вудки та рибальські снасті).

Нанотекстиль та нанотехнології у заключному оздобленні.

Нанотекстиль (тканину, трикотаж, нетканку) виготовляють, використовуючи такі прийоми:

- використовуючи нановолокна різної природи та видів. При цьому

властивості нановолокон переносяться на властивості нанотекстилю;

- при одержанні звичайного текстилю на стадії його виробництва, як правило, у хіміко-технологічній фазі (оздоблювальне виробництво), використовуючи прийоми нанотехнології та нанопрепарати (нанодисперсії, наноемульсії), на текстиль наносять та закріплюють наночастинки, які надають текстилю різні властивості, що залежать від їх природи (хімічна будова, розмір, геометрія, сформована структура). Це можуть бути антимікробні, лікувальні, захисні, сенсорні та інші властивості.

Природні волокна є нанопористими контейнерами і депо для розміщення в них наночастинок різної природи (органічні, неорганічні, антимікробні, струмопровідні, фотоактивні тощо). Так забарвлення волокон формується шляхом інкорпорування наночастинок барвника в нанопори.

При заключній обробці текстильних матеріалів використовують наночастинки різних речовин у вигляді наноемульсій та нанодисперсій. Найвідомішою нанотехнологією заключної обробки є обробка Teflon, яка забезпечує водо-, масло-, брудозахисні ефекти. Для її реалізації використовують наноемульсії фторвуглецевих полімерів. Розташовуючись на зовнішній поверхні кожного окремого волокна, ці гідрофобні наночастки утворюють захисну поверхню на молекулярному рівні, своєрідну «парасольку», на кшталт того, що існує на зовнішній поверхні рослин, шерсті тварин, пір'ї птахів. Ця поверхня не дозволяє волокну вбирати вологу і притягувати частинки бруду та пилу [31].

Тефлон – це торгова назва політетрафторетилену, який випускається в США. Він був відкритий у 1938 р. хіміком Роєм Планкеттом із компанії «DuPont». У результаті досліджень зі фтормісними газами вчений виявив, що новостворений ним полімер неймовірно стійкий до будь-яких хімічних речовин, не руйнується під впливом сонячних променів, витримує великі перепади температур (рис. 2.6).

До 1956 р. тефлон використовували тільки в закритих військових областях і в космосі. Сьогодні тефлон застосовують практично скрізь, починаючи від сковорідок на кухні, взуття та одягу і до реставрації Статуї

Свободи в США.

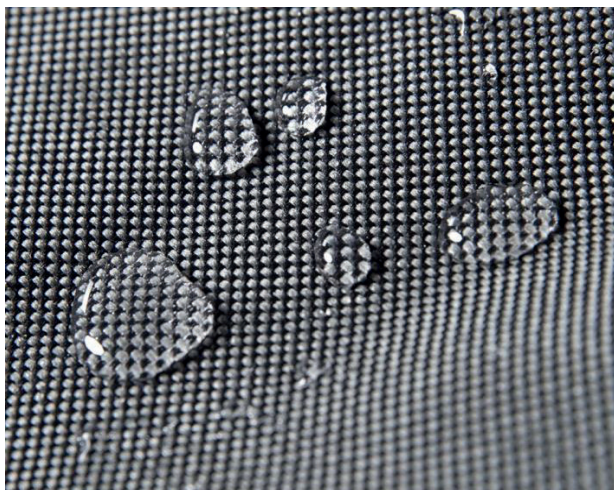


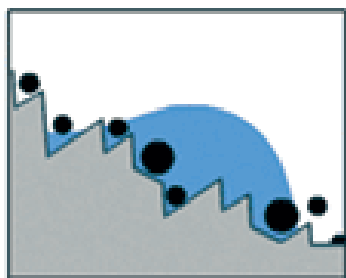
Рис. 2.6. Покриття DuPont Teflon для тканини

На противагу традиційним технологіям наночастинки, забезпечуючи аналогічні ефекти, не перекривають капілярно-пористу структуру волокнистого матеріалу, тобто такий матеріал «дихає», завдяки тому, що його мікропори залишаються відкритими для повітрообміну. Причому, забезпечені ефекти залишаються навіть після багатьох прань. Оздоблення за нанотехнологіями забезпечує бавовноподібний зовнішнього вигляд текстильних матеріалів з хімічних волокон, а вироби з них не мнуться і набувають стійкої форми [32].

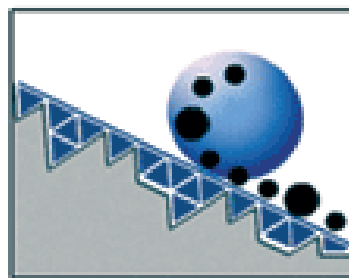
Сьогодні за допомогою нанотехнологій у різних країнах активно проводяться дослідження зі створення текстильних матеріалів, які «самоочищаються». Дослідники ставлять перед собою завдання – створити текстильний матеріал з ефектом властивим живій природі: крилам метеликів та комах, панцирам жуків, листям рослин. За допомогою наноемульсій на волокнах формується тонка тривимірна поверхнева структура, з якої вода, масло та бруд легко скочуються та змиваються. «Супергідрофобний» ефект який при цьому виникає, призводить до скочування круглої краплі, яка утворюється на поверхні матеріалу, при найменшому нахилі та не залишає жодних слідів. Разом із краплями з поверхні волокна видаляються пил і сажа води, тобто матеріалу притаманний ефект «самоочищення» (рис. 2.7) [30-32].

За допомогою наноемульсій можна отримувати текстильні матеріали з бавовни, лицьова сторона яких має гідро-, масло-, брудовідштовхуючі

властивості, а виворіт залишається гідрофільним, здатним поглинати потовиділення. Водночас такий матеріал може мати різні бактеріостатичні ефекти, наприклад, перешкоджання появі запаху поту. Основним призначення таких текстильних матеріалів є армійський та спортивний одяг, одяг для активного відпочинку.



