

У цій формулі τ_i – це компоненти діагонального тензора, який має розмірність часу, а його компоненти розраховуються за формулою

$$\frac{1}{\tau} = \int \frac{P_i - P_i'}{P_i}, \quad (37)$$

де $W(P, P')$ — квантово-механічна імовірність розсіювання. Тому розрахунок цих величин — це квантово-механічні проблеми фізики твердого тіла.

Висновок

На закінчення відмітимо, що основними елементами наведеної теорії є статистична сума кристалічної ґратки, закон дисперсії та тензори розсіювання, через посередництво яких механізми розсіювання впливають на кінетичні властивості кристалів. Ця теорія побудована на методі, альтернативному до методу кінетичного рівняння Больцмана, на якому побудована традиційна теорія кінетичних властивостей кристалів.

[1] Буджак Я.С. Исследование явлений переноса в полупроводниках со сложным зонным спектром: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Л., 1985.

[2] Budjak J.S. New approach in the Kinetic Theory Of Crystal Properties. Statistical Physics and Phase Transitions // Phys. in Ukraine. Inter. Conference. Kiev, 22-27 June 1993.

УДК 621.315

Венгрин Б.Я., Костробій П.П., Петров П.П.

ДУ “Львівська політехніка”, кафедра вищої математики

ПРОЦЕСИ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ ЯВИЩ У КВАЗІДВОВИМІРНИХ ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВІ КВАНТОВИХ ЯМ

© Венгрин Б.Я., Костробій П.П., Петров П.П., 2000

Наведено результати розрахунків залежності питомої електропровідності і теплопровідності від концентрації розсіювальних центрів у напівпровідниковій квантовій ямі. Показано, що електропровідність і теплопровідність системи квазідвовимірних електронів монотонно зменшуються зі зростанням концентрації розсіювальних центрів.

The results of calculations of dependences specific electroconductivity and thermoconductivity on concentration of scattering centers in quantum well are presented. It was shown, that the electroconductivity and the thermoconductivity of system of quasi two-dimensional electrons decrease monotonously with the increase of concentration of scattering centers.

Вступ

Дослідження фізичних властивостей квазідвовимірних систем заряджених частинок, локалізованих в квантових ямах, належить до пріоритетних напрямків сучасної фізики низькорозмірних структур і становить значний інтерес для матеріалознавства електронної техніки [1–7]. Важливе значення при цьому має створення адекватного математичного апарату для опису квазідвовимірних електронних систем, серед яких великий інтерес становлять напівпровідникові структури і надгратки [4–8]. З-поміж останніх треба відзначити структури з електронними системами низької розмірності на основі вузькощілинних напівпровідників типу $A^{IV}B^{VI}$, які є важливими та перспективними матеріалами для детекторів та напівпровідникових лазерів інфрачервоного діапазону спектра [9–10].

Сучасна твердотільна мікротехнологія досягла високих можливостей у створенні штучних твердотільних систем, зокрема на основі сполук $PbTe$, $SnTe$ та їх твердих розчинів [11-12]. У зв'язку з цим зростає роль проблеми попереднього визначення оптимального складу та просторових параметрів структур, виходячи з вимог отримання необхідних технічних характеристик математичним моделюванням. Під час вирішення цієї проблеми досить ефективним є проведення попередніх теоретичних досліджень. Це дає змогу значно скоротити обсяги та тривалість експериментальних і технологічних робіт під час розробки нових матеріалів електронної техніки.

Результати досліджень

Ми наводимо результати вивчення поведінки залежності питомої електропровідності та теплопровідності системи квазідвовимірних електронів, локалізованих у квантовій ямі, від концентрації домішкових точкових розсіювальних центрів. У роботі прийнята модель короткодійних домішкових центрів типу δ -потенціалу, тобто вважається, що в ямі існують короткодійні потенціальні центри.

