

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Класичний фаховий коледж

(повна назва інституту/факультету)

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

20__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(бакалавр / магістр)

зі спеціальності 171Електроніка

(код та назва)

освітньо-професійної програми Електронні інформаційні системи

(освітньо-професійної / освітньо-наукової)

(назва програми)

на тему: Аналіз структурних неоднорідностей у наноструктурованих напівпровідникових сполуках

Здобувача групи ЕІз-91к

(шифр групи)

Скринника Руслана Миколайовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

(підпис)

Руслан СКРИННИК

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник викладач, к.ф.-м.н., Максим ІВАЩЕНКО

(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Консультант¹⁾

(посада, науковий ступінь, вчене звання Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

АНОТАЦІЯ

Об'єктом дослідження дипломної роботи є наноструктуровані тонкі плівки.

Мета роботи полягає у систематизації знань про фізичні та хімічні особливості методів отримання наноструктурованих поверхонь, структурні властивості, характеристики та методи одержання напівпровідникових плівок, застосування плівок в фотоелементах.

При виконанні роботи використовувалися методи ультразвукового синтезу, гідротермічного синтезу та іонного синтезу наночастинок та прилади для обробки плівки (РЕМ, СЕМ, РФС).

Наноструктурні матеріали (наноматеріали) - матеріали, у яких дискретні елементи структури - зерна, блоки, включення, кластери і т.п. - Мають розміри менше 100 нм хоча б в одному вимірі (у фізичному матеріалознавстві кластер - частка розміром ~ 1 нм; $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м} = 10^{-3} \text{ мкм}$, тобто рівна одній тисячній мікрометра). Така структура матеріалів визначає їх особливі властивості - механічні, фізичні (електричні, магнітні, теплові, оптичні та ін.), Хімічні, різко відрізняються від властивостей матеріалів зі звичайною макроскопічною структурою (розміри зерна звичайних матеріалів - це мікрометри).

Особливі властивості матеріалів, що дозволяють віднести їх до наноматеріалів, починають проявлятися, коли розміри елементів структури (окремих частинок, зерен) не перевищують 100 нм, ця величина є критичною і прийнята як класифікаційна для визначення наноматеріалів. Її зменшення на порядки - до 10 нм, 1 нм і до 0,1 нм (порівнянno з розміром окремого атома) призводить до радикальної зміни властивостей, тобто ще різкіше підсилює відмінності нано- і звичайних матеріалів, що мають однаковий хімічний склад.

Таким чином, наноматеріали - це матеріали, що містять структурні елементи з нанометровими розмірами, наявність яких призводить до істотного поліпшення або появи якісно нових механічних, хімічних, фізичних, біологічних та інших властивостей.

Особливість нанотехнологій полягає в тому, що вони виконуються в нанометровому діапазоні розмірів, тобто при впливі на окремі атоми, молекули, молекулярні системи, а не звичні в традиційних технологіях мікронні або макроскопічні обсяги матеріалу, що містять принаймні мільярди атомів і молекул. Для нанотехнологій характерно "управління" окремими атомами і молекулами, що дозволяє створювати з них матеріали з принципово новими фізико-хімічними, біологічними та іншими властивостями.

У результаті проведених досліджень встановлено, що наноструктуровані плівки SnS можна отримати за допомогою великої кількості способів і що дана плівка показує багатообіцяючі характеристики. Також використання даних наноструктурованих плівок може мати перспективи в сонячній енергетиці.

Робота викладена на 36 сторінках, у тому числі включає 16 рисунків, 2 таблиці, список цитованої літератури із 30 джерел.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: СЕМ, УЛЬТРАЗВУКОВИЙ СИНТЕЗ, НАНОСТРУКТУРОВАНИЙ, МОНОКРИСТАЛ, ІОННИЙ СИНТЕЗ.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. НАНОСТРУКТУРНІ МАТЕРІАЛИ: ОСНОВНІ КОНЦЕПЦІЇ І МІКРОСТРУКТУРА	5
1.1. Категорії наноструктурних матеріалів	5
1.2. Мікроструктури.....	9
1.3. Рівновага наноструктурованих матеріалів.....	16
РОЗДІЛ 2. ФІЗИЧНІ МЕТОДИ ОТРИМАННЯ НАНОСТРУКТУРОВАНИХ ПОВЕРХОНЬ	20
2.1. Ультразвуковий синтез наночастинок з легованною SnS та їх фізичні властивості	20
2.2. Вплив ультразвукових хвиль на фізичні властивості наноструктурованих тонких плівок SnS.....	33
РОЗДІЛ 3. ХІМІЧНІ МЕТОДИ ОТРИМАННЯ НАНОСТРУКТУРОВАНИХ МАТЕРІАЛІВ	47
3.1. Гідротермічний синтез, характеристика та оптичні властивості SnS.....	47
3.2. Іонний синтез SnS наноструктур з рідким середовищем.....	52
ВИСНОВКИ	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	63
ДОДАТКИ	66

ВСТУП

Наноструктурні матеріали (наноматеріали) - матеріали, у яких дискретні елементи структури - зерна, блоки, включення, кластери і т.п. - Мають розміри менше 100 нм хоча б в одному вимірі (у фізичному матеріалознавстві кластер - частка розміром ~ 1 нм; $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м} = 10^{-3} \text{ мкм}$, тобто рівна одній тисячній мікрометра). Така структура матеріалів визначає їх особливі властивості - механічні, фізичні (електричні, магнітні, теплові, оптичні та ін.), Хімічні, різко відрізняються від властивостей матеріалів зі звичайною макроскопічною структурою (розміри зерна звичайних матеріалів - це мікрометри).

Особливі властивості матеріалів, що дозволяють віднести їх до наноматеріалів, починають проявлятися, коли розміри елементів структури (окремих частинок, зерен) не перевищують 100 нм, ця величина є критичною і прийнята як класифікаційна для визначення наноматеріалів. Її зменшення на порядки - до 10 нм, 1 нм і до 0,1 нм (порівнянно з розміром окремого атома) призводить до радикальної зміни властивостей, тобто ще різкіше підсилює відмінності нано- і звичайних матеріалів, що мають однаковий хімічний склад.

Таким чином, наноматеріали - це матеріали, що містять структурні елементи з нанометровими розмірами, наявність яких призводить до істотного поліпшення або появи якісно нових механічних, хімічних, фізичних, біологічних та інших властивостей.

Особливість нанотехнологій полягає в тому, що вони виконуються в нанометровому діапазоні розмірів, тобто при впливі на окремі атоми, молекули, молекулярні системи, а не звичні в традиційних технологіях мікронні або макроскопічні обсяги матеріалу, що містять принаймні мільярди атомів і молекул. Для нанотехнологій характерно "управління" окремими атомами і молекулами, що дозволяє створювати з них матеріали з принципово новими фізико-хімічними, біологічними та іншими властивостями.

РОЗДІЛ 1

НАНОСТРУКТУРНІ МАТЕРІАЛИ: ОСНОВНІ КОНЦЕПЦІЇ І МІКРОСТРУКТУРА

1.1. Категорії наноструктурованих матеріалів

Одним з найважливіших результатів фізики та хімії твердих тіл є розуміння того, що більшість властивостей твердих речовин залежать від мікроструктури, тобто хімічного складу, розташування атомів (атомної структури) та розміру твердого тіла в один, два або три виміри. Іншими словами, якщо змінити один або кілька з цих параметрів, властивості твердого тіла змінюються. Найбільш відомим прикладом співвідношення між атомною структурою та властивостями насипного матеріалу є, мабуть, вражаюча різниця твердості вуглецю при переході від алмазу до графіту. Зіставні варіації відзначаються, якщо атомна структура твердого тіла відхиляється далеко від рівноваги або її розмір зменшується до декількох міжсільових відстаней в одному, двох або трьох вимірах. Прикладом останнього випадку є зміна кольору кристалів CdS, якщо їх розмір зменшується до декількох нанометрів.

Через синтез матеріалів та пристроїв з новими властивостями за допомогою керованих маніпуляцій з їх мікроструктурою на атомному рівні розвивається міждисциплінарне поле, засноване на фізиці твердого тіла, хімії, біології та матеріалознавстві. Залучені матеріали та пристрої можна розділити на три наступні категорії.

Перша категорія включає матеріали та пристрої зі зменшеними розмірами та розмірності у вигляді (ізолюваних, підкладених або вбудованих) нанорозмірних частинок, тонких дротів або тонких плівок. Хімічне осадження з газової фази (ХОГЗ), вакуумне напилення (ВН), конденсація інертного газу, різноманітні аерозольні методи, випадання парів, пересичені ліквіди або тверді речовини (як кристалічні, так і аморфні), є технологіями, найбільш часто використовуваними для генерації цього типу мікроструктури. Відомі приклади технологічних застосувань

матеріалів, властивостями яких залежать від цього типу мікроструктури, є каталізатори та напівпровідникові прилади, що використовують одно- та багат шарові квантові структури свердловин.

Друга категорія містить матеріали та пристрої, в яких мікроструктура нанометрового розміру обмежена тонкою (нанометровою) поверхнею області насипного матеріалу. ВН, ХОГЗ, іонна імплантація та обробка лазерним променем є найбільш широко застосовуваними процедурами для зміни хімічної складової та атомної структури твердих поверхонь у нанометровому масштабі. Поверхні з підвищеною корозійною стійкістю, твердістю, зносостійкістю або захисним покриттям (наприклад, алмаз) - це приклади, взяті з сучасної технології, в якій поліпшуються властивості тонкого поверхневого шару шляхом створення мікроструктури нанометрового розміру в тонкій поверхні.