Частинки бруду та вода в мікропорах



Вода та частки не затримуються на самоочисній поверхні

Рис. 2.7. Ефект «самоочищення» текстильного матеріалу

Впровадження мікрокапсул з корисними речовинами в нанотекстиль.

Технологія мікроінкапсуляції має три напрямки:

- впровадження мікрокапсул з корисними речовинами (екстракти трав, зволожуючі компоненти тощо), які при носінні проникають у тіло через шкіру;
- впровадження в тканини мікродатчиків, які зчитують інформацію про пульс, тиск, температуру та відстежують стан власника та навколишнього середовища;
- створення тканин «для лінивих», що не потребують прасування, захищають від ультрафіолетових променів, вірусів, бактерій та шкідливих домішок, забезпечених антиалергенним або репелентним захистом. Також матеріалів, що зберігають тепло чи холод.

Нанокapsули, які називають наноконтейнерами, відкрили двадцять років тому. Дослідження наноконтейнерів наштотували вчених на думку: а якщо використовувати ці природні нанокapsули в нанотехнологіях? Адже вони є ідеальними контейнерами для доставки ліків, молекул ДНК, РНК; їх також можна використовувати у наноелектроніці.

Нанокapsула, інакше колоїдосома (англ. nanocapsule) – наночастинка, яка

складається з полімерної, ліпідної або іншої оболонки, що оточує її внутрішню порожнину. Вона всередині порожня і не структурована. Фактично, наноконтейнери – це порожня оболонка, яка повинна щось утримувати. Зазвичай нанокапсула є сферичною порожнистою частинкою, оболонка якої утворена полімерами або фосфоліпідами (у цьому випадку вона називається ліпосомою або наносомою) (рис. 2.8), а всередині є низькомолекулярна речовина. Оболонка нанокапсул може бути виготовлена також з інших матеріалів, наприклад силікату кальцію, а також певним чином організованих молекул ДНК (рис. 2.9). Нанокапсули повинні бути хімічно стабільними, біоактивними, біосумісними з організмом, захищати капсульовану речовину від небажаного впливу, наприклад, розчинення в рідинах. Розміри нанокапсул зазвичай не виходять за межі 100 нм, а мікрокапсул – 600 мкм. Нанокапсули мають високу проникаючу здатність і можуть проходити навіть у такі «закриті» зони організму, як головний мозок [30].

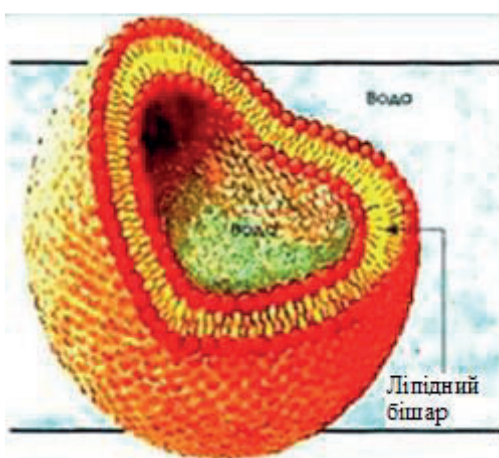


Рис. 2.8. Ліпосома

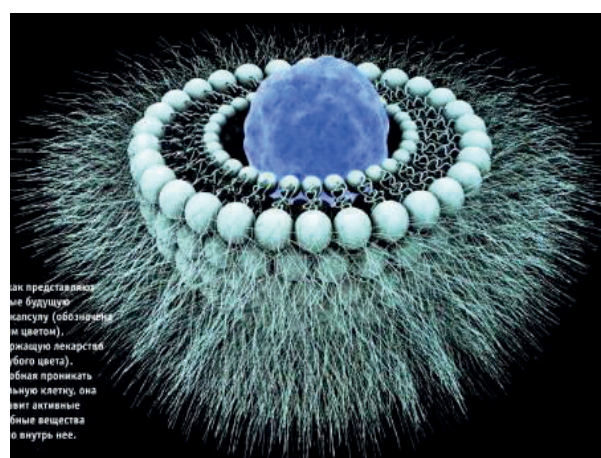


Рис. 2.9. Нанокапсула, яка містить всередині лікарство

Біохімік Леонард Ром з Каліфорнійського університету, під керівництвом якого були відкриті в 1986 р. наноконтейнери, стверджує: «...це Троянські коні в медицині. Організм вважає їх своїми, у той час як всередині вони містять вантажі, які ми захочемо доставити всередину нього... Це дуже і дуже хороший доказ того, що можна використовувати наноконтейнери в ролі шатлів для доставки ліків безпосередньо до живих клітин». Л. Ром бачить кілька можливих

перспектив застосування цих наношатлів у майбутньому [28]:

- доставка ліків, у тому числі до клітин ракових пухлин;
- доставка або заміщення ензимів та ферментів, що спричиняють порушення обміну речовин;
- доставка молекул ДНК для виправлення генетичних мутацій;
- стабілізація протеїнів для збільшення їх часу життя;
- створення біосенсорів, здатних відображати стан окремої клітини;
- детоксикація клітин та видалення з них шкідливих речовин;
- очищення навколишнього середовища від токсичних металів та небезпечних біологічних об'єктів;
- наноелектроніка: наноперемикачі, ключі на основі металів та напівпровідників, укладених у наноконтейнері.

Таким чином, на даний час нановолокна та нанотекстиль (тканина, трикотаж, нетканка) виготовляються за штучними та природними технологіями.

Нановолокна широко використовуються в техніці (наповнювачі композитних пластиків) у виробництві власне текстилю.

Нанотекстиль використовується у виробництві одягу, головних уборів, взуття, предметів домашнього користування тощо).

