

УДК 621.382.3

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МОЛЬНОГО СКЛАДУ НА РУХЛИВІСТЬ
ЕЛЕКТРОНІВ В АРСЕНІДІ АЛЮМІНІЮ-ГАЛІЮ

Саурова Т. А., Шпиченко В. С.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: saurowa-ee@iit.kpi.ua; shpichenko-ee25@iit.kpi.ua

Вдосконалення технології вирощування багатокомпонентних напівпровідників та дослідження потенційних можливостей їх застосування сприяють розробці напівпровідникових приладів з покращеними характеристиками. Арсенід алюмінію-галію є перспективним трикомпонентним напівпровідником з точки зору відповідності кристалічних ґраток, що викликало всебічне дослідження матеріалу з метою створення на його основі високоєфективних електронних та оптоелектронних приладів. Прогнозування перспектив створення приладів на основі тих чи інших матеріалів вимагає ґрунтового знання насамперед їх електричних властивостей.

Зазначимо, що у науково-технічній літературі недостатньо розкрито можливості моделювання рухливості електронів в арсеніді алюмінію-галію. Метою роботи є моделювання залежності рухливості електронів твердого розчину $Al_xGa_{1-x}As$ від мольного складу x .

Моделювання проведено методом релаксаційних рівнянь; на основі тридолинної моделі зони провідності. Наведена методика та проведено чисельний експеримент з визначення залежності рухливості носіїв заряду від мольного складу x твердого розчину. Звертається увага на особливість моделювання процесів міждолинного нееквівалентного розсіювання, що відповідає суттєвому зближенню енергетичних долин один до одного. Отримано модельну залежність холівської рухливості електронів в $Al_xGa_{1-x}As$ у повному діапазоні значень мольного складу та зіставлено її з експериментальними результатами. Наведені додаткові результати моделювання, що сприяють розумінню процесів, які призводять до появи специфічної особливості залежності рухливості електронів від мольного складу $Al_xGa_{1-x}As$.

Визначено набір вихідних параметрів моделювання, який забезпечує хорошу відповідність до експериментальних результатів, розглянутих у роботі. Отримані результати чисельного моделювання відкривають можливості до додаткових досліджень властивостей арсеніду алюмінію-галію. Запропоновано методику моделювання залежності рухливості носіїв заряду від мольного складу для трикомпонентних твердих розчинів.

Ключові слова: AlGaAs; арсенід алюмінію-галію; рухливість електронів; мольний склад; метод релаксаційних рівнянь.

Вступ

Вдосконалення технології вирощування багатокомпонентних напівпровідників та дослідження потенційних можливостей їх застосування сприяють розробці напівпровідникових приладів з покращеними характеристиками [1 – 3]. Багатокомпонентні напівпровідники (AlGaAs, AlGaIn, AlInN, GaInN, AlGaP, AlInP, GaInP, AlGaInAs, GaInNP, AlInNSb та інші), також звані твердими розчинами, приваблюють розробників приладів унікальною особливістю; зміною властивостей матеріалу залежно від мольного складу (стехіометричного індексу) x . Арсенід алюмінію-галію є перспективним трикомпонентним напівпровідником з точки зору відповідності кристалічних ґраток, що викликало всебічне дослідження матеріалу з метою створення на його основі високоєфективних електронних та оптоелектронних приладів. Про це свідчать дані науково-технічної літератури, в яких для $Al_xGa_{1-x}As$ представлені: результати експериментального та теоретичного дослідження параметрів зонної енергетичної структури, оптичних властивостей, теплових, механічних, елек-

тричних та інші [4 – 6]. Прогнозування перспектив створення приладів на основі тих чи інших матеріалів вимагає ґрунтового знання їх електричних властивостей, включаючи найважливішу характеристику – рухливість носіїв заряду. Важливо, що для $Al_xGa_{1-x}As$ також накопичені знання щодо залежності параметрів матеріалу від мольного складу x , які відкривають можливості для вирішення ряду завдань, у тому числі із впливом x на рухливість носіїв заряду. Однак слід зазначити, що для ряду вихідних параметрів моделювання рухливості в наукових джерелах запропоновані різні апроксимаційні співвідношення їх залежності від x .

