

Д. М. Заячук



НИЗЬКОРОЗМІРНІ СТРУКТУРИ І НАДГРАТКИ



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”

Д.М. Заячук

НИЗЬКОРОЗМІРНІ СТРУКТУРИ І НАДГРАТКИ

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів
вищих навчальних закладів, які навчаються
за спеціальністю “Мікроелектроніка
та напівпровідникові прилади ”*

Львів
Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”
2006

ББК 32.843.3+32.85

З 409

УДК 621.382

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів,
які навчаються за спеціальністю "Мікроелектроніка
та напівпровідникові прилади "*
(лист № 14/18.2-507 від 27.02:2006р.)

Рецензенти:

Мельничук С.В., доктор фізико-математичних наук, професор,
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича;
Стахіра Й.М., доктор фізико-математичних наук, професор,
Львівський національний університет імені Івана Франка

Заячук Д.М.

З 409 Низькорозмірні структури і надгратки: Навч. посібник. -
Львів: Видавництво Національного університету "Львівська
політехніка", 2006. - 220 с.

ISBN 966-553-515-3

Викладено основи сучасних нанотехнологій, підходи до вирощування низькорозмірних квантових структур типу квантових шарів, квантових ниток, ансамблів квантових точок, фулеренів, нанотрубок. На фоні сучасних досягнень нанотехнологій у виготовленні зазначених структур розглядаються їх основні фізичні характеристики, специфіка і неповторність властивостей, зумовлених вимірністю систем, аналізуються спільні ознаки і характерні відмінності, їх природа і можливі пояснення. Розглянуто також складні композиції низькорозмірних структур - надгратки, формування їх енергетичного спектра, фізичні властивості та перспективи практичного використання.

Призначений для студентів технічних та фізичних спеціальностей вищих навчальних закладів.

ББК 32.843.3+32.85

© Заячук Д.М., 2006

© Національний університет
"Львівська політехніка", 2006

ISBN 966-553-515-3

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	5
ВСТУП.....	7
1. НАНОТЕХНОЛОГІЇ.....	14
1.1. Молекулярно-променева епітаксія (МПЕ).....	14
1.2. Газофазна епітаксія з металоорганічних сполук (МОС гідридна епітаксія).....	26
1.3. Методи одержання квантових ниток.....	33
1.3.1. Створення квантових ниток за допомогою МПЕ і електронної літографії.....	33
1.3.2. Використання електричного поля для створення квазіодновимірних провідних каналів.....	35
1.3.3. Використання профільованих поверхонь для створення квантових ниток.....	36
1.4. Методи одержання квантових точок.....	41
2. НИЗЬКОРОЗМІРНІ СТРУКТУРИ.....	49
2.1. Потенціальна яма. Енергетичний спектр частки в потенціальній ямі.....	49
2.2. Мірність системи і густина станів.....	60
2.3. Двовимірні структури.....	70
2.3.1. Двовимірні кристали.....	71
2.3.2. Двовимірні системи: дальній порядок і теплові флуктуації.....	78
2.3.3. Тонкі кристалічні плівки.....	80
2.3.4. Особливості кінетичних властивостей тонких плівок.....	84
2.4. Двовимірні електрони. Системи з двовимірними електронами.....	92
2.4.1. Двовимірний електронний газ у гетеропереході.....	93
2.4.2. Двовимірний електронний газ у квантовій ямі.....	97
2.4.3. Двовимірний електронний газ в інверсійних шарах польових транзисторів.....	99
2.5. Енергетичний спектр електронів у сильному магнітному полі. Рівні Ландау.....	102
2.6. Квантовий ефект Холла.....	108
2.6.1. Цілочисловий квантовий ефект Холла.....	118

2.6.2. Метрологічні застосування квантового ефекту Холла.....	125
2.6.3. Дробовий квантовий ефект Холла.....	127
2.7. Одновимірні структури.....	134
2.7.1. Одновимірні кристали. Перехід Пайерлса.....	134
2.7.2. Одновимірні електрони. Квазіодновимірні електронні системи.....	137
2.8. Нульвимірні структури.....	140
2.9. Фулерени і нанотрубки.....	145
3. НАПІВПРОВІДНИКОВІ НАДГРАТКИ.....	154
3.1. Композиційні надгратки.....	157
3.2. Леговані надгратки.....	162
3.3. Композиційні леговані надгратки.....	164
3.4. Енергетичний спектр надграток.....	168
3.5. Перехід напівметал-напівпровідник у надгратках.....	175
4. ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НАДГРАТОК.....	179
4.1. Густина станів у надгратках.....	179
4.2. Концентрація вільних носіїв заряду в надгратках.....	183
4.3. Оптичні властивості надграток.....	187
4.3.1. Внутрізонні переходи.....	191
4.3.2. Міжзонні переходи.....	196
4.4. Електропровідність надграток.....	201
4.5. Вольт-амперні характеристики надграток.....	204
4.6. Високочастотна провідність надграток у сильному електричному полі.....	213
ЛІТЕРАТУРА.....	218