V. Закріплення вивченого матеріалу

1. Назвіть методи для отримання наноматеріалів та вимоги до них.
2. Наведіть приклади природних волокон.
3. Охарактеризуйте основні способи виготовлення нановолокон.
4. Назвіть основні переваги волокон наповнених наночастинками?
5. Які речовини використовують як наноаповнювачі волокна?
6. Які переваги волокон наповнених вуглецевими наночастинками?
7. Які перспективи використання нанокапсул?

VI. Домашнє завдання

Повідомлення домашнього завдання.

Тема: Практичне застосування нанокompозитів.

Мета заняття: *Розвиваюча:* розвивати пізнавальний інтерес учнів до сучасного матеріалознавства та практичного застосуванню наноматеріалів.

Виховна: формування творчого начала та технологічної культури в учнів.

Методи навчання: розповідь, бесіда, демонстрація наочних посібників.

Тип уроку: вивчення нового матеріалу.

План заняття

- I. Організаційний момент (2 хв.)
- II. Повідомлення теми та мети заняття (2 хв.)
- III. Актуалізація опорних знань (5 хв.)
- IV. Виклад нового матеріалу (20 хв.)
- V. Закріплення вивченого матеріалу (10 хв.)
- VI. Домашнє завдання (1 хв.)

Хід заняття

I. Організаційний момент

Привітання з учнями, відмічання відсутніх, перевірка готовності до заняття (наявність зошитів, ручок).

II. Повідомлення теми та мети уроку

Сьогодні на занятті ми поговоримо про практичне застосування нанокompозитних матеріалів у різних галузях народного господарства та промисловості: в конструкціях, електроніці, енергетиці, автомобілебудуванні, військовій техніці. Отже, тема сьогоднішнього уроку «Практичне застосування нанокompозитів».

III. Актуалізація опорних знань

1. Які ви знаєте види матеріалів?
2. Що таке композитний матеріал?
3. Наведіть приклади застосування композитних матеріалів.
4. Що ми розуміємо під поняттями наноматеріалами та нанотехнології?

IV. Виклад нового матеріалу

Наноккомпозити класифікують за характером зв'язності, формою структурних елементів та об'ємним розташуванням структурних елементів (рис. 2.10).



Рис. 2.10. Класифікація наноккомпозитів

Нанотехнології набувають застосування і можуть використовуватися в усіх промислових галузях, зокрема в матеріалознавстві, електроніці, сонячній промисловості, енергетиці, будівництві, авто-, авіабудуванні, екології, медицині тощо (рис. 2.11) [33].



Рис. 2.11. Області застосування наноккомпозитів

Використання нанокompозитів у машинобудуванні. Об'ємне наноструктурування має вирішальне значення при розробці літальних апаратів, що відрізняються малою вагою, з термічно стійких матеріалів з високою питомою міцністю. Реалізація нанотехнологій в авіакосмічній галузі дозволить: Підвищити міцність літальних апаратів. Наразі ставиться завдання довести можливість їх здійснювати до 70-90 тисяч польотів, що потребує підвищення характеристик міцності, які забезпечують нові наноматеріали. Досягти «живучості» та зниження ваги (яке забезпечують нанокompозити). Переходячи на нанотехнології, можна досягти зниження тертя. Вирішити завдання боротьби з обледенінням і прилипанням до зовнішньої сторони конструкції літальних апаратів різної «біологічної живності» за допомогою лусочок, що відшаровуються. Зменшити помітність літальних апаратів [33].

Конструкційні матеріали. Наноструктурні об'ємні матеріали відрізняються більшою міцністю при статичному та втомному навантаженні, а також твердістю в порівнянні з матеріалами зі звичайною величиною зерна. Тому основний напрямок їх використання в даний час – це використання високоміцних і зносостійких матеріалів. Так межа текучості збільшується в порівнянні зі звичайним станом у 2,5-3 рази, а пластичність – або зменшується дуже незначно, або для Ni_3Al зростає в 4 рази. Композити армовані вуглецевими нановолокнами та фулеренами розглядаються як перспективні матеріали для роботи в умовах ударних динамічних впливів, зокрема для броні та бронежилетів [31].

Особливе місце у створенні нанокompозитних матеріалів займає графен. Нанокompозит, що містить графен та олово, представлений групою вчених із Національної Лабораторії ім. Лоуренса Берклі Департаменту Енергетики Уряду США, здатний помітно збільшити ємність літій-іонних акумуляторів і зменшити їх вагу. Нещодавно було встановлено, що додавання графену до епоксидних композитів призводить до збільшення жорсткості та міцності матеріалу порівняно з композитами, що містять нанотрубки вуглецю. Графен краще з'єднується з епоксидним полімером, ефективніше проникаючи в структуру композиту. Нанокompозити на основі графену можна

використовувати при виробництві компонентів авіатехніки, які повинні залишатися одночасно легкими та стійкими до фізичного впливу [31].

Автомобільна промисловість. В автомобільній промисловості з нанокompозитних матеріалів можна виготовляти різноманітні елементи інтер'єру, електронного обладнання, систем безпеки, шин, модулів двигунів автомобілів. Це дозволить знизити загальну вагу конструкції, скоротити викиди вуглекислого газу, збільшивши також ефективність самого двигуна, знизити зношування деталей і частин корпусу, підвищити міцність автомобільного кузова і надійність бортової електроніки.