Зазначимо, що у науково-технічній літературі для арсеніду алюмінію-галію представлені експериментальні результати щодо рухливості електронів, але недостатньо розкрито можливості її моделювання. Метою роботи є моделювання залежності рухливості електронів твердого розчину $Al_xGa_{1-x}As$ у всьому діапазоні значень мольного складу x (частки алюмінію). Отримані результати дозволять удосконалити фізичну модель та визначити набір

вихідних параметрів моделювання, що призводять до відповідності експерименту, а також можуть бути покладені в основу ряду чисельних експериментів:

- температурної залежності рухливості носіїв заряду у широкому діапазоні ступеня легування твердого розчину для будь-якого значення мольного складу x ;
- імпульсних властивостей матеріалу в режимі сильного електричного поля.

Метод та вихідні параметри моделювання

Чисельне моделювання проведено методом релаксаційних рівнянь, описаним у [7]. Цей метод, заснований на застосуванні рівнянь збереження імпульсу, енергії та концентрації, дозволяє отримувати хорошу відповідність як з експериментальними результатами, так і відомим методом моделювання; Монте-Карло [8]. Перевагою методу релаксаційних рівнянь, який має набір вхідних параметрів практично такий самий, як і метод Монте-Карло, є поєднання менших витрат часу та достатньої інформативності. Метод Монте-Карло дозволяє отримати детальнішу картину процесу перенесення носіїв заряду; «про досить тонкі динамічні особливості фізичних процесів» і «крім регулярних процесів перенесення тут природно моделюються й шуми приладів» [7].

$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ розглядають, як сплав арсеніду галію GaAs та арсеніду алюмінію AlAs. При моделюванні фізичних процесів перенесення електронів часто використовується так зване дводолінне наближення, в якому розглядаються системи рівнянь, записані для основної, зазвичай нижньої, долини та найближчої верхньої. Іноді всі верхні долини поєднуються в деяку еквівалентну з усередненими параметрами. Для даної задачі використання дводолінного наближення неможливе, і моделювання проведено на основі тридолінної моделі зони провідності, що пов'язано з особливостями зонної структури та її трансформації [6] при зміні мольного складу x (рис. 1);

$$E_{\Gamma}(x) = 1.513 + 1.38x - \frac{10^{-4}(5.8 + 3.6x) \cdot T^2}{T + 206 + 123x}, \text{ eB};$$

$$E_L(x) = 1.775 + 0.792x - \frac{6.1 \cdot 10^{-4} \cdot T^2}{T + 204}, \text{ eB};$$

$$E_X(x) = 1.988 + 0.207x + 0.055x^2 - \frac{10^{-4}(4.6 - x) \cdot T^2}{T + 204}, \text{ eB},$$

де E_{Γ} , E_L , E_X – енергії мінімумів Γ -, L -, X -долин; відраховані від стелі валентної зони; T – температура кристалічної ґратки. Видно, що Γ - L - X послідовність енергетичних долин для GaAs (відповідає $x = 0$) змінюється на X - L - Γ для AlAs (відповідає $x = 1$).

Для тестування моделі зручно обрати відомі експериментальні результати залежності рухливості Холла μ від мольного складу x [9], які ще не

знайшли не тільки переконливого пояснення, а й задовільного кількісного моделювання.

