

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Тетяна ДОНЦОВА

**МЕТАЛОКСИДНІ НАНОМАТЕРІАЛИ
І НАНОКОМПОЗИТИ
ЕКОЛОГІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

Монографія

Київ 2021

УДК 54.057+546.824-31+546.814-31+546.831.4+546.72+544.723
Д55

Рекомендовано до друку Вченою радою КПІ ім. Ігоря Сікорського Міністерства освіти і науки України (протокол № 1 від 29.01.2021 р.)

Рецензенти:

О. А. Півоваров, професор кафедри технології зберігання і переробки сільськогосподарської продукції Дніпровського державного аграрно-економічного університету, доктор технічних наук, професор;

О. В. Суворін, завідувач кафедри хімічної інженерії та екології Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, доктор технічних наук, професор;

А. Б. Гелеш, заступник завідувача кафедри хімії і технології неорганічних речовин Національного університету «Львівська політехніка», доктор технічних наук, доцент.

Донцова, Т.А.

Д55 Металоксидні наноматеріали і нанокомпозити екологічного призначення : монографія / Т.А. Донцова. – Київ : «Політехніка», 2021. – 323 с.

ISBN

У монографії розглянуто сучасний стан одержання та використання металоксидних наноматеріалів та нанокомпозитів на основі TiO_2 , ZrO_2 , SnO_2 , Fe_3O_4 для екологічних застосувань. Представлено результати характеристики (дифракційними методами аналізу, електронною скануючою та просвічуючою спектроскопією, ІЧ та Раман спектроскопією, рентгенівською фотоелектронною спектроскопією) отриманих різними методами синтезу як індивідуальних фаз TiO_2 , ZrO_2 , SnO_2 , Fe_3O_4 , так й композитів на їх основі. Показано, що методи синтезу та його параметри істотним чином впливають на текстурні характеристики та сорбційно-фотокаталітичні властивості. Виявлено позитивний вплив модифікації на цільові властивості металоксидних наноматеріалів. Підтверджено, що створення нанокомпозитів на основі TiO_2 , ZrO_2 , SnO_2 , Fe_3O_4 приводить до матеріалів з кращими властивостями у порівнянні з індивідуальними фазами за рахунок появи синергетичних ефектів. Експериментальні дослідження показали перспективність використання металоксидних наноматеріалів і нанокомпозитів у сорбційно-фотокаталітичних та сенсорних процесах. Розроблено уніфіковану схему отримання металоксидних наноматеріалів. Запропоновано технологічні режими одержання наноструктур різної морфології. Розроблено принципові технологічні схеми синтезу нанокомпозитів.

© Т. Донцова, 2021

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ВИРОБНИЦТВА ТА ВИКОРИСТАННЯ МЕТАЛОКСИДНИХ НАНОМАТЕРІАЛІВ І НАНОКОМПОЗИТІВ. ОСОБЛИВОСТІ ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕТАЛОКСИДНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	10
1.1 Виробництво наноматеріалів на основі оксидів металів екологічного призначення.....	10
1.1.1 Світове виробництво металоксидних наноматеріалів	10
1.1.2 Сучасний стан проблеми виробництва наноматеріалів на основі оксидів металів в Україні	12
1.1.3 Методи синтезу металоксидних наноматеріалів та наноконкомпозитів.....	14
1.2 Особливості використання оксидів металів та наноконкомпозитів на їх основі для екологічного призначення....	26
1.2.1 Наноматеріали на основі чистих оксидів металів	26
1.2.2 Наноконкомпозиційні металоксидні матеріали.....	30
1.3 Кристалохімічна характеристика оксидів металів та структура їх поверхні.....	35
1.3.1 Кристалохімічна структура.....	35
1.3.2 Структура поверхні оксидів металів	42
1.3.3 Поверхневі явища на оксидах металів.....	52
1.4 Вплив дисперсності та морфології на властивості оксидів металів	55
1.4.1 Особливості хімічних та фізичних характеристик в нанодисперсному діапазоні металоксидних частинок.....	58
1.4.2 Сорбційні, (фото)каталітичні та сенсорні властивості оксидів металів	60
1.4.3 Оптичні, електричні та магнітні властивості	64
1.5 Перспективи подальшого розвитку виробництва металоксидних наноматеріалів.....	70
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ СИНТЕЗУ ТА ХАРАКТЕРИЗАЦІЇ МЕТАЛОКСИДНИХ НАНОМАТЕРІАЛІВ	74
2.1 Вихідні реактанти і допоміжні матеріали.....	74