Впровадження нанотехнологій в автомобільну промисловість дозволить зробити автомобілі [31]:

- доступними (нанотехнологічні методи виробництва дозволяють створювати товари та послуги з низькою собівартістю);
- комфортними (досконаліша робота механічних частин, покращена шумо- та віброізоляція на основі наноструктурованих матеріалів, ергономічний салон);
- ефективними (підвищення середньої швидкості руху автомобілів, підвищення ККД використання енергії, необхідної для перевезення людей та вантажів);
- інтелектуальними (широке впровадження інформаційних систем у всі вузли та компоненти автомобілів, прийняття автомобілем все більших функцій водія на себе);
- безпечними для людини та навколишнього середовища (нові, екологічно чисті силові установки, у тому числі на паливних елементах, якісно новий рівень пасивної та активної безпеки для мешканців салону та пішоходів, широке використання у конструкції авто біодеградованих матеріалів, а зі створенням дисасемблерів – можливість 100% утилізації застарілих автомобілів).

Великий інтерес мають нанотехнології для створення перспективних автомобілів на паливних елементах. За допомогою нанотрубок передбачається вирішити проблему надійного та безпечного зберігання водню на борту

транспортного засобу, тому що поряд з металами та рідинами вуглецеві нанотрубки можуть заповнюватися газоподібними речовинами та пов'язувати велику його кількість. Наразі конструктори «гібридних» автомобілів уже стикаються з потребою в компактних, легких та високоємних акумуляторних батареях.

В силу того, що більшість автомобілів майбутнього працюватиме на електричній тязі, набагато більший інтерес буде представляти використання фотоелементів у конструкції автомобіля. У цьому відношенні нанотехнологія дозволяє створювати довговічні, ультратонкі та гнучкі перетворювачі сонячного світла. Крім того, використання нанотехнологічних засад дозволить отримувати сонячні панелі з ККД до 80-90%.

Електроніка. Розвиток технологічного процесу при виготовленні транзисторів у комп'ютерній техніці (мікропроцесори) поступово зменшується з 100 до ~ 10 нм. Таким чином, на одному дюймі може розміщуватися мільярд транзисторів. Завдяки розвитку матеріалознавства і мікроелектроніки відбувається зменшення елементарної комірки запам'ятовувальних пристроїв. На сьогодні перспективними стають матеріали на основі надіраток, діаманетиків, феромагнетиків. Серед напівпровідникових технологій відзначимо лазери, що працюють при низькій температурі, мають малий поріг генерації (до 15 мкА), які набувають широкого використання, наприклад, в квантовій криптографії. Поєднання отриманих новітніх результатів із сфери матеріалознавства та електроніки дозволяє створювати пристрої з унікальними гнучкими, волого- та удароміцними властивостями, що мають високий коефіцієнт корисної дії та тривалий термін служби. Застосування нових матеріалів дозволяє створювати високоефективне фотоприймальне обладнання для видимого та інфрачервоного випромінювання, використання якого підвищить ефективність моніторингу ліній електромереж, трубопроводів, охоронних систем [25].

Наноккомпозити на основі полімерних матриць і нанотрубок здатні змінювати свою електричну провідність за рахунок зміщення нанотрубок одна відносно одної під впливом зовнішніх факторів. Цю властивість можна

застосувати до створення мікроскопічних сенсорів, які здатні визначати інтенсивність механічного впливу за надкороткі проміжки часу.

Енергетика. Питання енергозабезпечення завжди є актуальними, вони передбачають два основних завдання – створення приладів з економним споживанням електроенергії та виготовлення зарядних пристроїв на основі нових технологій із покращеними показниками. Освітлювальна техніка модернізується, розжарювальні лампи замінюються на яскраві світлодіоди та матриці на їх основі. Значна увага приділяється альтернативним видам енергії. Розроблено сонячні елементи, що поглинають енергію в інфрачервоній частині спектра. Це відбувається завдяки технології, яка використовує спеціальний виробничий процес нанесення металевих наноантен (крихітних квадратних спіральок) на пластмасову підкладку. Така конструкція дозволяє отримувати до 80% енергії сонячного світла, тоді як існуючі сонячні батареї можуть використовувати лише 20%. Сонце випромінює багато теплової енергії, частина з якої поглинається землею та іншими об'єктами і випромінюється упродовж багатьох годин після його заходу; наноантени «вловлюють» це теплове випромінювання з вищою ефективністю, ніж звичайні сонячні батареї. Створення акумуляторів на основі нановолокон кремнію, які містять іони літію замість вуглецю, приведе до збільшення ємності зарядних пристроїв та розширення діапазону використання. Іонна провідність нанокompозитів твердого електроліту збільшується на декілька порядків, за рахунок чого на його основі можна виготовляти мініатюрні гнучкі батареї [25].

Наприклад, дослідникам, які займаються нанокompозитами, вдалося винайти метод створення анодів з наносфер кремнієвих і вуглецевих наночастинок для літієвих елементів живлення. Аноди, виготовлені з кремнієво-вуглецевого нанокompозиту, набагато щільніше прилягають до літієвого електроліту, зменшуючи час зарядки або розрядки пристрою. З нанокompозитів, що складаються з целюлозної основи та нанотрубок, можна виробляти струмопровідний папір. Якщо такий папір помістити в електроліт, з'явиться щось на зразок гнучкої батареї. Також в електронній промисловості нанокompозити мають намір застосовувати для отримання термоелектричних

матеріалів, що демонструють поєднання високої електропровідності з низькою теплопровідністю.

Медицина. Наноструктуризація призводить до зменшення розміру пігулки і підвищення вмісту лікувальної речовини у крові. Це дуже важливо, тому що, наночастинки в майбутньому будуть одним із засобів доставки ліків в уражену ділянку (нанороботи). Наночастинки срібла завдяки своїм бактерицидним властивостям використовуються при лікуванні різноманітних ран із метою знезараження. Типовий розмір наночастинок срібла 5-50 нм, їх додають до мийних засобів, зубних паст, вологих серветок, наносять на поверхні кондиціонерів, покривають столові прилади, дверні ручки (в місцях, де велика небезпека поширення інфекцій) і навіть клавіатури і «мишки» для комп'ютерів. Наночастинки золота разом із антитілами можуть знизити шкідливий ефект від опромінення при лікуванні пухлин [29].