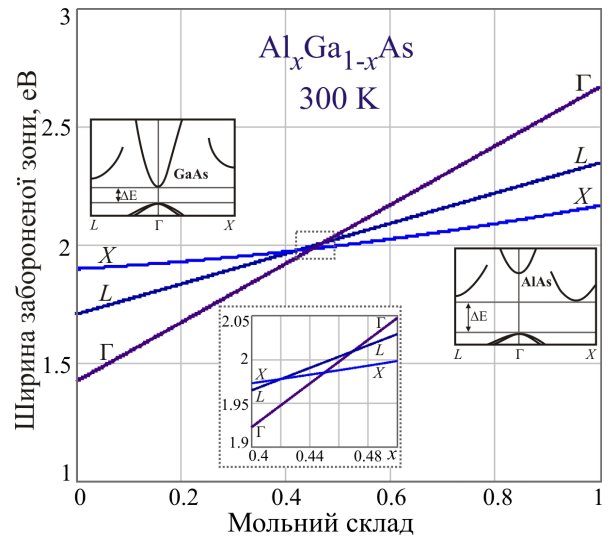


Рис. 1. Розташування енергетичних долин у зоні провідності (відлік від стелі валентної зони) залежно від мольного складу $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$. На вставках зображено деталізацію області їх перетину та ескізи законів дисперсії GaAs й AlAs (з відповідними значеннями $x = 0$ і $x = 1$)

Рухливість визначається частотою зіткнень носіїв заряду при різних механізмах розсіювання. На відміну від методу Монте-Карло тут використовуються часи релаксації, обернені до частот зіткнень, усереднених за функцією розподілу, яка обрана максвеллівською з електронною температурою. Розрахунок проведено для типових механізмів домішкового (на іонах домішки) та фононного (акустичного, полярного оптичного, еквівалентного міждолинного) розсіювання за співвідношеннями, описаними у [7, 10]. Для нееквівалентного міждолинного розсіювання непридатні формули, в яких використано припущення про суттєве перевищення міждолинної відстані над енергією міждолинних фононів. Однак при цьому часи релаксації з поглинанням фононів (верхній знак) та їх збудженням (нижній) будуть різні та їх треба обчислювати окремо

$$\frac{1}{\tau_{pij}^{\pm}} = \frac{Z_j (m_{dj}^*)^{3/2} D_{ij}^2 e^{-\delta_{ij}/2}}{\sqrt{2\pi^{3/2}} \rho \hbar^3 \omega_{ij} \text{sh } t} \sqrt{k_B T_e} e^{\mp(t-t_e)} \times \left| \frac{\delta_{ij}}{2} \mp t_e \right| \left| \mathbf{K}_1 \left| \frac{\delta_{ij}}{2} \mp t_e \right| \right|,$$

$$t = \hbar\omega_{ij} / 2k_B T, \quad t_e = \hbar\omega_{ij} / 2k_B T_e, \quad \delta_{ij} \equiv \Delta_{ij} / k_B T_e,$$

де Z_j – кількість j -долин; m_{dj}^* – ефективна маса густини станів j -долини; D_{ij} – константа міждолинного зв'язку; $\Delta_{ij} = E_{cj} - E_{ci}$ – міждолинна відстань від дна j -долини до дна i -долини; k_B – стала Больцмана; T_e – температура електронів; ρ –

густина речовини; \hbar – стала Планка-Дірака; $\hbar\omega_{ij}$ – середня енергія міждолинних фононів; K_1 – модифікована функція Бесселя першого порядку.

Відомо, що атоми матеріалів однієї групи, що входять до складу твердих розчинів, мають випадковий характер розташування, що моделюється розсіюванням на сплавному потенціалі. У дослідженні рухливості за вказаною причиною у тридолинній моделі необхідно враховувати додаткову складову, яка викликана цим видом розсіювання. Розрахункове співвідношення для зворотного часу релаксації імпульсу має вид [11]:

$$\frac{1}{\tau_{alloy}} = \frac{3\sqrt{2\pi}(m_{dj}^*)^{3/2}(x)}{8\hbar^4} x(1-x) \cdot \Omega(x) \cdot (\Delta U_n)^2 \sqrt{k_B T_e},$$

де $\Omega(x)$ – об'єм комірки Вігнера-Зейтца, ΔU_n – сплавний потенціал сполуки.

