

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені В. Н. КАРАЗІНА

НАНОМАТЕРІАЛИ І НАНОТЕХНОЛОГІЇ

Навчальний посібник

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

Харків – 2014

УДК 539.51(075.8)
ББК 30.37+22.37я73
Н 35

Рецензенти:

Клименко С. А. – професор, доктор технічних наук, Інститут надтвердких матеріалів імені В. М. Бакуля НАН України, м. Київ;

Багмут О. Г. – професор, доктор фізико-математичних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків;

Лавриненко С. Д. – професор, доктор технічних наук, Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України, м. Харків.

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів
(лист № 1/11-12062 від 29.07.2014 р.)*

Н 35 **Наноматеріали** і нанотехнології: навчальний посібник / Азаренков М. О., Неклюдов І. М., Береснев В. М., Воєводін В. М., Погребняк О. Д., Ковтун Г. П., Соболев О. В., Удовицький В. Г., Литовченко С. В., Турбін П. В., Чишкала В. О. – Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2014. – 316 с.

ISBN 978-966-285-139-7

У навчальному посібнику наведено класифікацію нанорозмірних структур і проаналізовано їх властивості. Узагальнено відомості про проявлення розмірних ефектів у фізичних, механічних, термічних та інших властивостях наноструктурних матеріалів. Розглянуто основні методи отримання ізольованих наночастинок, ультрадисперсних порошків, компактних нанокристалічних, нанопористих і аморфних матеріалів, фулеренів, нанотрубок, а також наноструктурних покриттів. Коротко описані методи досліджень наноструктурних матеріалів. Викладено сучасні уявлення про формування наноструктурних, нанокompозитних покриттів, отриманих іонно-плазмовими методами осадження. Описано також растровий і просвічуючий позитронний мікроскопи для дослідження профілів вакансійних дефектів на глибині і сканування поблизу поверхні. Показано можливості застосування наноструктурних матеріалів і покриттів у техніці.

Для студентів, аспірантів та науковців.

УДК 539.51(075.8)
ББК 30.37+22.37я73

ISBN 978-966-285-139-7

© Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2014
© Азаренков М. О., Неклюдов І. М., Береснев В. М., Воєводін В. М., Погребняк О. Д., Ковтун Г. П., Соболев О. В., Удовицький В. Г., Литовченко С. В., Турбін П. В., Чишкала В. О., 2014
© Будник О. В., макет обкладинки, 2014

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	6
РОЗДІЛ 1 ФУНДАМЕНТАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ НАНОМАТЕРІАЛІВ	8
1.1. Елементи стандартизації для наномасштабного рівня структурної організації	8
1.2. Шляхи формування наноструктур	13
1.3. Класифікація наноматеріалів	16
1.4. Нанокристалічний структурний стан	18
1.5. Структура та функціональні особливості міжкристалітної границі в наноматеріалах	19
1.6. Фізичні причини специфіки властивостей наночастинок і наноструктурних матеріалів.....	25
1.7. Класифікація нанооб'єктів	27
1.8. Класифікація нанооб'єктів за їх розмірністю	28
1.9. Кластери	30
1.10. Зародження та зростання кластерів	34
1.11. Структурні особливості нанокластерного стану матеріалу.....	36
1.12. Особливості формування структури у нерівноважних умовах.....	43
Контрольні запитання.....	47
Література до розділу 1	48
РОЗДІЛ 2 АМОΡФНІ МАТЕРІАЛИ	50
2.1. Властивості аморфних металевих систем	58
2.2. Аморфні сплави.....	63
Контрольні запитання.....	70
Література до розділу 2	70
РОЗДІЛ 3 НАНОКОМПОЗИЦІЙНІ І НАНОПОРИСТІ МАТЕРІАЛИ	72
3.1. Наноконпозиційні матеріали	72
3.2. Нанопористі матеріали	79
Контрольні запитання.....	86
Література до розділу 3	87
РОЗДІЛ 4 ВУГЛЕЦЬ І ВУГЛЕЦЕВІ МАТЕРІАЛИ	89
4.1. Вуглець як хімічний елемент	89
4.1.1. Поширеність вуглецю в природі. Коротка історія відкриття та вивчення атомарного вуглецю	89
4.1.2. Будова атому вуглецю, гібридизація його атомних орбіталей і характер утворюваних ним зв'язків.....	90