Вираз для питомої електропровідності з врахуванням просторового квантування отримано в роботі [13]

$$\sigma_e = \sigma_{xx} = \frac{4e^2 v^2}{\pi \hbar N_i V_0^2} \sum_n \frac{\mu^2 - \varepsilon_n^2}{\mu^2 + \varepsilon_n^2}, \quad (1)$$

де μ – рівень Фермі; ε_n – рівні енергії електронів в квантовій ямі (розрахунок ε_n рівнів просторового квантування зроблено для моделі квантової ями на основі вузькощілинних напівпровідників $A^{IV}B^{VI}$ [14]); N_i , V_0 – відповідно концентрація розсіювальних центрів та їх потенціал; v – параметр міжзонної $(\mathbf{k} - \mathbf{p})$ взаємодії. Особливий інтерес становить розрахунок основної характеристики, як-то залежності електропровідності від концентрації розсіювальних центрів. Поведінка хімпотенціалу μ від концентрації вільних електронів розрахована в роботі [15]

$$n = \frac{2}{\pi v^2} \sum_{i=1} (\mu^2 - \varepsilon_i^2) \Theta(\mu - \varepsilon_i), \quad (2)$$

де підсумовування відбувається по всіх заповнених рівнях просторового квантування.

Оскільки ці значення визначають поведінку термо-ЕРС [2]

$$\alpha_e = -\frac{\pi^2 k_0}{3e} k_0 T \frac{\partial}{\partial \mathcal{E}} \ln \sigma_e(\mathcal{E}) \Big|_{\mu} \quad (3)$$

та теплопровідності [16]

$$\kappa_e = \sigma_e \left(\frac{T}{3} \left(\frac{\pi k_0}{e} \right)^2 - \alpha_e^2 T \right), \quad (4)$$

необхідно обчислити залежність електропровідності від концентрації домішкових розсіювальних центрів. Результати таких розрахунків показано на рис. 1.

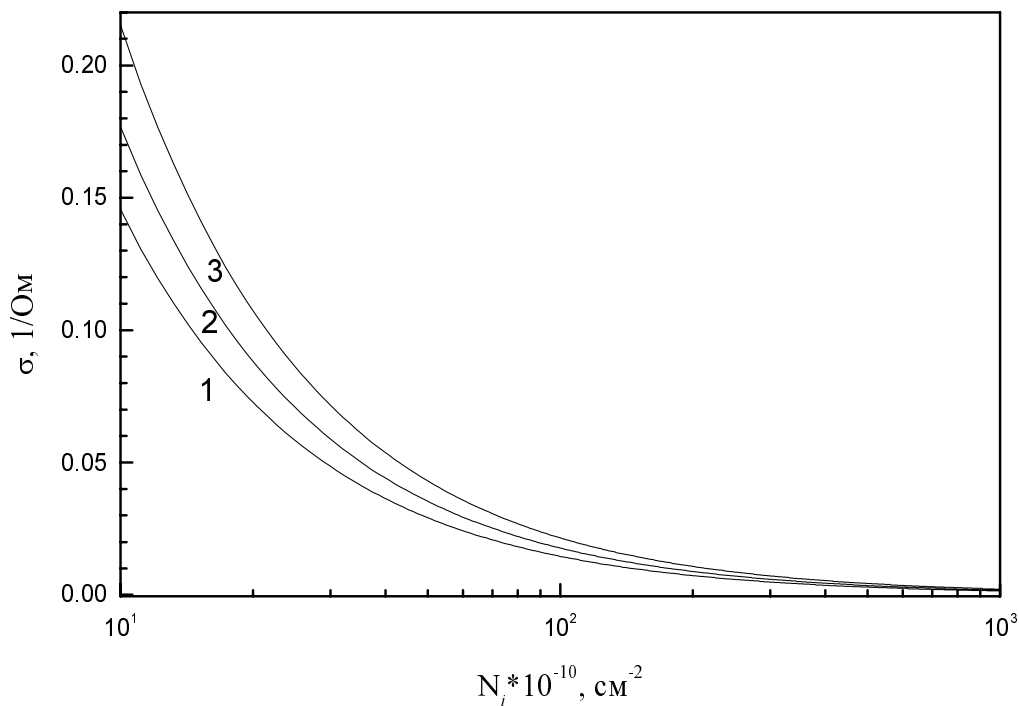


Рис.1. Залежність електропровідності від концентрації розсіювальних центрів у квантовій ямі. Криві 1, 2, 3 відповідають значенням ширини забороненої зони в твердих розчинах PbSnTe 40, 60 та 80 меВ при ширині квантової ями 300 Å.