В роботі [11] дослідження розсіювання на сплавному потенціалі $Al_{0.32}Ga_{0.68}As$, показало, що найкраще узгодження з експериментом досягається використанням сплавного потенціалу, що визначається як різниця екранованих кулонівських потенціалів атомів Al і Ga. У цій роботі чисельний експеримент проведено при $\Delta U_n = 0.12$ еВ [11, 12].

Рухливість електронів у кожній долині розрахована за формулою

$$\mu_i = \frac{e \tau_{pi}}{m_{ci}},$$

де m_{ci} – омічна ефективна маса, τ_{pi} – час релаксації імпульсу в i -долині, що визначається сумарною частотою зіткнень для всіх видів розсіювання в i -долині у припущенні їх незалежності один від одного

$$\frac{1}{\tau_{\Sigma pi}} = \sum_{j=1}^n \frac{1}{\tau_{pj}}.$$

Сумарні частоти зіткнень у кожній долині – $\tau_{p\Gamma}$, τ_{pL} , τ_{pX} – дозволяють визначити рухливість, усереднену по всіх долинах

$$\mu = b_{\Gamma}\mu_{\Gamma} + b_L\mu_L + b_X\mu_X,$$

де b_{Γ} , b_L , b_X – заселеності енергетичних долин

$$b_i(x, T) = \frac{n_i(x, T)}{\sum_{i \in \Gamma, L, X} n_i(x, T)}, \quad i = \Gamma, L, X,$$

де n_i – концентрації електронів у Γ -, X -, L -долинах відповідно. Для їх розрахунку у кожній долині можна скористатися звичайними співвідношеннями для невідроджених напівпровідників

$$n_i = 2(2\pi m_{di}^* k_B T / \hbar^2)^{3/2} \exp[(E_{\phi} - E_{ci}) / k_B T],$$

де E_{ci} – дно відповідної долини.

Оскільки для розрахунку заселеностей необхідні відношення концентрацій, то немає необхідності у знаходженні енергії Фермі E_{ϕ} , а заселеності визначаються через міждолинні відстані.

Хорошу відповідність результатів чисельного моделювання до експериментальних отримано при виборі також наступних апроксимацій вихідних параметрів [12, 13]:

$$- \text{густина } \rho(x) = (5.36 - 1.6x) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3;$$

$$- \text{статична діелектрична проникність}$$

$$\epsilon_c(x) = 13.18 - 3.12x;$$

$$- \text{високочастотна діелектрична проникність}$$

$$\epsilon_b(x) = 10.89 - 2.73x;$$

$$- \text{швидкість звуку (поздовжня)}$$

$$v(x) = (5.23 + 0.78x + 0.28x^2) \cdot 10^3, \text{ м/с};$$

$$- \text{акустичний деформаційний потенціал}$$

$$D_a(x) = e \cdot (6.7 - 1.2x), \text{ еВ};$$

$$- \text{константа міждолинного зв'язку}$$

$$D_m(x) = e \cdot 14.7 \cdot 10^{10}, \text{ еВ/м};$$

$$- \text{енергія оптичних фононів}$$

$$\hbar\omega_o(x) = e(36.25 + 1.83x + 17.12x^2 - 5.11x^3) \cdot 10^{-3}, \text{ еВ};$$