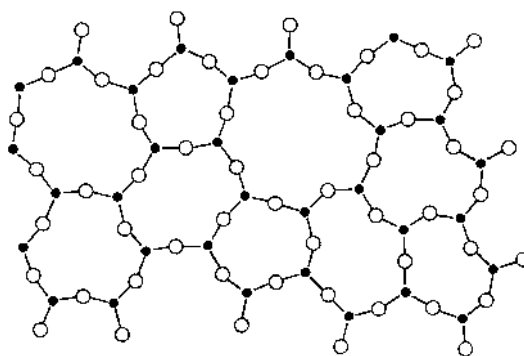


Рис. 1.1 Двовимірна модель аморфної речовини Al_2O_3 [2].

Важливою підгрупою цієї категорії є матеріали, поверхневі ділянки яких структуровані по боках у нанометровому масштабі за допомогою "написання" нанометрової структури на вільній поверхні. Наприклад, візерунки у вигляді масиву наномірних острівців (наприклад, квантових точок), з'єднаних тонким (у нанометровому масштабі) дротом. Зразки такого типу можуть бути синтезовані шляхом літографії за допомогою локальних зондів (наприклад, кінця тунельного мікроскопа, методів ближнього поля, електронних або іонних пучків, що фокусуються) та процесів поверхневого осадження. Очікується, що процеси та пристрої такого типу відіграватимуть ключову роль у виробництві електронних

пристроїв наступних поколінь, таких як високоінтегральні схеми, транзистори з одним електроном, квантові комп'ютери тощо.

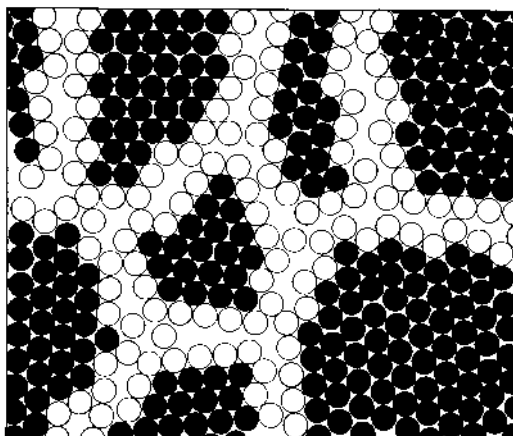


Рис. 1.2. Двомірна модель наноструктурованого матеріалу. [5].

На рис. 1.2 атоми в центрах кристалів показані чорним кольором, а ті, що знаходяться на поверхні, представлені як білі кола. Зміни в структурі атома призводять до появи високої щільності інкоферентних поверхонь поділу (рис. 1.2) або інших дефектів решітки, таких як дислокації, вакансії тощо. Сердечники дефектів решітки являють собою обмежений стан твердої речовини, що структурно відрізняється від (не обмежених) кристалів та окулярів. Як наслідок, тверде тіло, що містить високу щільність дефектних ядер, структурно відрізняється від твердої речовини без дефекту з таким самим (середнім) хімічним складом. Границі на рис. 1.2 являють собою приклад цього ефекту: невідповідність між сусідніми кристалітами змінює атомну структуру (наприклад, середню щільність атомів, координацію найближчих сусідів тощо) у граничних областях щодо ідеального кристала. При високих густинах дефектів об'ємна частка дефектних ядер стає компактною з об'ємною часткою кристалічних областей. Насправді це стосується випадку, коли кристалічний діаметр стає порівняним з товщиною поверхонь поділу, тобто для розмірів кристалів порядку один або кілька нанометрів, як це відбувається в НСМ.

Наступні випадки такого типу незмішуваних компонентів в НСМ можуть бути розрізнені: розчинними атомами (рис. 1.4) з невеликою розчинністю в грати

кристалітів часто виділяються до граничних стержнів (наприклад, вільна енергія системи в декількох сплавах зменшується, якщо великі розчинні атоми відокремлюються до граничного ядра). Другий випадок наноструктурованих сплавів є результатом, якщо кристаліти НСМ мають різні хімічні склади. Навіть якщо константи не змішуються в кристалічному та розплавленому стані (наприклад, Fe і Ag), виявлено утворення твердих розчинів в граничних областях НСМ (рис. 1.5)[4].

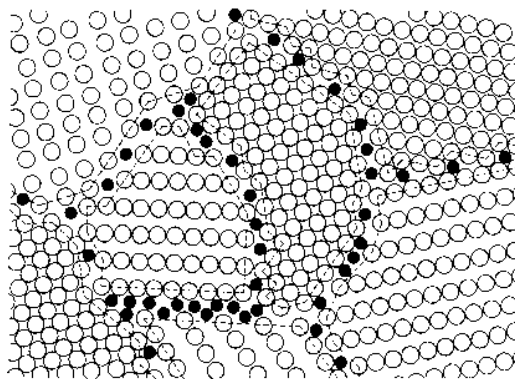


Рис. 1.4. Схематична модель структури наноструктурованих сплавів Cu-Vi та W-Ga

Відкриті кола представляють атоми Cu або W, відповідно, утворюючи кристали розміру нанометра. Чорні кола – це атоми Vi або Ga, які поважаються до кордонів на ділянках підвищеного локального вільного об'єму. Показана атомна структура була виведена з синхротронного випромінювання та рентгеноструктурних вимірювань [3].

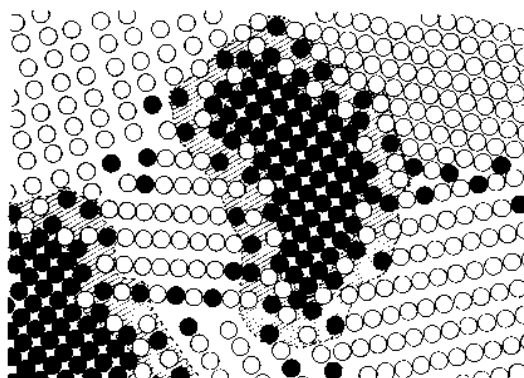


Рис 1.5. Схематична модель нанокристалічних сплавів Ag-Fe за даними Мессбауерської спектроскопії.

Сплави складаються з суміші кристалів Ag і Fe нанометра (представлені відкритими та повними кругами відповідно). У (напружених) міжфазних областях між кристалами Ag і Fe утворюються тверді розчини атомів Fe у кристалах Ag і атоми Ag у кристалах Fe, хоча обидві компоненти не сумісні в рідині та твердому стані. Подібні ефекти можуть мати місце і в межах зерен між сусідніми кристалами Fe і Ag [4].

Нарешті, можна зазначити, що НСМ жодним чином не обмежується полікристалічними матеріалами, що складаються з типу, представленого на рис. 1.2. У напівкристалічних полімерів утворюються мікроструктури нанометрового розміру, які складаються з кристалічних і некризових областей, що відрізняються за молекулярною структурою або хімічним складом. НСМ, синтезований за результатами супрамолекулярної хімії, якщо різні типи молекулярних будівельних блоків самостійно зібрані в велику різноманітність одно-, дво- та тривимірних масивів.

1.2. Мікроструктури

Матеріали з мікроструктурами нанометрового розміру можуть класифікуватися відповідно до їх вільної енергії в рівноважні НСМ та НСМ далекі від термодинамічної рівноваги, яка буде називатися «нерівноважною НСМ».

Нерівноважні НСМ – це матеріали, що складаються з структурних елементів, переважно кристалітів, з характерним розміром (щонайменше в одному напрямку) кількох нанометрів (рис. 1.2). Іншими словами, нерівноважні НСМ за своєю природою є неоднорідними в нанометровому масштабі, що складається з нанорозмірних блоків, розділених граничними областями. Різні типи нерівноважних НСМ відрізняються характерними особливостями їх блоків (наприклад, кристаліти з різним чи ідентичним хімічним складом, різної або однакової атомної структури, різної або однакової форми, розміру тощо). Проте розміри і структура блоків є не єдиними мікроструктурними ознаками, що відрізняють різні НСМ. По суті, граничні області між ними відіграють подібну роль. Хімічний склад, структура атома,

товщина тощо граничних областей однаково важливі для властивостей НСМ (наприклад, рис. 1.2, 1.4 та 1.5). Іншими словами, навіть якщо будівельні блоки, наприклад, кристалітів двох НСМ, мають порівнянний розмір, хімічну композицію і т. д., властивості обох НСМ можуть значно відхилитися, якщо їх міжфазні структури відрізняються. Різні міжфазні структури можуть бути результатом, якщо два НСМ були синтезовані різними методами. Наприклад, нанокристалічний Ni (розмір кристала близько 10 нм, щільність приблизно 94%), отриманий шляхом консолідації Ni порошку, має меншу (<3%) пластичність, тоді як нанокристалічний Ni (аналогічний розмір зерна та хімічний склад), отриманий шляхом процесу електроосадження може деформуватися екстенсивно (>100%). Основною різницею, поміченою між обома матеріалами, була енергія, що зберігається в міжфазних областях, що вказує на різні міжфазні структури. Однією з технологічно привабливих рис нерівноважного НСМ є те, що їх структуру (і властивості) можна використовувати, як і у всіх нерівноважних системах, за способом підготовки. Це дозволяє створювати різноманітні мікроструктури (а отже, і властивості).