Сучасне обладнання дозволяє «із середини побачити життя» живих клітин, виконувати маніпуляції з молекулами та дає можливість вирощувати або клонувати частини органів. Поєднання біологічних та медичних знань разом із здобутками електроніки дозволяють створювати мікроелектронні пристрої (чіпи) для контролю здоров'я людини або тварини. Вчені також сподіваються, що нанокompозити допоможуть прискорити відновлення структури пошкоджених кісток, якщо вздовж них встановити напрямні зростання та регенерацію тканин кісток шарніри, зроблені з полімерного нанокompозиту, що містить нанотрубки. У 2012 році інша група дослідників запропонувала використовувати нанокompозити в стоматології для відновлення зубної емалі. Є впевненість і в тому, що якщо з'єднати магнітні частинки з флуоресціюючими частинками, з'явиться можливість отримати матеріал, якому притаманні обидва ефекти. За рахунок магнітних якостей такого нанокompозиту можна швидше та простіше виявити небезпечні утворення в організмі, а під час оперативного втручання підсвічування полегшить роботу хірургам [25].

Нанокompозити, що містять частинки оксиду цирконію і мають відмінні каталітичні властивості, на думку вчених з Ірану, що синтезували їх, стануть у

нагоді не тільки у фармакології та медицині, але і в процесі очищення об'єктів навколишнього середовища від органічних забруднювачів, а також для їх переробки в безпечні матеріали.

V. Закріплення вивченого матеріалу

1. Як класифікують нанокompозити?
2. Як поділяють нанокompозити за характером зв'язності?
3. Як поділяють нанокompозити за формою структурних елементів?
4. Як розрізняють нанокompозити за об'ємним розташуванням структурних елементів?
5. Наведіть приклади застосування нанокompозитів у машинобудуванні.
6. Як застосують нанокompозити в медицині?
7. Наведіть приклади застосування нанокompозитів в електроніці.
8. Як застосовують нанокompозити в енергетиці?

VI. Домашнє завдання

Підготувати презентаційні матеріали на такі теми:

1. Використання нанокompозитів у машинобудуванні.
2. Нанокompозитні конструкційні матеріали.
3. Нанокompозити в сучасному машинобудуванні.
4. Використання нанокompозитів у медицині.
5. Нанокompозити в електроніці.
6. Нанокompозити в енергетиці.
7. Використання нанокompозитів у будівельній промисловості.
8. Нанокompозити в сільському господарстві.

2.3.2. Тестові завдання для закріплення та контролю знань

1. Чим є наноматеріали у вихідному стані?

- а) порошком із наночастинок;
- б) тонкими плівки з кристалічною чи аморфною структурою;
- в) матеріали з поруватою або щільною структурою, які складаються із дрібнодисперсних зерен;
- г) всі варіанти правильні;
- д) правильної відповіді немає.

2. Методи отримання нанопорошків поділяють на

- а) фізичні та хімічні;
- б) технічні, фізичні та хімічні;
- в) технічні та фізичні;
- г) правильної відповіді немає.

3. До яких технологій одержання наноматеріалів належить осадження з використанням плазми тліючого розряду

- а) до технологій на основі фізичних процесів;
- б) до технологій на основі хімічних процесів;
- в) до технологій інтенсивної пластичної деформації.

4. На які види поділяють нанотехнології?

- а) «знизу-вверх» і «від дрібного до великого»;
- б) «знизу-вверх» і «зверху-вниз»;
- в) «від атомів до частинок» і «від низів до верхів».

5. Наноматеріали – це

- а) матеріали, незвичайні функціональні властивості яких визначаються упорядкованою структурою їх нанофрагментів розміром від 1 до 100 нм;
- б) матеріали розмірами кілька нанометрів;
- в) матеріали розмірами до 1 мкм.

6. На які основні категорії поділяють наноматеріали:

- а) нановироби, композити з компонентами з наноматеріалів;
- б) нановироби, мікровироби;
- в) нановироби, мікровироби; масивні матеріали; композити з компонентами з наноматеріалів.

7. До нановиробів належать

- а) матеріали у вигляді твердих тіл, розміри яких в одному, двох або трьох просторових координатах не перевищують 100 нм;
- б) тверді тіла розмірами до 1 мкм;
- в) матеріали у вигляді твердих тіл, розміри яких в одному, двох або трьох просторових координатах не перевищують 10 нм.

8. На які основні класи поділяють наноб'єкти?

- а) наночастинки та квантові точки;
- б) наночастинки, наноплівки, віскери, квантові точки;
- в) наночастинки, наноплівки та квантові точки.

9. Графен – це

- а) моношар вуглецю;
- б) матеріал, що складається з кристалічних ґраток, які утворюють шестикутники атомів вуглецю;
- в) матеріал із замкнутими молекулами вуглецю, в яких всі атоми розташовані у вершинах правильних шестикутників або п'ятикутників.

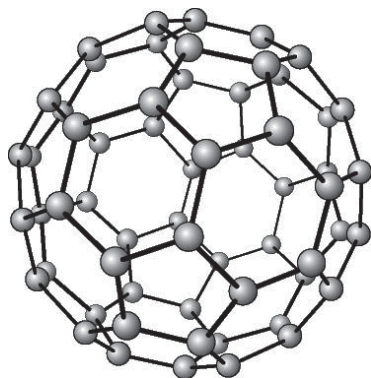
10. Згорнутий в трубку моношар графіту – це?

- а) графен;
- б) вуглецева нанотрубка;
- в) фулерен.