$$- \text{енергія міждолинних фононів}$$

$$\hbar\omega_m(x) = 0.78\hbar\omega_o, \text{ еВ};$$

$$- \text{омічна маса електронів у долинах:}$$

$$m_{c\Gamma}(x) = (0.067 + 0.083x)m_0;$$

$$m_{cL}(x) = (0.11 + 0.03x)m_0;$$

$$m_{cX}(x) = (0.32 - 0.06x)m_0;$$

$$- \text{ефективна маса густини станів долин:}$$

$$m_{d\Gamma}^*(x) = (0.067 + 0.083x)m_0;$$

$$m_{dl}^*(x) = (0.56 + 0.1x)m_0;$$

$$m_{dx}^*(x) = (0.85 - 0.14x)m_0;$$

$$- \text{об'єм комірки Вігнера-Зейтца:}$$

$$\Omega(x) = 0.25 \cdot [(5.6533 + 0.0078x) \cdot 10^{-10}]^3, \text{ м}^3;$$

$$- \text{концентрація донорної домішки: } 5 \cdot 10^{21} \text{ м}^{-3}.$$

Результати моделювання залежності рухливості електронів в $Al_xGa_{1-x}As$ від мольного складу

Отримані у цій роботі результати чисельного моделювання залежності рухливості електронів від величини x у трикомпонентному напівпровіднику $Al_xGa_{1-x}As$ зіставлені з експериментальною характеристикою $\mu(x)$ специфічного виду, отриманої автором роботи [9]; представлені на рис. 2. У межах x від 0.3 до 0.6 (штрихова лінія) автору роботи [9] не вдалося розрахувати хід цієї кривої.

Вельми немонотонний хід цієї залежності, як це можна було очікувати виходячи з монотонних апроксимацій вихідних параметрів, визначається впливом мольного складу на положення долин, ефективну масу густини станів і омічну ефективну масу.

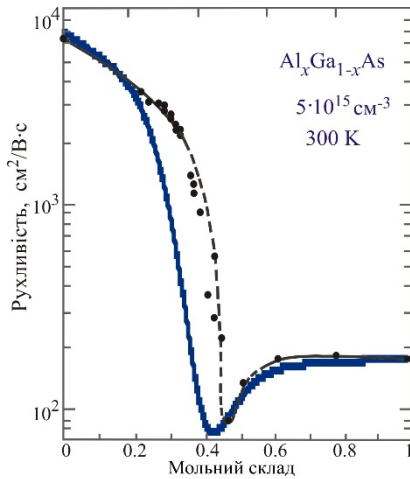


Рис. 2. Залежність холлівської рухливості електронів від молярного складу у трикомпонентному твердому розчині $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$; розрахована крива зіставлена з експериментальною [9]. Жирна лінія – результат моделювання

Зі зміною x процес перерозподілу носіїв заряду по енергетичних долинах відображають вели-

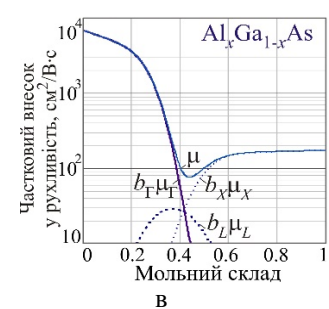
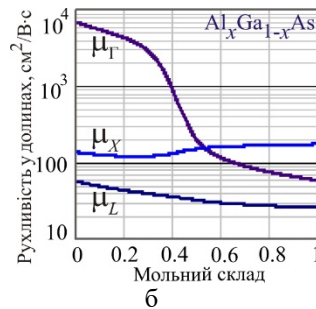
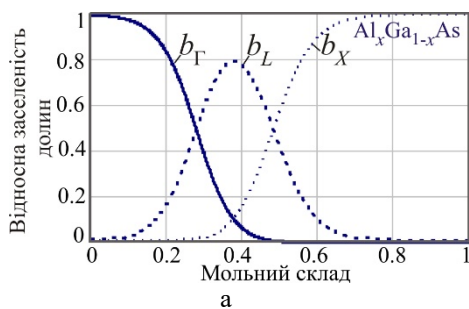


Рис. 3. Залежність від молярного складу: відносних заселеностей долин (а), рухливості електронів в окремих долинах (б), часткового внеску в рухливість електронів кожної долини та їх сумарний результат – $\mu(x)$ (в)

Крім того, велику роль відіграє відсутність у Γ -долині еквівалентного міждолинного розсіювання. В результаті найбільші значення рухливості електронів у Γ -долині при малих значеннях x на один-два порядки вище, ніж рухливості в інших долинах.