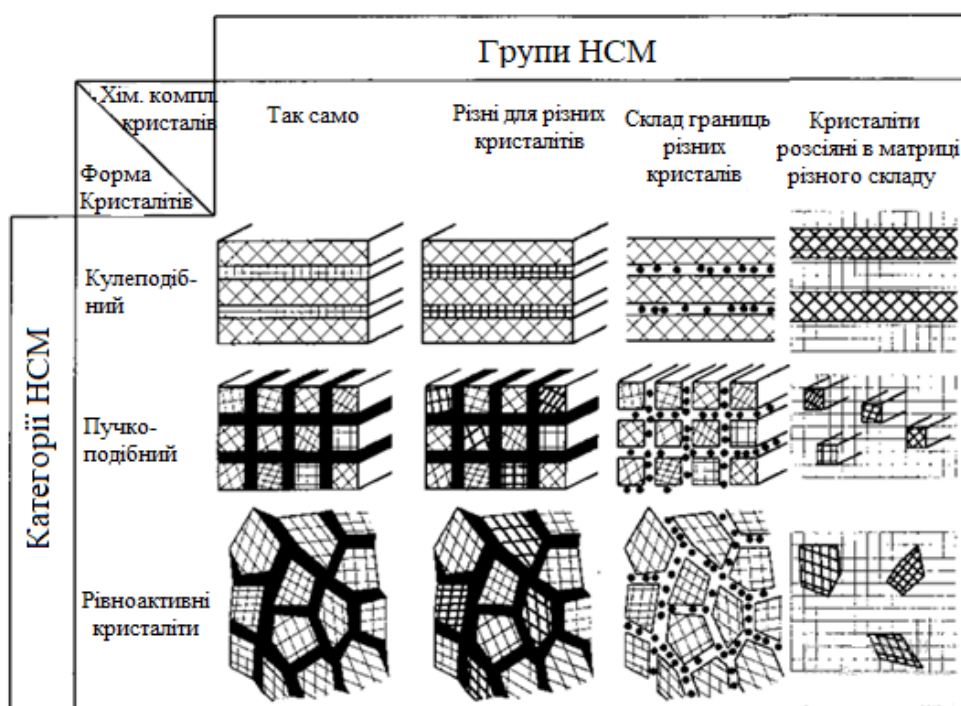


Рис. 1.6. Класифікація схеми для НСМ відповідно до їх хімічного складу та розмірності (форми) кристалітів (структурних елементів), що утворюють НСМ.

На рис. 1.6 граничні області першого та другого роду НСМ позначені чорними, щоб підкреслити різну атомну структуру в кристалах і в межах. Хімічний склад (чорних) граничних областей та кристалітів ідентичний у першій категорії. У другій категорії (чорні) межі є областями, в яких об'єднуються два кристали різного хімічного складу, що викликає круті концентрації градієнт [1].

Якщо НСМ складається з тонких голок або плоских, двовимірних кристалів (див. рис. 1.6), лише два або один розмір будівельних блоків стає складним з шкалою довжини фізичного феномену. Іншими словами, у цих випадках НСМ стає дво- чи одномірною системою стосовно цього явища.

Давайте розглянемо в першу чергу неполімерні НСМ. Неполімерні НСМ, що складаються з кристалів у наномірному розмірі, можуть бути класифіковані [1] залежно від їх хімічного складу та форми (розмірності) їхніх мікроструктурних складових (граничних областей та кристалітів, рис. 1.6). Відповідно до форми кристалітів можна виділити три категорії НСМ: шаруваті кристаліти, стрижневі кристаліти (з товщиною шару або діаметром стрижнів порядку декількох нанометрів), а НСМ, що складається з кристалітів з однорівневим нанометровим шаром. Залежно від хімічного складу кристалітів, три категорії НСМ можуть бути згруповані у чотири групи. У найбільш простих випадках (перша група, рис. 1.6) всі кристаліти та граничні області мають один і той же хімічний склад. Приклади цієї групи НСМ – це напівкристалічні полімери (що складаються зі складеної кристалічної пластинки, розділеної некристалінними областями, перша категорія на рис. 1.6) або НСМ, що складається з кристалів, розміщених рівномірно нанометрового розміру, наприклад від Cu (третя категорія). НСМ, що належить до групи секторів, складається з кристалітів з різними хімічними складами (показані на рис. 1.6 різною товщиною ліній, які використовуються для виведення). Квантові ями (багатошарові) структури є, мабуть, найбільш відомими прикладами цього типу (перша категорія). Якщо варіація композиції відбувається примусово між кристалітами та міжфазними областями, одержують третю групу НСМ. У цьому випадку один тип атомів (молекул) переважно відокремлюється до міжфазних областей, так що структурна модуляція (кристали або інтерфейси) пов'язана з

локальною хімічною модуляцією. НСМ, що складається з нанометрового розміру W-кристалів з атомами Ga.

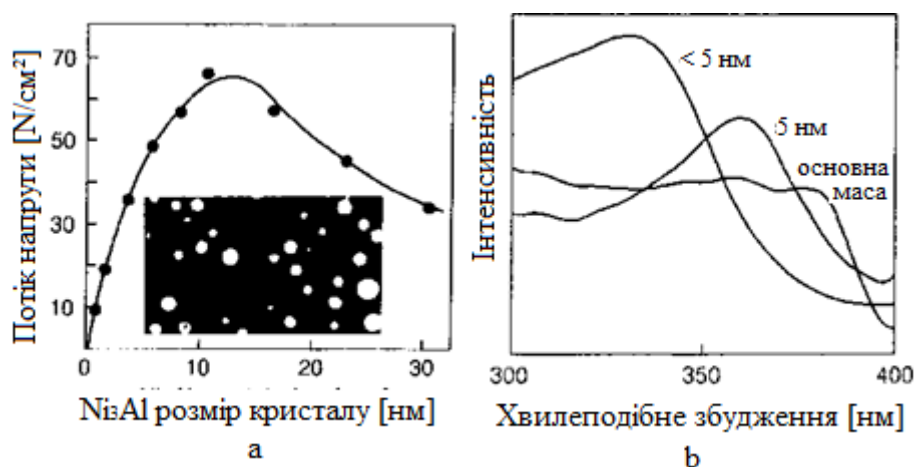


Рис. 1.7. (а) Струм навантаження Ni-13 на сплави. Ni, як функція розміру осаду Ni₃Al, (б) Спектри фотолюмінесценції нанокристалічного ZnO з різними розмірами кристалів у порівнянні з об'ємним матеріалом. Довжина хвилі виявлення становила 550 нм [1].

Приклади цього типу (третья категорія) є відокремленими до границь зерен (рис. 1.4). Несподіваний новий тип таких матеріалів був нещодавно виготовлений шляхом сплаву Al₂O₃ і Ga. Виявилось, що в результаті цієї процедури утворювалися нанорозмірні кристали Al₂O₃, розділені мережею некристалічних шарів Ga. Залежно від вмісту Ga, густина кордонів Ga між кристалами Al₂O₃ варіюється від менше, ніж моношар і до приблизно семи шарів Ga. Четверта група НСМ утворюється кристалітами розміром у наномінеретровому розмірі (шари, прутки або рівноакцентовані кристаліти), розсіяні в матриці різного хімічного складу. Цій групі НСМ належать сплави, опромінені опадами. Приклади таких сплавів є осадженням Ni₃Al, вираженими у Ni-матриці, утворені шляхом відпалу перенасиченого твердого розчину Ni-Al. Більшість високотемпературних матеріалів, що використовуються в реактивних двигунах сучасних літальних апаратів, базуються на осаджених твердих сплавах Ni₃Al або Ni (рис. 1.7 (а)).

Нітриди металів, вбудовані в аморфний Si_3N_4 , були підготовлені високочастотним розрядом, постійного струму або плазмоіндукованою хімічною пароізоляцією. Істотною особливістю цих матеріалів є їх твердість, яка, здається, є порівняною або більшою, ніж твердість алмазу. Еластичні сили зображення стверджують, що вимагають дуже високої напруги, щоб змусити зсуви прорізати кристалітами нітриду в наномірному розмірі. Однак ця висока напруга не може призвести до руйнування, тому що будь-яку тріщину, утворену в одному з кристалітів, можна зупинити з допомогою пластичної аморфної матриці Si_3N_4 , що оточує розломаний кристаліт. Інша група технологічно цікавих НСМ, що складається з кристалітів розміром в наномірному розмірі, вбудованих в аморфну матрицю, є нанокристалічними магнітними матеріалами. Вони походять від кристалізуючих аморфних стрічок із металевих структур типу «скло» (аморфних) (Fe, B). Їх мікроструктура характеризується зернами розміром 10-25 нм з фазою б.с.с.-а-FeX, що займає близько 70-80% загального обсягу. Ця фаза однорідно розсіяна в аморфній матриці. Дві групи сплавів, що демонструють найкращі характеристики, є Fe-Cu-Nb-B-Si (FINEMET) і Fe-Zr-Cu-B-Si (NANOPERM). Сплави "Finemet" мають індукцію насичення приблизно 1,2 Т, а їх властивості на високих частотах порівнянні з найкращими аморфними металами на основі Со. Видатними характеристиками сплавів "Наноперм" є дуже низькі втрати, що виявляються при низьких частотах (<100 Гц), що дають потенціал для застосування в розподілі електроенергії трансформатором.