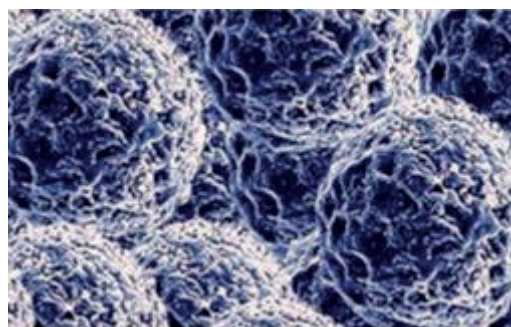
11. Матеріал із замкнутими молекулами вуглецю, в яких всі атоми розташовані у вершинах правильних шестикутників або п'ятикутників, що покривають поверхню сфери або сфероїду – це?

- а) графен;
- б) фулерен;
- в) вуглецева нанотрубка.

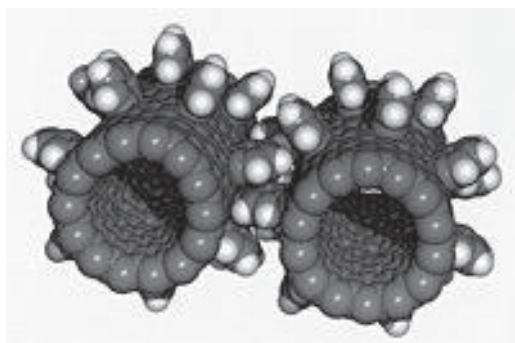
12. На якому рисунку представлена молекула фулерену?



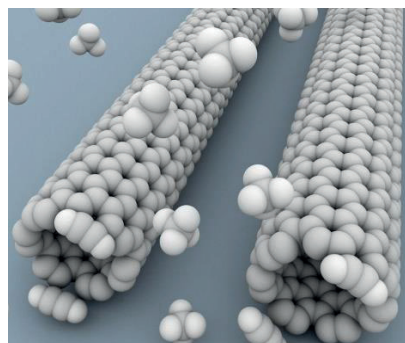
а)



б)



в)



г)

13. Що означає слово «нано»?

- а) одну дев'яту частину;
- б) одну соту частину;
- в) одну мільярдну частину.

14. Наночастинки мають розмір:

- а) від одного до ста нанометрів;
- б) від одного до двох нанометрів;
- в) від одного до тисячі нанометрів

15. Що таке спосіб отримання наночастинок «зверху вниз»?

- а) вихідний матеріал кидають з великої висоти, і він розпадається на наночастинок;
- б) вихідний матеріал подрібнюють доти, доки його частинки не стануть нанорозмірними;
- в) на вихідний матеріал зверху кидають щось важке, і він розпадається на наночастинок.

16. Нанощприц виготовлений на основі:

- а) нанотрубки;
- б) фулерена;
- в) молекули штучного білка.

17. Як називається пристрій для збирання наномеханізмів?

- а) мікроманіпулятор;
- б) асемблер;
- в) ікосаедр.

18. Які вчені займаються вивченням та створенням наноматеріалів?

- а) філософи та філологи;
- б) соціологи та економісти;
- в) фізики, хіміки, біологи та фахівці з комп'ютерних наук.

19. Які країни є лідерами у галузі нанотехнологій?

- а) Китай, Індія, Північна Корея;
- б) Бельгія, Нідерланди, Люксембург;
- в) США, Японія, Німеччина;
- г) Росія, Китай, Японія.

20. Які біологічні об'єкти можна порівняти з нанорозмірами?

- а) всі бактерії та молекули;
- б) гриби та цвіль;

- в) віруси та деякі бактерії;
- г) дрібні комахи та деякі плазуни.

21. Доповніть визначення: нанокompозити – це структуровані матеріали розмір фаз яких ...

22. Завершіть висловлювання: до нанокompозитів відносять дисперсно-зміцнені сплави, зміцнення у них досягається шляхом штучного ... матеріалу.

23. Завершіть твердження: для віднесення композиту до наноматеріалів необхідно, щоб хоча би одна ... у певному напрямку мала ...

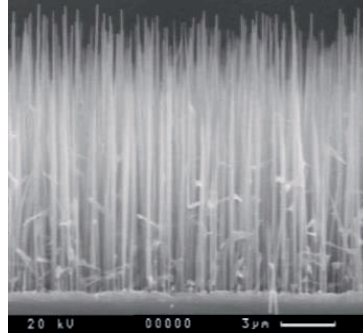
24. За морфологічними ознаками нанокompозити поділяють на такі типи

- а) наношаруваті, нановолокнисті, з сфероїдними включеннями;
- б) нанонопластинчасті, нанотрубчасті, наносферичні;
- в) наноциліндричні, наносферичні, нановолокнисті.

25. Доповніть таблицю класифікації нанокompозитів

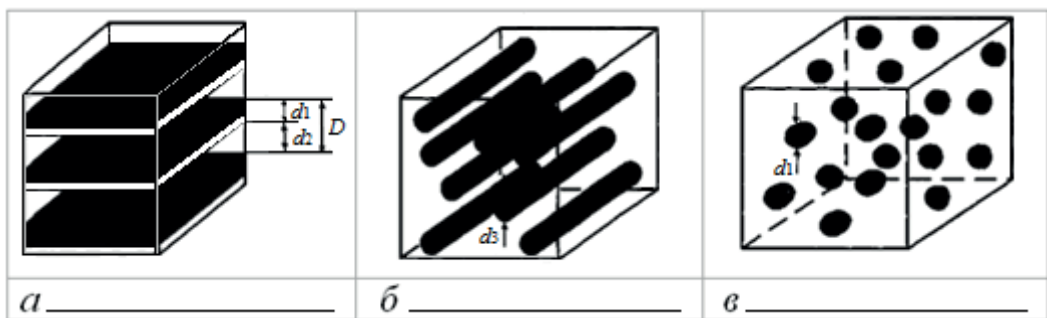


26. Який тип нанокompозитів представлено на рисунку?



