

Міністерство освіти і науки України  
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імення Ігоря Сікорського»

О.Т. Богорош  
С.О. Воронов  
Р.І. Петришин  
В.М. Крамар  
О.Г. Шайко-Шайковський

# **СКЛО, СЕГНЕТОЕЛЕКТРИКИ, ГРАФЕН, ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНІ НАДПРОВІДНИКИ**

Частина 6

*Навчальний посібник*



Чернівці  
Чернівецький національний університет  
імені Юрія Федьковича  
2022

УДК 620.2(075.8)

С 43

Друкується за ухвалою Вченої ради  
Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича  
(протокол № 5 від 27.04.2022 року)

**Рецензенти:**

**О.Е. Васильєва**, професор кафедри прикладної математики і механіки  
Львівського державного університету безпеки  
життєдіяльності, доктор технічних наук, професор;

**Р.М. Пелешак**, професор кафедри фізики Дрогобицького державного  
педагогічного університету імені Івана Франка, доктор фіз.-  
мат. наук, професор.

С 43 Скло, сегнетоелектрики, графен, високотемпературні надпровід-  
ники. – Ч. 6: навч. посіб. /О.Т. Богорош, С.О. Воронов, Р.І. Петришин,  
В.М. Крамар, О.Г. Шайко-Шайковський. Чернівці : Чернівецьк. нац. ун-т  
ім. Ю. Федьковича. 2022. 312 с.

**ISBN 978-966-423-713-7**

Навчальний посібник – шоста частина із серії “Від традиційних до нових матеріалів” містить огляд сучасних підходів, шляхів і технологій створення перспективних матеріалів, призначених для використання у різних галузях науки і техніки. Потреба у таких матеріалах виникає, наприклад, у сучасних наукових дослідженнях, що здійснюються за екстремальних умов – надвисоких тисків, та температури.

Посібник присвячений для поглиблення знань здобувачів першого (бакалаврського), другого (магістерського) та третього (освітньо-наукового) рівнів вищої освіти з питань, важливих для розуміння сучасних тенденцій в розвитку матеріалознавства і машинобудування, конструюванні нових зразків техніки та розробці новітніх технологій. Кожний розділ посібника є автономним, що робить зручним його використання здобувачами різних рівнів вищої освіти та різних спеціальностей. У заключній частині кожного розділу міститься перелік питань для самостійного контролю глибини засвоєння навчального матеріалу.

Посібник може бути корисним для спеціалістів у галузі сучасного матеріалознавства та розробників сучасних технологій захисту поверхонь деталей машин, надання їм потрібних механічних, електричних, магнітних і оптичних властивостей.

**УДК 620.2(075.8)**

© Богорош О.Т., 2022

© Воронов С.О., 2022

© Петришин Р.І., 2022

© Крамар В.М., 2022

© Шайко-Шайковський О.Г., 2022

© Чернівецький національний університет  
імені Юрія Федьковича, 2022

ISBN 978-966-423-713-7

## ЗМІСТ

Вступ.....	8
1.Новітні полімерні матеріали та сегнетоелектрики.....	10
1.1.Полілактид.....	10
1.1.1. Виробництво.....	11
1.1.2. Властивості.....	13
1.1.3. Застосування.....	15
1.1.4. Властивості біодеградації.....	20
2. SHRILK.....	23
2.1. Опис.....	23
2.2. Застосування.....	24
2.3. Забруднення та недоліки матеріалу.....	25
2.4. Висновки та перспективи.....	26
Контрольні питання.....	27
3.Сегнетоелектрики полівінілденфториду (ПВДФ).....	29
3.1. Основна частина та загальні відомості.....	29
3.1.1. Полівінілденфторид.....	31
3.1.2. Гнучка пам'ять сегнетоелектричного полімеру.....	34
3.1.3. Сегнетоелектричні польові транзистори.....	36
3.1.4. Пам'ять сегнетоелектричного конденсатора на основі наноструктур.....	40
3.1.5. Сегнетоелектрична резистивна пам'ять.....	44
3.1.6. Сегнетоелектричні полімерні перетворювачі Енергії.....	46
3.2. Пристрої для збирання енергії.....	46
3.2.1. Багатофункціональні датчики.....	50
3.2.2. Висновки та перспективи.....	55
Контрольні питання.....	57
4. Скло, ситали.....	60
4.1. Загальні відомості.....	60
4.2. Скло та інші матеріальні вироби на основі розплавів.....	62
4.3. Скло та його властивості.....	63
4.4. Виробництво ситалів.....	64
4.4.1. Види ситалів.....	66
4.4.2. Схема режиму термообробки скла для отримання ситалів.....	69
4.4.3. Використання ситалів.....	70