Однією з чудових особливостей напівкристалічних полімерів є те, що завжди утворюється наноструктурована морфологія, якщо ці полімери кристалізуються з розплаву або з розчину, якщо кристалізація не відбувається під високим тиском, або якщо при кристалізації застосовують відпал високого тиску. Однак, якщо полімер кристалізується з розчину або з розплаву під тиском навколишнього середовища, то виникають багатошарові структури, що складаються зі шаблів полімерних монокристалів. Всередині кристалів атоми, що утворюють полімерні ланцюги, розташовуються в тривимірному (кристалічному) режимі. Неузгоджені міжфазні області між сусідніми кристалами складаються з макромолекул, що складаються

назад у той самий кристал і зв'язуючих молекул, які межують між сусідніми кристалами. Типова товщина кристалічних пластинок становить порядку 10-20 нм. Ці порівняно невеликі товщини кристалів інтерпретували в термінах вищої зародковості кристалів, згорнутих ланцюжком, по відношенню до кристалів розширеної ланцюга або в термінах замороженої рівноважної структури: при температурі кристалізації надлишок ентропії, пов'язаний з складові ланцюга можуть зменшити вільну енергію Гіббса ковзаючого складеного ланцюга нижче рівня кристалізації розширеного ланцюга. Отже, при температурі кристалізації, вона призведе до кріплення ланцюжків кристалів, а не до кристалів розширеного ланцюга. Оцінки надлишкової ентропії, пов'язаної з складчастими ланцюгами, призводять до товщини зародкових кристалів приблизно 10-20 нм. Можна зазначити, що зародження недосконалих кристалів при кристалізації не обмежується полімерними матеріалами. Надлишкова ентропія, пов'язана з вакансіями, наприклад в елементарних кристалах призводить до рівноважної концентрації вакансій при температурі плавлення, тобто при зародженні недосконалих кристалів. У металах ця концентрація рівноважної вакансії при температурі плавлення звичайно становить близько 10^{-4} .

Складання ланцюга може призвести до досить складних мікроструктур на наномірному розмірі залежно від умов кристалізації. Сфероліти, що складаються з радіально розташованих скручених пластинок, віддають перевагу нерозділеним розплавам. Проте, якщо розплав напружується під час затвердіння, може виникнути різноманітна морфологія залежно від швидкості деформації та температури кристалізації (наприклад, переохолодження). Високі температури кристалізації та малі деформації сприяють утворенню пластинчастої морфології, висока температура в поєднанні з високими швидкостями деформації призводить до голокоподібних пристроїв. Низька температура і високі темпи деформації призводять до орієнтованих міцелярних структур. Перехід між цими морфологіями є безперервним, а суміші їх також можуть бути отримані в придатних умовах. Спосіб до додаткового різноманіття наноструктурованих морфологій був відкритий при підготовці багатокomпонентних полімерних систем, так званих полімерних сумішей.

Наведені типи наноструктурованих морфологій полімерних сумішей утворюються в сумішах, що складаються з одного кристалізованого та одного аморфного (некристалізованого) компонента:

1) Сфериліти кристалізуючого компонента ростуть в матриці, що складається в основному з полімеру, що некристалізується.

2) Компонент, що некристалізується, може бути включений в міжміцелярні області сферолітів кристалізуючого полімеру. Сфероліти – заповнення простору.

3) Компонент, що некристалізується, може бути включений в сфериліти кристалізуючого полімеру, що утворює домени, що мають розміри, більші, ніж міжламкові.

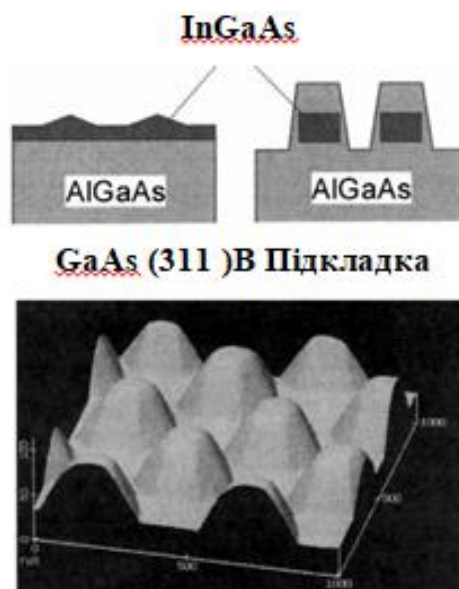


Рис. 1.8 (а) Модель зростання похованих квантових точок InGaAs в AlGaAs. (б) СТМ поверхні кристала AlGaAs [6]

Під поверхнею поховані маленькі квантові точка-кристали $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.4}\text{As}$ (а). Кристаліти періодично влаштовані [6].

Для сумішей двох кристалізуючих компонентів чотири найбільш поширені морфології:

- 1) Кристали обох компонентів дисперговані в аморфній матриці.
- 2) Один компонент кристалізується у сферичній морфології, тоді як інший кристалізується у більш простий спосіб, наприклад у вигляді складеного кристала.

3) Обидва компоненти виявляють окрему сферолітичну структуру. (IV) Ці два компоненти кристалізуються одночасно, що приводить до так званих змішаних сферолітів, які містять пластини обох полімерів.

1.3. Рівновага наноструктурованих матеріалів

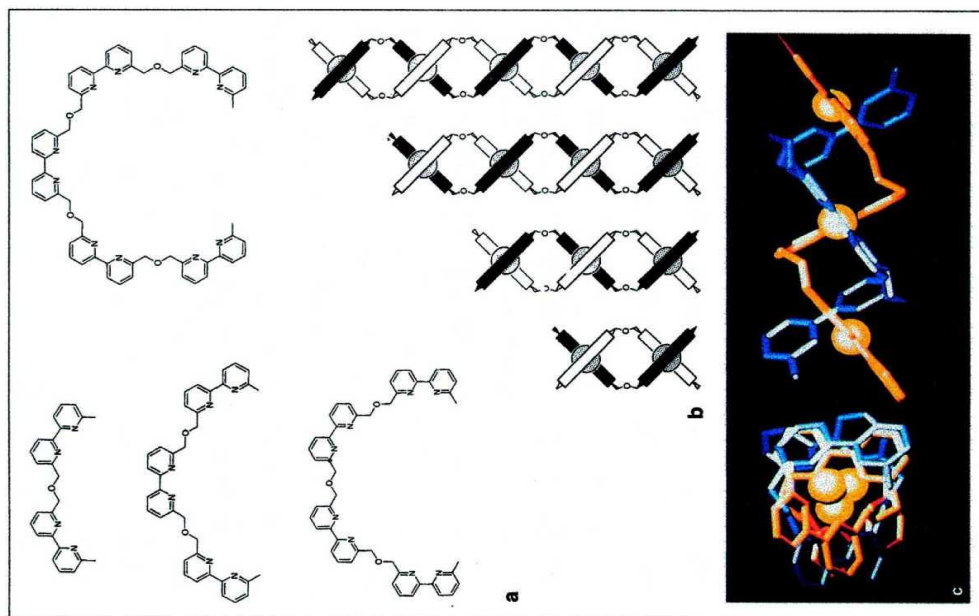


Рис. 1.9 (а) Олігопіридинові ліганди з можливістю утворення гвинтових структур. Показані ліганди складаються з двох, трьох, чотирьох або п'яти 2,2-біпіридинових одиниць [8]. (б) Формування енантімерних дволанцюгових гелікатів з двох до п'яти іонів металу (Cu (I), Ag (I) з тетраедрично координованими металевими точками). (в) Структурна модель, виведена з рентген-дифракційних досліджень.

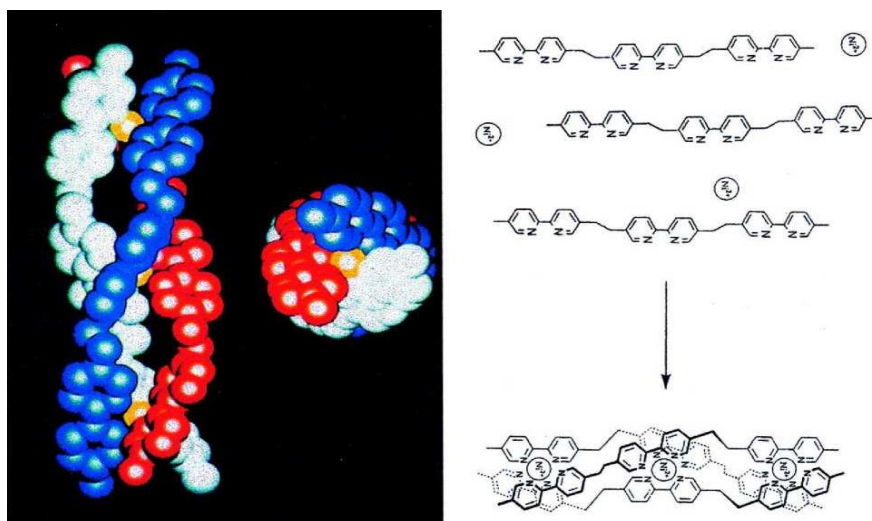


Рис. 1.10. Самоорганізована потрійна спіральна структура [8]

На рис 1.10 структура складається з трьох молекул ліганду, кожна з яких містить три 2,2'-біпіридинові одиниці та три октаедрально координовані іони Ni (II) [8]. Внизу: структура триелілату, виведеного рентгенівською дифракцією.

Супрамолекули – це олігомолекулярні види, що виникають в результаті міжмолекулярної асоціації декількох компонентів (рецепторів та субстратів), що слідує за притаманним принципом монтажу, заснованим на принципах молекулярного визнання. Супрамолекулярна самозбірка стосується спонтанного збору, як з декількох, так і з великою кількістю компонентів, що приводить до утворення дискретних олігомолекулярних супермолекул або розширених полімолекулярних з'єднань, таких як молекулярні шари, плівки, мембрани тощо. Іншими словами, конкретні фази, що мають чітко визначені мікроскопічні молекулярні домовленості та пов'язані з ними макроскопічні характеристики [7].