Картина розподілу від x добутку заселеностей енергетичних долин на відповідні рухливості – $b_\Gamma\mu_\Gamma$, $b_L\mu_L$, $b_X\mu_X$ (рис. 3, в) – дозволяє розкрити механізми, що визначають формування результуючої рухливості $\mu(x)$. Для значень $x < 0.15$ більша частина електронів знаходиться в основній Γ -долині, що забезпечує високі значення рухливості. Зростанню x відповідає незначне збільшення ефективної маси густини станів $m_{d\Gamma}^*$ і омічної ефективної маси $m_{e\Gamma}$, що призводить до поступового зменшення рухливості електронів від її найбільшого значення (при $x = 0$), характерного для GaAs.

При подальшому збільшенні x продовжується наближення енергетичних долин, викликаючи зро-

чини відносних заселеностей долин b_Γ , b_L , b_X (рис. 3, а). Зі збільшенням x , як видно з рис. 1, L -долина, опускаючись, наближається до нижньої Γ -долини, що викликає перерозподіл носіїв між ними. При $x > 0.3$ заселеність b_L перевищує b_Γ , незважаючи на те, що Γ -долина залишається ще нижньою. Це пояснюється більшою густиною станів в L -долині через більшу ефективну масу m_{dL}^* в порівнянні з $m_{d\Gamma}^*$. При $x > 0.5$ найнижчою стає X -долина і електрони заповнюють в основному її стани, густина яких ще більша, ніж у L -долині.

Вплив молярного складу на рухливість μ_Γ , μ_L , μ_X (рис. 3, б) визначається сумарними часами релаксації імпульсу для всіх механізмів розсіювання в окремих долинах й омічною ефективною масою, яка істотно менше в Γ -долині для арсеніду галія і відповідно в $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ для малих значень x .

стання переходів електронів у L -долини (рис. 3, а). Однак через малу рухливість електрони в ній практично не вносять вкладу в результуючу рухливість (рис. 3, в); доданок $b_L\mu_L$ зневажливо мале у всьому діапазоні значень x .

Подальшому збільшенню x відповідає практично повне спустошення Γ -долини. При $x > 0.5$ значення відносних заселеностей b_X у X -долині становляться переважаючими над заселеністю b_L . У діапазоні значень $x > 0.6$ спостерігається посилення процесів перерозподілу електронів по долинах; збільшується внесок міждолинних переходів у X -долини. Незважаючи на те, що ефективна маса густини станів й омічна ефективна маса для X -долини зменшуються, хід результуючої залежності визначається практично тільки електронами цієї долини. У підсумку, діапазону значень $0.5 < x < 1$ відповідає відсутність внеску у рухливість $b_\Gamma\mu_\Gamma$ носіїв Γ -долини, різке зменшення внеску у рухли-

вості $b_L \mu_L$ носіїв L -долин, а також визначальна роль внеску $b_X \mu_X$ носіїв X -долин.

В роботі також проведено моделювання впливу концентрації домішки на залежність рухливості від мольного складу твердого розчину $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ (рис. 4).

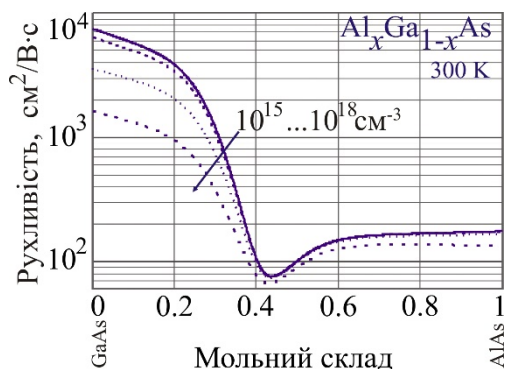


Рис. 4. Вплив концентрації домішки на залежність рухливості електронів від мольного складу твердого розчину $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$