а) щітки; б) віскери; с) волокна.

27. Підпишіть тип композиційного матеріалу

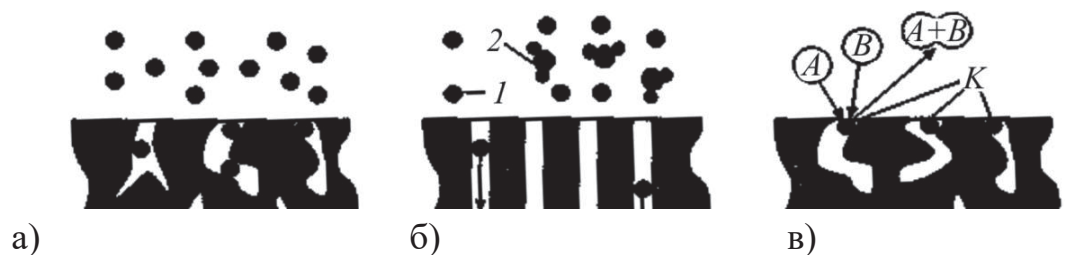


28. Доповніть таблицю

Основні типи нанопористих матеріалів

Нанопористі матеріали	Впорядковані	
З наскрізними порожнинами		

29. Вкажіть основні види взаємодії нанопористих матеріалів з навколишнім середовищем



2.3.3. Розробка кросворду «Нанотехнології та наноматеріали»

По горизонталі

1. стеження, виправлення, конструювання та контроль біологічних систем людини на молекулярному рівні з використанням нанопристроїв та наноструктур.
2. Моноатомний шар атомів вуглецю із гексагональною структурою.
3. Спонтанне утворення складних структур із простих будівельних блоків.
4. Трубочасті наноструктури з вуглецю та інших органічних та неорганічних сполук.
5. Штучний матеріал, який складається з двох і більше компонентів, що істотно різняться за фізичними та хімічними властивостями.
6. Використання нанотехнології у косметичі, наприклад, ліпосом для доставки активних речовин.
7. Високоміцна молекула C_{60} .
8. Підхід до створення технологічних пристроїв, при якому ідея та основні елементи запозичуються з живої природи.
9. кібернетичний пристрій нанометричних масштабів, виготовлений із атомарною точністю. Має функції руху, обробки та передачі інформації, а також виконання програм.
10. Технологія маніпулювання речовиною на атомному та молекулярному рівні.

По вертикалі

1. Мільйонна частка метра (10^{-9} м).
2. Наука про застосування нанотехнології на вирішення завдань біології та медицини.
3. Наночастинка, яка складається з полімерної, ліпідної або іншої оболонки, що оточує її внутрішню порожнину.
4. Першим заговорив про нано...
5. Частинка речовини довільної форми з розмірами від 1 до 100 нм.
6. Формування наноструктури матеріалів.

		¹ Н	А	Н	О	М	Е	Д	И	Ц	И	³ Н	А			⁶ Н
												А				А
								² Г	Р	А	Ф	Е	Н			Н
												О				О
				² Н								К				С
			³ С	А	М	О	З	Б	І	Р	К	А				Т
				Н								П		⁵ Н		Р
	¹ Н ⁴	А	Н	О	Т	Р	У	Б	К	А		С		А		У
	А			Б								У		Н		К
	Н			І								Л		О		Т
⁵ К	О	М	П	О	З	И	Т					А		Ч		У
	М			Т										А		Р
	Е			Е										С		У
	Т			Х										Т		В
	Р			⁶ Н	А	Н	О	К	О	С	М	Е	Т	И	К	А
				О										Н		Н
		⁷ Ф	У	Л	Е	Р	Е	Н						К		Н
				О										А		Я
				Г					⁴ Ф							
			⁸ Б	І	О	М	І	М	Е	Т	И	К	А			
				Я					Й							
								⁹ Н	А	Н	О	Р	О	Б	О	Т
									М							
									А							
		¹⁰ Н	А	Н	О	Т	Е	Х	Н	О	Л	О	Г	І	Я	

ВИСНОВОК

З'ясовано, що на сьогоднішній день нанотехнології перебувають на стадії свого розвитку та основних відкриттів. Успіх у розвитку цих напрямків визначається вирішенням двох основних проблем: розробка надійних способів створення наноматеріалів і нанооб'єктів з необхідними властивостями, та розробка нових і розвиток існуючих методів діагностики з атомною роздільною здатністю. Вирішення цих масштабних проектів вимагає проведення широких фундаментальних досліджень, високотехнологічного сучасного обладнання та висококваліфікованих працівників.

Встановлено, що перспективи розвитку сучасного матеріалознавства вимагають невідкладного впровадження в освітні програми навчальних закладів відповідних тематичних розділів, учнівських проєктів, факультативних занять, науково-технічних гуртків з вивчення сучасних нанотехнологій та наноматеріалів.