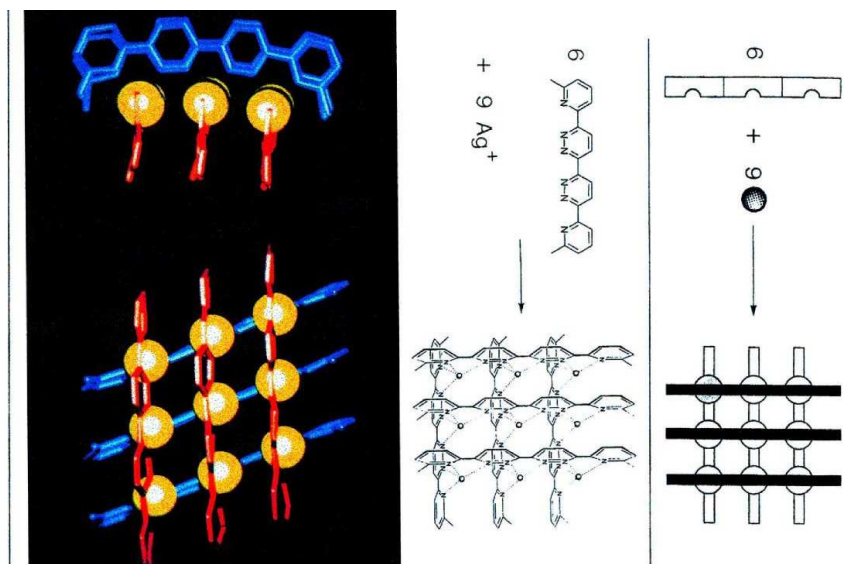


Рис. 1.11. Верх: схематична схема самозбірки неорганічної решітки.

Решітка складається з шести лінійних молекул, кожна з яких містить три ділянки склеювання. Молекули тримають разом дев'ять атомів металів, прикріплених до місць склеювання. Середина: спонтанне утворення решітки 3 x 3, що складається з шести молекул, кожна з яких складається з двох піридинів та двох піридинінових груп. Сайти склеювання містять два атоми азоту. Молекули утримуються разом дев'ятьма тетраедрично зв'язувальними іонами Ag (I). Внизу: структура решітки такого типу, виведена з даних рентгеноструктурних даних [8].

Одним з основних результатів органічної хімії є те, що взаємопов'язаність міжмолекулярних речовин ґрунтується на фіксації, молекулярному відтворенні та координації. Інакше кажучи, молекулярне зв'язування має високу селективність, що означає додаткову геометрію, яка ґрунтується на молекулярному розпізнаванні. З огляду на цей критерій, ДНК є надзвичайно сприятливим "будівельним матеріалом" для нанорозмірних структур. Це дозволяє використовувати інформаційний характер макромолекул біологічних систем. Справді, конструкція липких фігур з використанням розгалужених молекул ДНК як будівельних блоків було продемонстровано, що вона відкриває шлях до синтезу великої різноманітності компонентів ДНК.

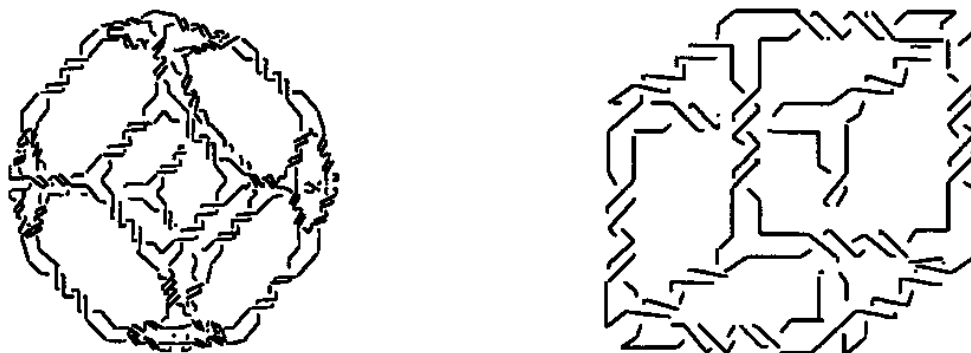


Рис. 1.12. Куб і усічений октаедр, зібрані з молекул ДНК [9].

Ребра цих пристроїв складаються з подвійної спіральної ДНК, а вершини відповідають точці відгалуження стійких розгалужених зв'язків ДНК. На лівій стороні демонструється стабільна розгалужена молекула ДНК. Цифра посередині вказує на липкі кінці. Чотири з цих молекул липкого кінця зібрані в чотирикутник. Ті ж методи були застосовані для синтезу дво- та тривимірних періодичних структур ДНК, що містять нанометр [9] з попередньо визначеними топологіями, наприклад кубики, усічені октаедри та ін (рис. 1.12). Для синтезу макроскопічних періодичних масивів, що складаються з кубиків, укорочених восьмигранників та ін. Необхідні ДНК-мотиви, більш жорсткі, ніж розгалужені.

РОЗДІЛ 2

ФІЗИЧНІ МЕТОДИ ОТРИМАННЯ НАНОСТРУКТУРОВАНИХ ПОВЕРХОНЬ

2.1. Ультразвуковий синтез наночастинок з легованню SnS та їх фізичні властивості

При визначенні та ідентифікації властивостей напівпровідникових наноструктурних матеріалів важливими факторами для дослідників є простота синтезу, нетоксичність, широта та важливість застосування, економічність та доступність. Сульфід олова (SnS) - це одна з напівпровідникових наноструктур, яка має згадані особливості, і дослідники розглянули багато аспектів його застосування, такі як фотоелектричні [10], фотокаталітичні, польова емісія, літій-іонні акумулятори, фотоприймачі [12] і газові зондування. З іншого боку, наноструктури SnS можна синтезувати різними способами, включаючи вологі хімічні речовини, гідротермальний та мікрохвильовий гідротермічний методи, хімічне осадження (ХО), електроосадження, сонохімічний метод, термічне випаровування, одночасне осадження, піроліз спрею, осадження атомного шару (ОАШ), імпульсне лазерне осадження (ІЛО) та послідовна іонна адсорбція та реакція шару (SILAR).

У даному досліді фізики Фарид Джамали-Шейні, Мохсен Мерагізаде та Рамин Юсефі займалися синтезом наночастинки SnS (НЧ) методом ультразвукової обробки та вивчали вплив нанаявності домішки на оптичних, електричних, діелектричних та фотокаталітичних властивостях SnS. До теперішнього часу деякі дослідники використовували різні методи оцінки впливу елемента In на оптичні та фотокаталітичні властивості структур SnS. Суніл [13] синтезував не леговані та ін'єкційні кристали SnS прямим транспортуванням пари (ПТП). Він відзначає, що присутність In зменшує кристалічний розмір, опірність та енергію оптичної зонної зони кристалів SnS. Він пояснив, що зниження розміру кристаліту домішкового пов'язано з великою невідповідністю між іонним радіусом In катіоном та атомами Sn-домінанти. Більша невідповідність збільшує щільність деформації та дислокації в

кристалічних структурах SnS і зменшує розмір кристаліту. Крім того, вони заявили, що знижене електричного опору пояснюється збільшенням рухливості отвору, що є результатом зниження ефективної маси. В іншому дослідженні Сантшош [14] спробував синтезувати тонко-плівки, що леговані SnS, нанесені на скляну підкладку. На підставі його вивчення тонкі плівки з легованою домішкою демонструють нижчу енергетичну щільність з оптичною смугою, оскільки усадка смуги впливає на частинки тонкої плівки, коли збільшується концентрація носіїв. Також їх дослідження фотолюмінесценції (ФЛ) виявили червоне зміщення у смузі випромінювання плівок Sn, що були домішками, у порівнянні з непроникною тонкою плівкою SnS. Крім того, додавання In допінг до тонкої плівки спостерігалось для зменшення питомого опору та збільшення концентрації носіїв та рухливості Холла тонких плівок SnS. Вони згадували, що зниження електричного опору тонких плівок SnS є наслідком заміщення ділянок Sn²⁺ з іонами In³⁺, що ведуть до одного вільного носія.

Наскільки нам відомо, раніше було повідомлено про синтез та вивчення фотоелектричних властивостей легованих SnS НЧ шляхом ультразвукової обробки [15], проте електронні, діелектричні та фотокаталітичні характеристики ще не оцінені. Тому в даному досліді фізики досліджували та подали оптичні, електричні, діелектричні та фотокаталітичні властивості легованих SnS НЧ.

Сумісний розчин для синтезу легованих частинок SnS одержували додаванням 40 мл 0,1 М Na₂S до 40 мл 0,1 М SnCl₂. Змішаний розчин перемішували протягом 1 хв, а потім одержали темно коричневий розчин. Для перевірки ефекту різних концентрацій В, як домішки, також були підготовлені три інші розчини, що містять 2%, 4% та 6% In. Пробні без легованих та легованих з різними кількостями In називалися In (0), In (1), In (2) та In (3), відповідно. Ультразвукові хвилі були введені на частоті 20 кГц за допомогою титанового зонда (діаметром ~ 12 мм) (Top Sonics URH-400, 20 кГц-50 Вт, Ультразвукова технологія розвитку). Для синтезу чотирьох зразків 3 см зонда зберігали всередині розчину, а процес обробки ультразвуком включався протягом 6 с та відключався протягом 3 с протягом всього 15 хв. Після процесу обробки ультразвуком кожний розчин видаляли з склянки, кілька разів занурювали в дистильовану воду і сушили на повітрі.