4.2. Алотропні форми вуглецю та матеріали на їх основі	93
4.2.1. Графіт	94
4.2.2. Алмаз	97
4.2.2.1. Загальна характеристика алмазу	97
4.2.2.2. Історія отримання штучних алмазів	99
4.2.3. Карбін – наноалотропна форма вуглецю	101
4.2.4. Фулерени	104
4.2.4.1. Історія відкриття фулеренів	104
4.2.4.2. Види фулеренів, їх позначення та термінологія	108
4.2.4.3. Будова і властивості молекул фулеренів C ₆₀ та C ₇₀	110
4.2.4.4. Кристалічна будова і основні фізичні властивості фулеритів C ₆₀ та C ₇₀	114
4.2.4.5. Основні хімічні властивості фулеренів	119
4.2.4.6. Природні фулерени	123
4.2.4.6.1. Синтез похідних фулеренів	124
4.2.4.6.2. Виділення та розділення фулеренів	126
Контрольні запитання	128
Література до розділу 4	129

РОЗДІЛ 5 ПЛІВКИ І ПОКРИТТЯ З НАНОКРИСТАЛІЧНОЮ СТРУКТУРОЮ

5.1. Формування нанокристалічних плівок	134
5.1.1. Роль енергії у формуванні наноструктурних плівок	135
5.2. Особливості формування нанокристалічних покриттів	143
5.2.1. Вплив іонного бомбардування на формування покриттів	143
5.2.2. Процес змішування	145
5.2.3. Багатошарові покриття з наноструктурою	146
5.2.4. Нанокompозитні покриття	147
5.3. Нанокристалічні покриття з високою твердістю	149
5.4. Механічні властивості нанокристалічних покриттів	154
5.5. Вплив температури на властивості нанокристалічних покриттів	158
Контрольні запитання	162
Література до розділу 5	162

РОЗДІЛ 6 МЕТОДИ ОТРИМАННЯ НАНОМАТЕРІАЛІВ

6.1. Порошкова металургія отримання наноматеріалів	167
6.2. Отримання аморфних матеріалів	172
6.3. Методи з використанням інтенсивної пластичної деформації	176
6.4. Тонкоплівкові технології модифікації поверхні	177
6.4.1. Методи фізичного осадження з парової фази (PVD)	178
6.4.2. Методи хімічного осадження з парової фази (CVD)	194
6.5. Методи отримання фулеренів і нанотрубок	197

6.6. Пучки заряджених частинок низьких і середніх енергій в нанотехнологіях.....	221
6.6.1. Взаємодії прискорених заряджених частинок з резистивними матеріалами.....	222
6.6.2. Зондові системи формування пучків заряджених частинок	224
6.6.3. Взаємодія прискорених заряджених частинок із резистивними матеріалами.....	228
Контрольні запитання.....	231
Література до розділу 6	232
РОЗДІЛ 7 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ НАНОМАТЕРІАЛІВ	238
7.1. Методи структурного та хімічного аналізу нанооб'єктів.....	239
7.2. Позитронна анігіляційна спектроскопія.....	251
7.2.1. Позитронна мікроскопія.....	258
7.2.1.1. <i>Скануючий позитронний мікроскоп</i>	258
7.2.1.2. <i>Просвічуючий позитронний мікроскоп</i>	263
7.3. Механічні випробовування твердих тіл на нанотвердість.....	264
7.4. Триботехнічні випробовування нанокристалічних матеріалів	272
7.5. Термоаналітичні методи	273
Контрольні запитання.....	276
Література до розділу 7	277
РОЗДІЛ 8 ЗАСТОСУВАННЯ НАНОМАТЕРІАЛІВ.....	280
8.1. Застосування наноматеріалів у машинобудуванні, двигунобудуванні та автомобільній промисловості	282
8.2. Використання наноматеріалів в електроніці, оптоелектроніці та приладобудуванні	285
8.3. Застосування наноматеріалів в інформатиці	286
8.4. Використання наноматеріалів в енергетиці (у тому числі атомній)..	286
8.5. Застосування наноматеріалів в сільському господарстві	295
8.6. Застосування наноматеріалів в медицині та охороні здоров'я	295
8.6.1. Медичні нанороботи.....	296
8.6.2. Селективна хіміо- та радіотерапія.....	296
8.7. Використання наноматеріалів в екології.....	299
8.8. Використання наноматеріалів у військовій промисловості	300
8.9. Створення антифрикційних матеріалів	303
8.10. Наноструктурні надпровідники	305
8.11. Скло, підфарбоване колоїдними барвниками	305
8.12. Нанорозмірні гетероструктури	306
8.13. Наноплівки та двовимірні нанокристали	310
8.14. Використання фулеренів	312
Контрольні запитання.....	314
Література до розділу 8	314