4.4.4. Електроізоляційні ситали .....	71
4.4.5. Використання ситалів в ювелірній справі .....	71
4.4.6. Стоматологічні ситали.....	73
4.5. Висновок .....	75
Контрольні питання.....	76
5. Моноалюмінід нікелю NiAl.....	79
5.1. Вступ, загальні відомості .....	79
5.2. Бета-фаза на основі моноалюмініду нікелю .....	80
5.2.1. Легування β-фази.....	87
5.2.2. Дифузія в β-фазі.....	91
5.3. Мартенситне перетворення в системі Ni-Al.....	94
5.3.1. Структурні особливості мартенситного Перетворення β-фази різного ступеня пересичення нікелем, кобальтом, хромом .....	99
5.3.2. Леговані мартенситні сплави на основі β-фази.....	106
5.4. Висновок .....	108
Контрольні питання.....	108
6. Аморфний літій.....	110
6.1. Вступ. Загальні відомості .....	110
6.2. Літійфосфороксинітрид (LiPON) .....	111
6.3. Аморфний оксид на основі LiSiCON.....	123
6.4. Висновки .....	136
6.5. Рекомендації .....	137
Контрольні питання.....	137
7. Штучні композиційні матеріали .....	139
7.1. Вступ. Загальні відомості .....	139
7.2. Будова композиційних матеріалів .....	140
7.3. Дисперсно-зміцнені композиційні матеріали .....	142
7.4. Будова волокнистих композиційних матеріалів.....	144
7.5. Види і властивості волокнистих ущільнювачів.....	145
Контрольні питання.....	147
8. Антифрикційні матеріали .....	149
8.1. Природа фрикційності та антифрикційності.....	149
8.2. Металеві антифрикційні матеріали .....	150
8.3. Природні антифрикційні матеріали .....	151
8.4. Полімерні антифрикційні матеріали .....	152
8.5. Термопластичні матеріали .....	153

8.6. Термореактивні полімерні матеріали .....	159
8.7. Самозмазуючі полімерні композитні матеріали.....	165
8.8. Металокерамічні антифрикційні матеріали .....	168
8.9. Антифрикційні покриття.....	168
8.10. Висновок .....	169
Контрольні питання.....	172
9. Графен у галузях промисловості.....	172
9.1. Вступ. Загальні відомості .....	172
9.2. Будова графену .....	173
9.3. Отримання графену.....	174
9.4. Властивості графену .....	174
9.4.1. Електронні властивості .....	175
9.4.2. Оптичні властивості .....	176
9.5. Використання графену.....	176
9.5.1. Перспективи в електроніці .....	176
9.5.2. Використання в акумуляторах .....	177
9.5.3. Безпілотники .....	177
9.6. Потенційні можливості використання графену.....	177
9.6.1. Електроніка.....	177
9.6.2. Оптоелектроніка .....	181
9.6.3. Дослідження космосу .....	183
9.6.4. Очищення води .....	184
9.6.5. Автомобілебудування.....	186
9.6.6. Медицина.....	187
9.6.7. Промисловість.....	189
9.6.8. Військово-промисловий комплекс .....	190
9.7. Небезпека графену.....	190
9.8. Висновки.....	191
Контрольні питання.....	191
10. Особливості феромагнітних 2D матеріалів на прикладі CrI <sub>3</sub> (об'ємний трійодид хрому CrI <sub>3</sub> ).....	194
10.1. Вступ. Загальні відомості .....	194
10.1.1. Особливості виготовлення CrI <sub>3</sub> .....	195
10.1.2. Електричні властивості .....	202
10.1.3. Оптичні властивості .....	206
10.2. Висновки.....	213
10.3. Рекомендації.....	214

Контрольні питання.....	215
11. Напівпровідники PEDOT:PSS .....	217
11.1. Вступ. Загальні відомості .....	217
11.2. Властивості PEDOT:PSS .....	218
11.2.1. Термоелектричні властивості.....	218
11.2.2. Оптичні властивості.....	219
11.3. Застосування PEDOT:PSS.....	219
11.3.1. Використання органічних полімерів в електроніці .....	219
11.3.2. Використання в медицині.....	221
11.3.3. Використання PEDOT:PSS в органічних сонячних батареях.....	222
11.4. Переваги та недоліки PEDOT:PSS .....	224
11.5. Висновок .....	224
Контрольні питання.....	225
12. Високотемпературні надпровідники .....	227
12.1. Вступ. Огляд літератури .....	227
12.2. Високотемпературні надпровідники.....	227
12.2.1. Поведінка надпровідників в зовнішніх магнітних полях. Надпровідники другого роду .....	231
12.2.2. Поведінка тонких плівок ВТНП у магнітному полі. Модель Коффі-Клема .....	238
12.3. Вимірювання характеристик високотемпературних надпровідників .....	243
12.3.1. Методика вимірювання поверхневого імпедансу і аналіз вимог до вимірювальних резонаторів.....	243
12.3.2. Атестація плівок по НВЧ втратам .....	246
12.4. Висновки.....	249
Контрольні питання.....	249
13. Високотемпературні надпровідникові матеріали.....	251
13.1. Вступ. Загальні положення.....	251
13.2. Фізика надпровідних матеріалів.....	252
13.2.1. Теорія Бардина – Купера – Шріффера .....	253
13.2.2. Класифікація надпровідних матеріалів за магнітними властивостями .....	253
13.2.3. Класифікація надпровідних матеріалів.....	256
13.2.4. Магнітні явища у надпровіднику.....	258

13.3. Високотемпературна надпровідність.....	260
13.3.1. Природа високотемпературної надпровідності.....	262
13.3.2. Високотемпературні надпровідні матеріали ....	262
13.3.2.1. Купрати.....	264
13.3.2.2. Надпровідники на основі заліза.....	264
13.4. Приклади використання надпровідників.....	265
13.4.1. Надпровідні магніти.....	267
13.4.2. Контакти Джозефсона .....	267
13.4.3. Надпровідниковий електродвигун .....	271
13.5. Висновок.....	272
Контрольні питання.....	273
14. Провідні досягнення в науці. Спінкові асиметрії для утворення слабких бозонів .....	274
14.1. Вступ. Загальна інформація.....	276
14.2. Розуміння тонких плівок.....	279
14.3. Топологічні ізолятори .....	285
14.3.1. Конструкція .....	287
14.3.2. Як працює лазер .....	288
14.4. Висновки.....	289
Контрольні питання.....	290
Література .....	293