Як видно, електропровідність спадає зі зростанням концентрації розсіювальних центрів. Це узгоджується з загально відомими результатами з розсіювання електронів на точкових потенціальних центрах.

На рис.2 показані результати числових розрахунків залежності теплопровідності від концентрації розсіювальних центрів.

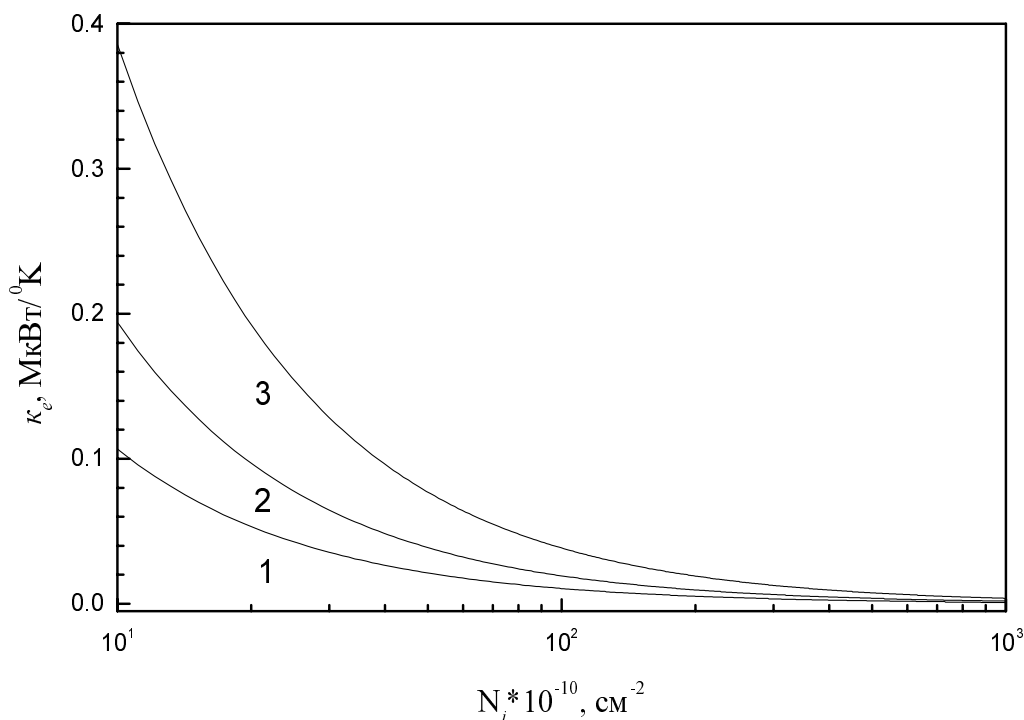


Рис.2. Залежність теплопровідності від концентрації розсіювальних центрів у квантовій ямі. Криві 1, 2, 3 відповідають значенням ширини забороненої зони в твердих розчинах

PbSnTe 40, 60 та 80 меВ при ширині квантової ями 300 Å.

Як видно з рис.1 та 2, питома електропровідність та теплопровідність суттєво залежать від енергетичної структури квантової ями. Врахування концентрації розсіювальних центрів зроблено вище. Обидва ці явища необхідно враховувати під час вивчення фізичних явищ у системах квазідвовимірних електронів та розрахунках технічних характеристик приладів на їх основі.

Висновки

Вивчення поведінки електропровідності залежно від концентрації розсіювальних центрів дало змогу промодельовати числовими методами залежність теплопровідності від концентрації розсіювальних центрів з використанням співвідношення (4). При цьому отримано числові значення електро- та теплопровідності в структурах на основі напівпровідникових квантових ям, утворених сполуками типу $A^{IV}B^{VI}$.

