

УДК 621.315.592

Дмитро Фреїк, Володимир Чобанюк

*Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,
м. Івано-Франківськ, Україна*

НАПІВПРОВІДНИКОВІ НАНОСТРУКТУРИ І ПРОБЛЕМИ ТЕРМОЕЛЕКТРИКИ

В останні роки виник новий напрям покращення термоелектричних характеристик матеріалів, в якому було досягнуто прогресу і який дав новий імпульс відповідним дослідженням у цій області. Даний підхід полягає у використанні просторово-неоднорідних структур із включеннями, розміри яких порівняльні з характерними довжинами хвиль електронів і фононів, тобто знаходяться у нанометровій області. Зменшення розмірів системи до нанометрового масштабу викликає різкі відмінності в густині електронних станів, що створює нові можливості для варіації S , σ і k квазінезалежно. Складові нанометрового розміру спричиняють квантово-розмірний ефект (КРЕ), який підвищує коефіцієнт потужності $S^2\sigma$, а компонування внутрішніх границь в наноструктурі дозволяє зменшити теплопровідність в порівнянні з електропровідністю, що базується на відмінностях між фононою і електронною довжинами розсіювання. На цій основі створюють системи з квантовими ямами, дротами, точками та різноманітні композити з невпорядкованими включеннями нанометрового розміру[1,2]. При цьому слід виділити наступні дві стратегії:

1. Використання квантово-розмірних явищ для підвищення коефіцієнту Зеєбека S та для контролю S і електропровідності σ як в деякій мірі незалежних параметрів;

2. Введення багатьох меж, що розсіюють фонони більш ефективно ніж електрони, а також розсіюють переважно ті фонони, які мають найбільший вклад у теплопровідність.

Названі дві стратегії ґрунтуються на трьох концепціях:

- "carrier-pocket" інженерія;
- дроселювання носіїв струму за енергіями;
- перехід напівметал-напівпровідник (НМНП-перехід).

Концепція технології "carrier-pocket" була введена для квантового обмеження носія одного типу в області квантової ями і носія іншого типу – в області бар'єру.

Енергетичне дроселювання носіїв полягає у введенні відповідних меж у вигляді границь, які обмежують енергію носіїв, що входять в матеріал. На межі носії з середньою енергією істотно вищою за рівень Фермі E_F будуть переважно проходити через неї, тим самим підвищуючи термо-е.р.с., яка залежить від надлишку їх енергії ($E-E_F$).

Перехід від напівметалу до напівпровідника характерний для нанодротів Ві. При зменшенні розміру напівметалічного нанодроту, коли енергетичні зони

розщеплюються на окремі підзони, край найнижчої підзони провідності рухається вгору по енергії в той час як край найвищої валентної підзони рухається вниз. За цих умов у матеріалі має місце перехід від напівметалу до напівпровідника із забороненою зоною.

У роботі представлено аналіз нових підходів для покращення термоелектричних параметрів наноструктур. Визначено оптимальні параметри надґраток квантових точок, дротів, ям, а також нанокомпозитних матеріалів для досягнення максимального значення термоелектричної добротності ZT . Так, зокрема, у випадку надґраток квантових ям в якості об'єктів використовують досить багато сполук та їх комбінацій в гетероструктурах [3]. Крім того, експериментальні дані для товщинних залежностей термоелектричних параметрів у наноструктурах на основі сполук IV-VI демонструють немонотонний осциляційний характер з деяким періодом коливань, що дає можливість визначити енергетичну характеристику структури - енергію Фермі та судити про вплив квантово-розмірних ефектів на електронну підсистему наноструктур [4].

В 2010 р. у теоретичних роботах В. Фоміна і П. Кратзера було виявлено високу чутливість коефіцієнта ZT до значення енергії Фермі i , відповідно, концентрації носіїв у СКТ InAs/GaAs. Так, при певних значеннях енергії Фермі величина ZT СКТ InAs/GaAs практично рівна нулю, а при інших, досить близьких до попередніх, значеннях TE добротність досягає значення $ZT = 3$

На базі експериментальних даних для термоелектричних властивостей квантово-розмірних структур можна стверджувати, що у таких системах має місце різке зниження ґраткової теплопровідності, а також ріст коефіцієнта Зеєбека. При цьому згідно з теоретичними передбаченнями для випадку нанодротів термоелектрична добротність досягає значення $ZT = 8.1$.

Для розуміння шляхів покращення термоелектричної добротності основна задача на сьогодні полягає у розробці теоретичних моделей впливу квантово-розмірних ефектів на електронну і фононну підсистему наноструктур. Необхідною умовою досягнення бажаної термоелектричної добротності є розробка технології отримання наноструктур із заданим середнім розміром часток, розподілом їх за розмірами та густиною, які повинні підтримуватись як на етапі створення і обробки, так і протягом часу експлуатації.

1. J.H. Davies, *The physics of low-dimensional semiconductors. An introduction* (Cambridge university press, 1998). – 451 p.
2. M.S. Dresselhaus, G. Ghen, M.I. Rang, R. Yang, H. Lee, D. Wang, Z. Ren, J-P. Fleurial, P. Gogna, *Adv. Mater.* **19**, 1043 (2007).
3. A. Casian, I. Sur, H. Scherrer, Z. Dashevsky, *Phys. Rev. B* **61**, 15965 (2000).
4. D.M. Freik, I.K. Yurchyshyn, V.M. Chobaniuk, R.I. Nykyruy, Yu.V. Lysiuk, *Sensor Electronics and Microsystem Technologies* **1**, 41 (2011).