Частки характеризували, використовуючи рентген-дифрактометр (XRD, Philips, PEM, Cu-ka1 = 1.5406 Å). Для морфологічних досліджень використовувався електронний мікроскоп з польовою емісією (PEM; SEM, Mira 3-XMU). Аналіз розподілу проводився за допомогою енергетичного дисперсійного рентгенівського спектрометра (ДРС), який був приєднаний до того ж інструменту SEM. Спектри ЕДС були отримані щонайменше від трьох до чотирьох різних плям (загальна площа ~ 30 мм²), а тривалість збору склала ~ 100 с для кожної плями. ЕЦП-спектрометр калібрували за стандартним зразком золота. Оптичні властивості досліджували засобами ФЛ. ФЛ спектри вимірювали при кімнатній температурі фотолюмінесцентним спектрометром (ФС), використовуючи лазер He-Cd (1ехс = 325 нм, 200 мВт).

+++ Для цього 2 x 1 см² SiO₂ субстрати очищали ультразвуковим способом етанолом та дистильованою водою протягом 8 хв та сушили на повітрі. 0,5 мл хітосанового зв'язування з 5 мг нелегованих або легованих частинок SnS змішували та осаджували на підготованому субстраті SiO₂ та сушили на повітрі протягом 12 годин. На обох краях плівки, на одній і тій же стороні, були поставлені два електродні агрегати, підготовлені для електричних характеристик. Для серій C-V, LCR-метр (LCR-8000G Series-Gwinstek) використовувався для вимірювання ємності плівок та отримання ділянок Мотта-Шотткі. Фотореакцію (фотокурс) зразків вимірювали за допомогою джерела ксенона. Ефективна поверхня зразків, що піддавалася впливу світла, дорівнює 0,25 см². Для діелектричних вимірювань як синтезовані порошки без будь-якої добавки (по 0,5 г від кожного) були ущільнені при 25 Па. Отримано циркулярні гранули з діаметром і товщиною 9 мм та 1 мм, відповідно. Гранули покриті пастою срібла для одержання геометрії конденсатора пластини для вимірювання діелектричних параметрів плівок. Вимірювання проводили вищезгаданим лічильником LCR в діапазоні частот від 1 кГц до 10 МГц.

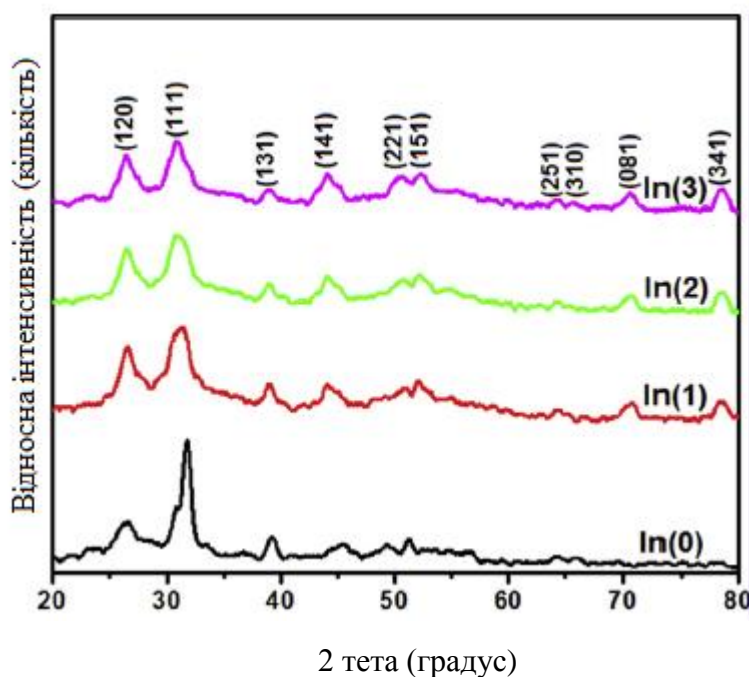


Рис. 2.1. Характеристики рентгеноструктурного аналізу (РСА) SnS НЧ [10].

На рис. 2.1 показані шаблони дифракції рентгенівських променів (ДРП) частинок SnS. Всі зразки - кристалічні структури, що належать до орторомбічної фази SnS (карта JCPDS № 00-014-0620) [15]. Існування широких піків у всіх моделях ДРП свідчить про утворення нанорозмірних частинок. Рівняння Шерре [16] використовували для розрахунку розмірів кристаліту частинок Sn і Sn, що не досягаються. Середні розміри кристаліту отримали приблизно 54,42, 49,32, 45,78 та 40,63 нм для In (0), In (1), In (2) та In (3) відповідно. Ці значення вказують на те, що в домішці зменшується розмір кристаліту частинок SnS. Цей результат відповідає результатам попередніх робіт [13-14]. Найвищі позиції ДРП -візерунків зміщені на нижні кути. У літературі такий зсув пояснюється відмінністю ефективних іонних радіусів атомів In і Sn, де In вкладено в кристалічну решітку SnS.

На рис. 2.2 представлені зображення СЕМ частинок SnS для оцінки їх морфологічних властивостей. Частки показують квіткоподібні морфології. Наші вимірювання розгалужують середні розміри часток 75 ± 2 , 61 ± 2 , 66 ± 2 та 71 ± 2 нм для In (0), In (1), In (2) та In (3) відповідно. Ці величини представляють розмір частинок менше 100 нм для всіх зразків. Тому частки SnS можна назвати SnS НЧ. По-перше, додавання In до зразка SnS, тобто In (1), зменшує розмір частинок SnS, а

потім, застосовуючи більш високі концентрації In, у зразках In (2) та In (3), збільшує розмір частинок.

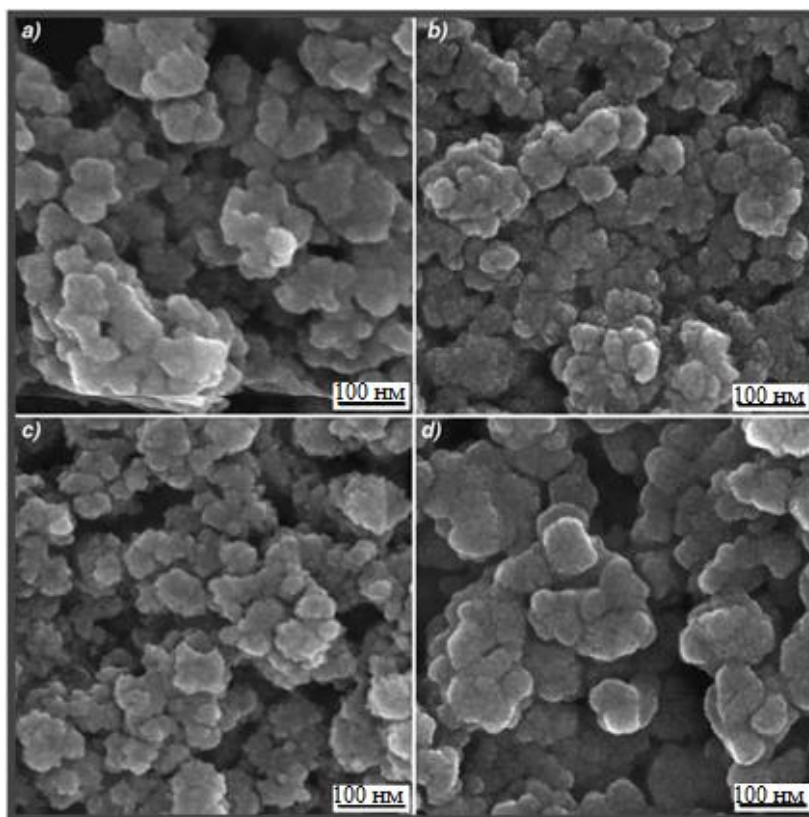


Рис. 2.2. Зображення СЕМ а) В (0), б) В (1), в) В (2) та г) у (3).

На рис. 2.3 представлений типовий спектр ЕРС для кращого елементарної еволюції отриманих НЧ. З вкладу цієї фігури, збільшення атомів шляхом підвищення концентрації добавки. Отже, In (0) має найнижчий ваговий відсоток (Wt%) і атомний відсоток (At%) Sn і S має найбільшу кількість Wt% та At% у цьому зразку.

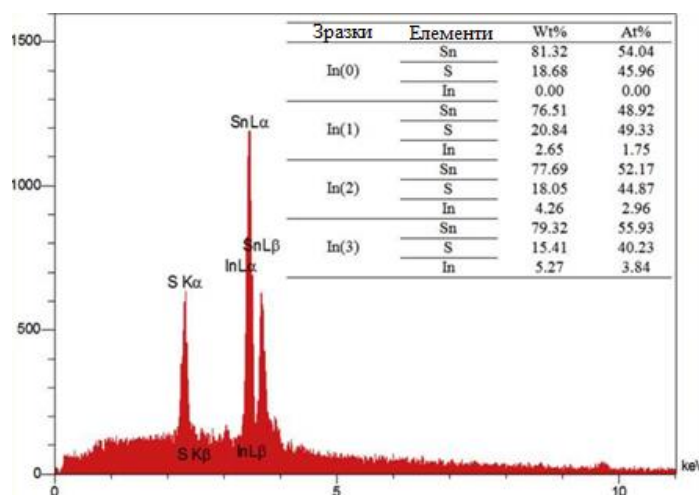


Рис 2.3. Типовий спектр ЕРС SnS НЧ

Для оцінки емісійних смуг SnS НЧ було проведено швидкий, неструктивний аналіз PL, як показано на рис.2.4. Отримані спектри ФЛ вказують на три категорії зонних викидів для всіх зразків, які показані на їхніх спектрах. Перша категорія випромінювання, розташована в зоні зеленого світла (2,37-2,40 eV), ймовірно, пов'язана з дефектами точок вакансії сірки у кристалічній решітці усіх зразків SnS, про що повідомляють багато дослідників [12].