[1] Мотт Н.Ф., Дэвис Э. Электронные процессы в некристаллических веществах. М., 1974.

[2] Блатт Ф. Физика электронной проводимости в твердых телах. М., 1971.

[3] Аскеров Б.М. Кинетические эффекты в полупроводниках. М., 1970.

[4] Силин А.П. // УФН. 1985. 147. № 3. С.485–521.

- [5] Херман М. Полупроводниковые сверхрешетки. М., 1989.
- [6] Smith D.L., Mailhot C. // Rev. Mod. Phys. 1990. Vol.62. № 1. P.173–234.
- [7] Андо Т., Фаулер А., Стерн Ф. Электронные свойства двумерных систем. М., 1985.
- [8] Берченко Н.Н., Ижнин И.И., Войцеховский А.А. и др. // Зарубежная электронная техника. 1989. №3. С.27–61.
- [9] Partin D.L. // Superlatt. and Microstr. 1985. Vol.1. № 2. P.131–135.
- [10] De Dios Leyva M., Lopez Gondar J. // Phys. Stat. Sol. (b). 1986. Vol.138. № 1. P.253–257.
- [11] Bauer G., Clemens H. // Semicond. Sci. Technol. 1990. Vol.5. P.122–130.
- [12] Bauer G. // Surf. Sci. 1986. Vol.168. P.462–472.
- [13] Петров П.П. // Вісн. ДУ “Львівська політехніка”. 1998. № 357. С.70–74.
- [14] Венгрин Б.Я., Костробій П.П., Петров П.П. // Вісн. ДУ “Львівська політехніка”. 1999. № 382. С.67–70.
- [15] Dugaev V.K., Petrov P.P. // Phys. Stat. Sol. (b). 1994. 184. № 2. P.347–354.
- [16] Дугаев В.К., Петров П.П. // ФТП. 1989. 23. № 3. С.488–492.

УДК 537.311.33

Дружинін А.О., Мар’ямова І.Й., Панков Ю.М., Ховерко Ю.М.

ДУ “Львівська політехніка”, кафедра напівпровідникової електроніки

ЭФЕКТ П’ЄЗО-ЗЕЕБЕКА В КРЕМНІЙ Р-ТИПУ

© Дружинін А.О., Мар’ямова І.Й., Панков Ю.М., Ховерко Ю.М., 2000

Представлені результати експериментальних досліджень ефекту Зеєбека під впливом деформації в кремнії р-типу. Леговані бором кремнієві мікрочастинки вирощені з газової фази в поздовжньому [111] напрямку були використані для вимірювань як модельний матеріал. Отримане значення 40...50 поздовжнього коефіцієнта еласто-Зеєбека для кристалів кремнію р-типу з питомим опором $\rho \approx 0,02 \text{ } \Omega \times \text{cm}$ добре узгоджується з теоретичними оцінками. Порівняно ефект п’єзо-Зеєбека і п’єзорезистивний ефект для цих кристалів. Значення коефіцієнта п’єзо-Зеєбека (еласто-Зеєбека) є в два рази меншим, ніж поздовжній коефіцієнт п’єзоопору (еластоопору) в цих кристалах.

The results of experimental investigation of Seebeck effect under strain in p-type silicon are presented. Boron doped silicon microcrystals grown from the vapour phase with the longitudinal [111] crystallographic axes were used for measurements as a model material. The obtained value 40...50 of the longitudinal elasto-Seebeck coefficient for p-type Si crystals with $\rho \approx 0,02 \text{ } \Omega \times \text{cm}$ is in a good agreement with theoretical estimation. The comparison of piezo-Seebeck effect and piezoresistance effect in these crystals is carried out. The value of longitudinal piezo-Seebeck (elasto-Seebeck) coefficient is approximately two times smaller, than the longitudinal piezoresistance coefficient (elastoresistance) in these crystals.