Для ознайомлення учнів із сучасними технологіями отримання нанорозмірних функціональних та конструкційних матеріалів розроблено календарно-тематичне планування науково-технічного гуртка «Сучасні нанотехнології та наноматеріали» та його методичне забезпечення у вигляді розширених конспектів занять: «Сучасні методи отримання наноматеріалів», «Практичне застосування нанокомпозитів», а також тестові завдання і кросворд «Нанотехнології та наноматеріали», що сприятиме розвитку пізнавальних інтересів учнів до сучасних методів отримання низькорозмірних матеріалів, особливостей технологічних процесів, практичного застосування одержаних продуктів, формуванню творчого начала та технологічної культури.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технологія. ULR: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Технологія>
2. Наноматеріали і нанотехнології: навчальний посібник / М.О. Азарєнков та ін. Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2014. 316 с.
3. Наноматеріали, нанотехнології, нанопристрої / М.О. Боровий та ін. Київ: «Інтерсервіс», 2015. 350 с.
4. Наноматеріали. Класифікація, особливості властивостей, застосування та технології отримання / Б.М. Балоян, А.Г. Колмаков, М.І. Алімов, А.М. Кротов. Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2007. 125 с.
5. Кирчанов В.С. Наноматеріали і нанотехнології: навч. посібн. Київ: НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», 2016. 193 с.
6. Графен: властивості, одержання, перспективи застосування в нанотехнології. URL: <https://sites.google.com/site/vseprographen/>
7. Шашок Ж.С., Прокопчук Н.Р. Застосування вуглецевих наноматеріалів у полімерних композиціях. Київ: Академперіодика, 2014. 232 с.
8. Ткач О.П. Наноматеріали і нанотехнології в приладобудуванні. Навчальний посібник. Суми: СДУ, 2014. 127 с.
9. Міщенко С.В., Ткачов А.Г. Вуглецеві наноматеріали. Виробництво, властивості, застосування. Київ: Академія, 2008. 320 с.;
10. Вуглецеві нанотрубки, їх виробництво, властивості та застосування. URL: <http://poradu.pp.ua/nauka/35481-vuglecev-nanotrubki-virobnictvo-zastosuvannya-vlastivost.html>
11. Zhang M., Atkinson K.R., Baughman R.H. Multifunctional Carbon Nanotube Yarns by Downsizing an Ancient Technology. *Science*. 2004. V. 306. P. 1358-1361.
12. Sokolov V.I., Stankevich I.V. Fullerenes are new allotropic forms of carbon: structure, electronic structure and chemical properties. *Chemistry & Chemical Technology*. 1993. T. 62, № 5. С. 455-470.
13. Фулерени: перспективи практичного застосування в медицині, біології та екології / Д.В. Щур та ін. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія*.

Екологія. 2012. Вип. 20, т. 1. С. 139-145.

14. Фулерени / Л.Н. Сидоров та ін. Київ: Академперіадика, 2005. 688 с.
15. Наноматеріали і нанотехнології: навчальний посібник / М.О. Азаренков та ін. Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2014. 316 с.
16. Наноматеріали, нанотехнології, нанопристрої / М.О. Боровий та ін. Київ: «Інтерсервіс», 2015. 350 с.
17. Бурєнніков Ю.А., Сивак І.О., Сухоруков С.І. Нові матеріали та композити: навч. посіб. Вінниц. нац. техн. ун-т. Вінниця: ВНТУ, 2013. 158 с.
18. Куцова В.З., Котова Т.В., Аюпова Т.А. Наноматеріали та нанотехнології. Навч. посібник. У двох частинах. Дніпропетровськ: НМетАУ, 2013. 103 с.
19. Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології: зб. наук. пр. / НАН України, Ін-т металофізики імені Г.В. Курдюмова. Т. 11, вип. 1. Київ, 2013. 216 с.
20. Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології: зб. наук. пр. / НАН України, Ін-т металофізики імені Г. В. Курдюмова. Т. 10, вип. 3. Київ, 2012. 224 с.
21. Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології: зб. наук. пр. / НАН України, Ін-т металофізики імені Г. В. Курдюмова. Т. 10. вип. 4. Київ, 2012. 250 с.
22. Влайков Г.Г., Трачевський В.В. Направлений синтез металовмісних кластерів: [монографія]. Київ: Академперіодика, 2012. 284 с.
23. Нові селективні наноконпозиційні матеріали на основі гідратованого діоксиду цирконію та основного оксонітрату вісмуту / Л. М. Рождественська, [та ін.]. *Доповіді Національної академії наук України. Серія: Математика. Природознавство. Технічні науки*. 2013. № 8. С. 135-140.
24. Надтверді, композиційні матеріали та покриття: отримання, властивості, застосування: Тези доповідей Одинадцятої конференції молодих вчених та спеціалістів, 28-29 травня 2020 р., м. Київ. Київ: ІНМ НАНУ, 2020. 39 с.
25. Ткач О.П. Наноматеріали і нанотехнології в приладобудуванні.

Навчальний посібник. Суми: СДУ, 2014. 127 с.

26. Мішуров Д.О. Авраменко В.Л., Бровко О.О. Нанокompозити на основі полімерів і шаруватих силікатів. *Полімерний журнал*. 2013. Т. 35, № 3. С. 217-230.

27. Волкова Н.П. Педагогіка. 2-ге видання, перероблене доповнене. Київ: Академвидавництво, 2007. 235 с.

28. Алієва Н.З., Русляков Д.В. Наноматеріали та нанотехнології в легкій промисловості: навч. посібн. Ч.1. Дніпропетровськ: НМетАУ, 2019. 152 с.

29. Куцова В.З., Котова Т.В., Аюпова Т.А. Наноматеріали та нанотехнології. Навч. посібник. У двох частинах. Дніпропетровськ: НМетАУ, 2013. 103 с.

30. Богданов Г.Г., Захожай З.В. Еволюція матеріалів для одягу. Київ: КНУТД, 2009. 240 с.

31. Декоративні тканини в інтер'єрі. Текстильний дизайн – сучасні тенденції. URL: <https://giropark.ru/uk/cold-water/dekorativnyi-tekstil-v-interere-tekstilnyi-dizain-sovremennye.html>

32. Інформація про нові властивості сучасних тканин. URL: <https://helpmasterservice.com.ua/informaciya-o-novykh-svojstvax-sovremennykh-tkanej-attention-required-cloudflare-svojstva-sovremennykh-tkanej-novye-svojstva-sovremennykh-tkanej/>

33. Лещишена В.П. Місце нанотехнологій в розвитку нового технологічного порядку. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Економічні науки*. 2013. № 4, Т. 3. С. 164-168.