2.2 Методи одержання індивідуальних нанорозмірних оксидів металів	82
2.2.1 Термічний метод синтезу	82
2.2.2 Метод хімічного осадження.....	82
2.2.3 Гідро(сольво)термальний метод синтезу	85
2.2.4 Золь-гель метод	87
2.2.5 CVD метод	89
2.3 Способи модифікування отриманих металоксидних нанопорошків.....	90
2.4 Синтез металоксидних нанокompозитів	91
2.4.1 Одержання нанокompозитів на основі TiO_2	91
2.4.2 Одержання цирконійвмісних нанокompозитів.....	92
2.4.3 Одержання нанокompозитних матеріалів на основі SnO_2	92
2.4.4 Одержання магнітних нанокompозитів.....	93
2.5 Дослідження фізико-хімічних характеристик одержаних металоксидних наноматеріалів	94
2.5.1 Визначення хімічного складу зразків	94
2.5.2 Рентгенівські методи дослідження.....	94
2.5.3 Дослідження структури і морфології наноматеріалів електронною мікроскопією.....	95
2.5.4 Інфрачервона спектроскопія	95
2.5.5 Месбаурівська спектроскопія	95
2.5.6 Спектри комбінаційного розсіювання	95
2.5.7 Рентгенівська фотоелектронна спектроскопія (XPS)	96
2.5.8 Визначення пористої структури	96
2.6 Дослідження оптичних характеристик отриманих наноматеріалів	96
2.6.1 Оцінка розмірів наночастинок оксидів металів у розчинах	96
2.6.2 Розрахунок оптичної ширини забороненої зони	97
2.7 Дослідження поверхневих властивостей металоксидних наноматеріалів	97

2.7.1 Точка нульового заряду поверхні зразків.....	97
2.7.2 Визначення статистичної та динамічної обмінної ємності зразків наноматеріалів.....	98
2.7.3 Визначення кислотно-основних характеристик зразків наноматеріалів.....	98
2.8 Визначення сорбційних характеристик синтезованих наноматеріалів.....	100
2.8.1 Методики ідентифікації поллютантів у водних розчинах.....	100
2.8.2 Встановлення кінетичних закономірностей.....	101
2.8.3 Дослідження адсорбції поллютантів на зразках наноматеріалів.....	102
2.8.4 Термодинаміка процесу адсорбції.....	103
2.8.5 Магнітна сепарація сорбентів.....	104
2.8.6 Дослідження регенерації та утилізації відпрацьованих сорбентів.....	105
2.9 Визначення фотокаталітичної активності.....	106
2.10 Дослідження електричних та сенсорних властивостей...	106
2.11 Визначення магнітних характеристик.....	109
РОЗДІЛ 3 ХАРАКТЕРИЗАЦІЯ НАНОПОРОШКІВ ОКСИДІВ МЕТАЛІВ, ОТРИМАНИХ РІЗНИМИ МЕТОДАМИ.....	110
3.1 Титану (IV) оксид.....	110
3.2 Цирконію (IV) оксид.....	130
3.3 Стануму (IV) оксид.....	140
3.4 Феруму (IV) оксид.....	157
РОЗДІЛ 4 ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ВЛАСТИВОСТІ МОДИФІКОВАНИХ ОКСИДІВ МЕТАЛІВ ТА МЕТАЛОКСИДНИХ НАНОКОМПЗИТІВ.....	162
4.1. Модифіковані порошки оксидів металів.....	162
4.1.1 Модифікування титану (IV) оксиду рідкоземельними металами.....	162
4.1.2 Модифікування стануму оксиду Аргентумом.....	166
4.2 НанокOMPIЗИЦІЙНІ МЕТАЛОКСИДНІ МАТЕРІАЛИ.....	170
4.2.1 Композити титану оксиду з сульфідом кадмію.....	170

4.2.2 Композити титану (IV) оксиду з станумом (IV) оксидом	176
4.2.3 Композити стануму (IV) оксиду з вуглецевими нанотрубками	188
4.2.4 Композити цирконію (IV) оксиду з активованим вугіллям.....	192
4.2.5 Магнітні наноккомпозити	196
РОЗДІЛ 5 ЗАСТОСУВАННЯ ОТРИМАНИХ МЕТАЛОКСИДНИХ НАНОМАТЕРІАЛІВ	220
5.2 Сорбційно-фотокаталітичні властивості титанвмісних наноматеріалів	220
5.2 Сорбційні властивості металоксидних наноккомпозитів ...	238
5.2.1 Сорбційні властивості наноккомпозиту Активоване вугілля-ZrO ₂	238
5.2.1 Сорбційні властивості наноккомпозиту Сапоніт-Fe ₃ O ₄	244
5.3 Використання металоксидних наноструктур як чутливі шари газових сенсорів	220
РОЗДІЛ 6 ТЕХНОЛОГІЧНІ СХЕМИ СИНТЕЗУ НАНОМАТЕРІАЛІВ ТА НАНОКОМПОЗИТІВ	264
6.1 Уніфікована схема синтезу металоксидних наноматеріалів	264
6.2 Технологічні режими синтезу 0D та 1D наноструктур SnO ₂	272
6.2 Синтез наноккомпозиту Активоване вугілля-ZrO ₂	273
6.3 Синтез наноккомпозиту Сапоніт-Fe ₃ O ₄	276
ВИСНОВКИ.....	281
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	284