2.2. Вплив ультразвукових хвиль на фізичні властивості наноструктурованих тонких плівок SnS.

Наноструктуровані тонкі плівки SnS одержували за допомогою методу електрохімічного осадження на субстраті з оксиду фтору (ФТО) з водного розчину, що містить 2 mM SnCl₂ і 16 mM Na₂S₂O₃. Потужність рН, температури, часу та потенціалу осадження (E) розчину залишалася відповідно на рівні 2,10, 60 ° C, 30 хвилин та -1 В, відповідно. Ультразвукові хвилі застосовувались для синтезу тонкої плівки SnS, що містила електронно-поглинання. Характеристику осаджених тонких плівок здійснювали рентгенівською дифракцією (РД), рентгенівською фотоелектронною спектроскопією (РФС), електронною мікроскопією польових випромінювань (СЕМ), фотолюмінесценцією кімнатної температури (ФЛ) та спектрометром UV-Vis. Опорні SnS наноструктури були полікристалічними з орторомбічною структурою. Застосовуючи ультразвукові хвилі, кристалічна якість зменшилася. Зображення СЕМ показали, що ультразвукові хвилі відповідають за

зміни морфології наноструктур SnS. Також, наклавши ультразвукові хвилі, створювалися більш тонкі площини, що призвели до утворення двовимірного (2D) SnS. Спектри ФЛ ультразвукової електродисперсійної плівки SnS показали червоне зчеплення у порівнянні з електропозитивним SnS. Енергія оптичної забороненої зони (напр.) Ультразвукового електропошкодженого SnS зменшилася з 1,5 eV до 1,45 eV. Крім того, ультразвукова електродепонована SnS має більшу ефективність перетворення сонячної батареї, ніж у електропошкодженого SnS.

Сульфід олова (SnS) має цікаві оптичні властивості, які підходять для використання в оптоелектронних і фотоелектричних приладах [10]. Найбільші матеріали для виготовлення тонкопліткових сонячних елементів - це найбільший матеріал для теллуриду кадмію (CdTe) або дисеніду галію індію міді (Cu (In, Ga) Se₂). Проте кількість індію та галію в природі є низькою [11], а через токсичність кадмію SnS - чудова альтернатива. SnS є дешевим, нетоксичним, а Sn і S поширені за своїм характером. Відомі декілька бінарних олов'яних сульфідів (SnS, SnS₂, Sn₂S₃, Sn₃S₄ та Sn_jS), з яких найважливішими є SnS та SnS₂. Сульфіди олова є перспективними матеріалами для використання як датчики газу, особливо для зондування NO₂. Хоча низькомірні вуглецеві матеріали, що містять вуглецеві нанотрубки та графен, були вивчені як можливі кандидати для зондування газу, ці сенсори демонструють низьку селективність та повільну кінетику відновлення. Крім того, двовимірний (2D) дисульфід молібдену (MoS₂), який є найбільш помітним кандидатом для визначення NO₂, незважаючи на хорошу селективність до NO₂, не показує належним чином швидку кінетику відновлення. Двовимірні (2D) олов'яні сульфіди мають недорогу сенсорну платформу з сильними можливостями NO₂-фізіопріктивної селективності, чутливості та оборотності, які можуть працювати за низьких температурах при невеликій вартості розробки. Більше того, двовимірні (2D) олов'яні сульфіди мають сприятливе енергетичне значення для адсорбції NO₂ разом з оптимальною електронною смужкою, що спрощує перенесення заряду [5,6]. Серед цих олов'яних сульфідів SnS має чудові характеристики та потенційне застосування в області оптоелектронних пристроїв, поглинаючого шару в тонкопліткових сонячних батареях, поблизу інфрачервоних фотоприймачів,

голографічних записів, напівпровідникових датчиків, твердотільних батарей та конденсаторів [12]. Крім того, чудова чутливість пристроїв на основі SnS, що містять швидкий час реакції та високу фоточутливість, дозволяє тонким кристалам 2D SnS бути сприятливим будівельним блоком для високоефективних оптоелектронних пристроїв. SnS - це оранжево-сірий кольоровий напівпровідник р-типу з шаруватою орторомбічною кристалічною структурою, де шари атомів S та Sn є тісно зв'язаними слабкою Ван дер Ваальс силою, і він може легко відшаровуватися в 2D шар. SnS являє собою халькогеніду металів IV-VI та відомої за вузькою забороненою зоною. SnS - це подвійна шарувата решітка з площинами розщеплення перпендикулярно осі c. Це напівпровідник р-типу, його електричні властивості можна регулювати шляхом легування.

РОЗДІЛ 3

ХІМІЧНІ МЕТОДИ ОТРИМАННЯ НАНОСТРУКТУРОВАНИХ МАТЕРІАЛІВ

3.1. Гідротермічний синтез, характеристика та оптичні властивості SnS

У цьому досліді ми розробляємо дуже простий метод, оснований на рішеннях, для синтезу великих масштабів наносільськогосподарських SnS. Проведено серію експериментів для спостереження за механізмом росту 1D SnS.

Описуються також режими фононів за допомогою комбінаційної спектроскопії, фотолюмінесценції та структурного впливу на властивості абсорбції водню.

Всі хімічні речовини були аналітичними (Beijing Chemistry Co., Ltd.) і використовувались без подальшого вдосконалення. Олово хлорид ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) та сульфід натрію ($\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) приймали як джерела олова та сірки, а як розчинник використовували етиленгліколь. У типовому синтезі 0.226г $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ та 0.678г Na_2S розчиняли ультразвуково у 20мл етиленгліколю відповідно. Для осідання використовували стехіометричне співвідношення 3:1 розчинів $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ та $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Розчин $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ додавали краплями у розчині Na_2S при магнітному перемішуванні. Розчин переходить у темно-коричневий колір з додаванням розчину хлориду олова. Остання участь переноситься на 40 мл автоклав з нержавіючої сталі з підкладкою з тефлону. Автоклав поміщали в духовку при температурі 250°C протягом 12 годин, потім природно охолоджували. Сірий порошок збирали та промивали кілька разів дистильованою водою та етанолом для видалення домішок перед сушінням при 70°C протягом 7 год.

3.2 Іонний синтез синтезу SnS наноструктур з рідким середовищем

Іонні ліквіди (ILs) показали величезні перспективи як заміни для легких органічних розчинників. Ці сполуки широко вивчаються як новий вид реакційної середовища завдяки їх невизначеним властивостям, таким як надзвичайно низька

летючість, широкий діапазон температур ліквіди, хороша термічна стабільність, конструктивна структура, висока іонна провідність, стійкість повітря та води, низька токсичність, неплінна здатність, широке електрохімічне вікно [1].

У типовому експерименті 4 мілімоль SnCl_2 розчиняли у суміші етанолу та BMImBF_4 ; Після цього додавали 4,05 мілімоль ТАА. Мікротип титану (3 мм) був занурений безпосередньо в реакційний розчин. Потім обробляли 100 Вт ультразвукового випромінювання (20 КГц, Fisher Scientific Sonic Dismembrator 500). Сформовану суспензію центрифугували, щоб випасти осад і промити етанолом для видалення непрореагованих реагентів. Зразки термічно відпалювали, використовуючи вакуумну піч при 80°C протягом 12 годин. Для вивчення впливу BMImBF_4 , розведення, кількості ТАА, часу опромінення та добавки до структуруючого агента (3-МПА, ДЕА, ЕГ та ТОП) проведено ряд експериментів, і конкретні дані про підготовку зразка наведені в додатку В.

Структурний аналіз проводили за допомогою рентгенівського дифрактометра (Rigaku Mini-flex Desktop, Cu $\text{K}\alpha_1$, Ni, 0,154 нм, 30 кВ, 15 мА, розмір кроку 0,02, ступінь 2 с). Морфологія та елементний аналіз досліджували за допомогою електронного мікроскопа, що випромінює випромінювання, СЕМ (FEI NovaNanoSEM200). Оптичні властивості вивчали, використовуючи спектрометр UV-Vis (Thermo Scientific Evolution 300), використовуючи аксесуар молитовного мантию (Harrick DRP) для вимірювань дифузного відбиття.

На рис. 3.1 представлені схеми XRD синтезованих зразків в декількох умовах згідно з додатком В. Зразок а (лише етанол як розчинник) позначає некристалічний порошок, зразок б (суміш 1: 1 етанол-IL) демонструє більш високий ступінь кристалічності з відбитками, пов'язаними з чистою орторомбічною SnS фазою згідно з стандартною картою JCPDS (39-0354), без домішок піків таких елементарних олово, сірки та інших фаз сульфиду олова, що вказує на одержання однофазного SnS. Піки та їх відносна інтенсивність призначаються наступним чином: (101) 100%, (111) 89%, (120) 83%, (221) 49%, (141) 40%, (001) 37%.

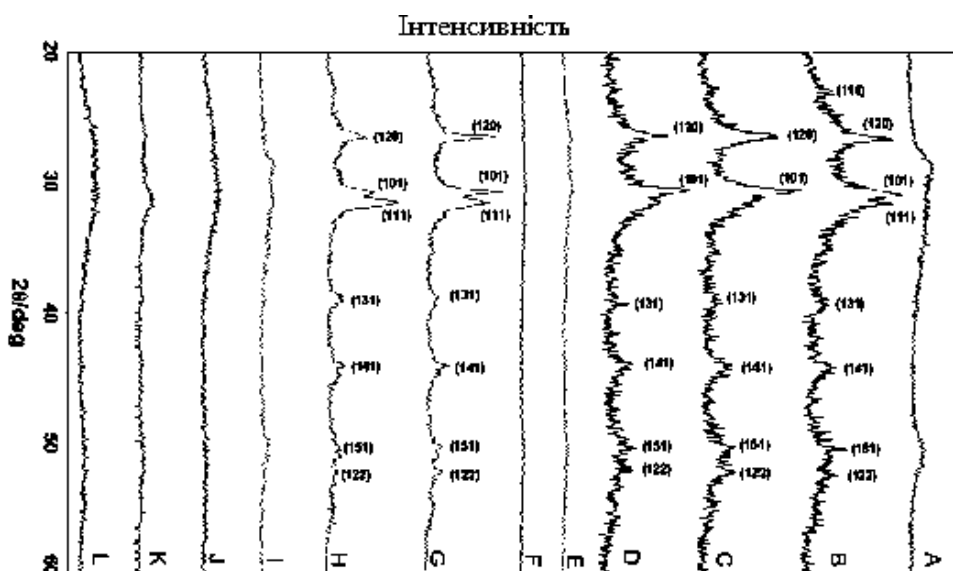


Рис. 3.1 Шаблони рентгенівських дифракційних покриттів підготовлених зразків після обробки відпалу. [25]

ВИСНОВКИ

Електропостачання (ЕП) та ультразвукові електродепоновані (УЗЕО) SnS наноструктуровані тонкі плівки синтезували на підкладках FTO. Зміни структурних та оптичних властивостей плівок SnS спостерігалися за допомогою ультразвукових хвиль. РД Паттерн виявив, що плівки є полікристалічними орторомбічними SnS, а наноструктури УЗЕО -SnS мають менший розмір зерна в порівнянні з ЕП -SnS. Результати РФС показали, що пік S 2p_{3/2} при 161,5 eV пов'язаний із S²⁻, а піки Sn-3d_{5/2} (487 eV) та 3d_{3/2} (495,2 eV) пов'язані з Sn²⁺ у SnS. Зображення СЕМ показали, що при застосуванні ультразвукових хвиль створювалися більш тонкі площини з вертикальним зростанням, що призвело до утворення двовимірного (2D) SnS. Крім того, результати ФЛ та ультрафіолетової спектроскопії показали, що на оптичні властивості наноструктурованих тонких плівок SnS впливає процес підготовки. Крім того, у порівнянні з наноструктурами ЕП -SnS, у спектрах ФЛ наноструктур УЗЕО -SnS спостерігався чіткий червоний зсув. У формі, що має менший розмір кристаліту в УЗЕО -SnS, ніж у ЕП -SnS, УЗЕО -SnS має менший показник заломлення. Крім того, більша площа поверхні наноструктур УЗЕО -SnS в порівнянні з ЕП -SnS призводить до збільшення здатності до поглинання УЗЕО -SnS. Крім того, пряма смуга пропускання ЕП -SnS знизилася з 1,50 до 1,45 eV після нанесення ультразвукових хвиль. Характеристики J-V показали, що в порівнянні з ЕП -SnS, ефективність перетворення сонячної батареї на основі наноструктурованого УЗЕО-SnS збільшилась. Збільшення поглинання та висока затримка рекомбінації заряду наноструктур УЗЕО-SnS обумовлюють таку поведінку. Іншою важливою причиною стало формування 2D SnS шляхом застосування ультразвукових хвиль, що призвело до покращення фотоелектричних властивостей.

Допомога іонної ліквіди BMImBF₄ з використанням ультразвукових хвиль є сприятливим маршрутом для утворення наночастинок SnS, крім того, це, очевидно, допомогло досягти кристалізації навіть при середній температурі відпалу 80 ° C.

Визначення смуги пропускання синтезованих матеріалів показало значення близько 1,80 eV.

Метод PLAS - екологічно доброякісний спосіб, який швидко і без шаблонів, що вражає скорочує час підготовки та дозволяє уникнути складних процедур виготовлення. Добре знаю, що структурований агент не є ефективним при використанні в умовах високих природних середовищ і не сприяє кристалічному утворенню SnS. Очікується, що підхід, запропонований у цій роботі, допоможе підготувати кілька інших сульфідних або оксидних наноматеріалів перехідного металу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Хенгейн А. Хімічні огляди / Хейнгейн А. – Шампейн: Університет штату Іллінойс, 1998. – 89 с.
2. Глейтер Х. Наноструктурні матеріали / Глейтер Х. – Карлсруе: Центр ядерних досліджень Карлсруе, 2001. – 14 с.
3. Глейтер Х. Наноструктурні матеріали / Глейтер Х. – Карлсруе: Центр ядерних досліджень Карлсруе, 1998. – 36 с.
4. Гроссард А. С. Тонкі плівки / Гроссард А. С. – Ренна: Університет Ренна, 1979. – 56 с.
5. Глейтер Х. Механічні властивості та деформаційна поведінка мікроструктурних матеріалів / Глейтер Х., Настасі М., Паркін Д. М. – Дордрехт: Центр досліджень НАТО, 1993. – 233 с.
6. Гер У. Твердотільні зв'язки / Гер У., Гонсер У., Глейтер Х. – Дубровнік: Матеріали сьогодні, 2018. – 198 с.
7. Сур'янараяна С. Міжнародні огляди матеріалів / Сур'янараяна С., Чаула К. К. – Бірмінгем: Університет Алабами, 1995. – 41 с.
8. Яго А. Тонкоплівкові сонячні елементи / Яго А., Ссагава С., Акакі І. – Галле: ИКТМК Німеччина, 2017. – 14 с.
9. Нінан Г. Г. Матеріали сонячної енергетики / Нінан Г. Г., Карта К. П., Віджаякумар К. П. – Керала: Університет Курали, 2016. – 233 с.
10. Танг Р. Колоїдні поверхні поділу / Танг Р., Чжан К., Ценг С. – Сан-Антоніо: Університет Ауер Леді оф Лейк, 2016. – 466 с.
11. Сурьяванші С. Р. Матеріали поверхневого поділу / Сурьяванші С. Р., Воруле С. С., Патіль С. С. – Пуна: Пуненський університет, 2015. – 130 с.
12. Вон Д. Д. Хімічні з'єднання / Вон Д. Д., Хенц О. Д. – Кембрідж: Массаччусетський технологічний інститут, 2012. – 132 с.
13. Гош Б. Прикладна енергетика / Гош Б., Дас М., Банерджи П. – Джадавпур: Школа енергетичних досліджень, 2008. – 254.
14. Трипаті А. М. RSC Advances / Трипаті А. М., Мітра С. – Бомбей: Індійський

технологічний інститут, 2014. – 136 с.

15. Абдельрахман А. Е. Синтез і характеристика моносольфідів олова / Абдельрахман А. Е., Юнус А. К. – Токіо: Японська спілка прикладної фізики, 2012. – 358 с.
16. Ванг Й. Фотовольтажна поведінка нанокристалів / Ванг Й., Гонг Х. – Сінгапур: Національний Університет Сінгапура, 2010. – 114 с.
17. Джаясрі Ю. Прикладні натуральні науки / Джаясрі Ю., Чалапаті У. – Делі: Університет Делі, 2012. – 258 с.
18. Джелло М. Тонкі плівки / Джелло М., Міккокі М., Релла Р. – Абакаліки: Університет Ебоні, 1987. – 148 с.
19. Аккарі А. Матеріальна наука / Аккарі А., Рехима М. – Пекін: Китайський народний університет, 2012. – 47 с.
20. Зуо З. Твердотільна електроніка / Зуо З., Занг Ф. – Бангкок: Національний центр нанотехнологій, 2011. – 88 с.
21. Бакуєва Л. Фотолюмінісцентні властивості плівок / Бакуєва Л., Матесон Д., Мусіхін С. – Хайдарабад: Університет Османії, 2002. – 211 с.
22. Джамали-Шейні Ф. Матеріали сонячної енергетики та сонячні батареї / Джамали-Шейні Ф., Черегізаде М., Юсефі Р. – Ахваз: Ісламський Азіатський Університет, 2016. – 154 с.
23. Уїтлз Т. Ж. Сталий розвиток хімії та інженерії / Уїтлз Т. Ж., Бертон Л. А., Скелтон Ж. М., Волш А. – Ліверпуль: Фізичний факультет Ліверпульського університета, 2016. – 562 с.
24. Монтазері А. Електроприводи / Монтазері А., Джамали-Шейні Ф. – Ахваз: Ісламський університет ім. Адаза, 2017. – 562 с.
25. Юсефі Р. Інноваційні дослідження матеріалів / Юсефі Р., Джамали-Шейні Ф., Заман Л. – Дублін: Дублінський технологічний інститут, 2016. – 127 с.
26. Джамали-Шейні Ф. Хімічні електронні матеріали / Джамали-Шейні Ф., Черегізаде М., Махмудіан М. Р. – Ахваз: Ісламський Азадський університет, 2017. – 486.
27. Кафашан Г. Комплексні сплави / Кафашан Г., Джамали-Шейні Ф., Ебрахмі-

Кахрізхангі Р. – Шанхай: Китайська академія наук, 2016. – 595 с.

28. Джамали-Шейні Ф. Електронні зв'язки / Джамали-Шейні Ф., Черегізаде М. – Ахваз: Ісламський Університет Азад, 2016. – 428 с.
29. Чакі С. Х. Дослідницький бюлетень матеріалів / Чакі С. Х., Чудхарі М. Д., Дешпанде М. П. – Валлаб Видьянагар: Аніверситет Сердар Патель, 2015. – 180 с.
30. Нігнія Ф. Електронні матеріали / Нігнія Ф., Джамали-Шейні Ф., Юсефі Р. – Ахваз: Ісламський Азіатський Університет, 2015. – 44 с.