На вигляд ці криві функціонально ідентичні, а зниження рухливості зі зростанням концентрації цілком укладається у відомі моделі збільшення швидкості домішкового розсіювання зі збільшенням ступеня легування для розглянутої температури. Верифікацію впливу ступеня легування на рухливість електронів проведено при фіксованому значенні мольного складу; $x = 0.26$. Результат чисельного моделювання зіставлений з експериментом, проведеним автором наукової публікації [14].

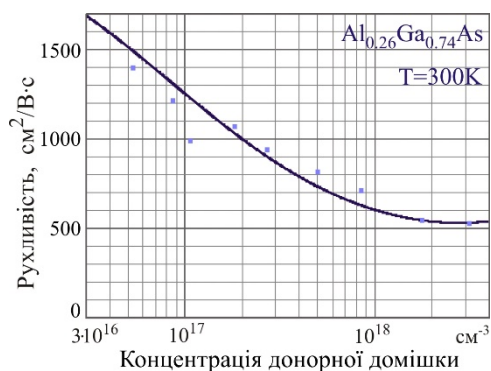


Рис. 5. Залежність рухливості електронів твердого розчину $\text{Al}_{0.26}\text{Ga}_{0.74}\text{As}$ від ступеню легування домішки. Представлені результати вимірювання отримані автором публікації [14]

Між цими результатами спостерігається хороша відповідність.

Висновки

Проведено чисельне моделювання залежності рухливості електронів від мольного складу x для твердого розчину $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$. Моделювання викона-

но на основі тридолинної моделі зони провідності з використанням методу релаксаційних рівнянь.

Результати моделювання $\mu(x)$ знаходяться у досить хорошій функціональній відповідності до експериментальних результатів; спостерігаються характерні особливості. При $x = 0$ та $x = 1$ спостерігаються характерні для бінарних напівпровідників (GaAs , AlAs) значення холівської рухливості електронів. Найбільш важливим є той факт, що моделювання методом релаксаційних рівнянь дозволило виявити специфічну особливість досліджуваної залежності $\mu(x)$ у вигляді значного зменшення рухливості («провал») в діапазоні значень $0.4 < x < 0.5$.

Визначено набір вихідних параметрів моделювання, що дозволяє отримати хорошу відповідність до експериментальних результатів. Уточнення ряду вихідних параметрів моделювання в сукупності із апроксимаціями, що описують положення енергетичних долин відносно дна зони провідності, може покращити результати чисельного моделювання.

Отримані результати чисельного моделювання відкривають можливість до додаткових досліджень властивостей арсеніду алюмінію-галію: температурної залежності рухливості у широкому діапазоні ступеня легування для будь-якого значення мольного складу x ; поле-швидкісних характеристик; динамічних властивостей матеріалу.

Запропоновано методику моделювання залежності рухливості носіїв заряду від мольного складу для трикомпонентних твердих розчинів.

Література

- [1] V. Osinsky, I. Masol, N. Lyahova, A. Osinsky, A. Diagilev, M. Onachenko, «The composite polarization of multicomponent III-nitride for component nanostructures», *ElectronComm*, vol. 21, no. 6(95), pp. 10–21, 2016. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/eisv_2016_21_6_4
- [2] S. Mokkapat, Chennupati Jagadish, «III-V Compound SC for optoelectronic devices», *Materials Today*, vol. 12, no. 4, pp. 22–32, 2009. DOI:10.1016/S1369-7021(09)70110-5
- [3] Saurova T., Baida I., «Infrared detectors based on ternary semiconductor quantum structures», *Bulletin of Kyiv Polytechnic Institute. Series INSTRUMENT MAKING*, vol. 52(2), pp. 65–71, 2016. DOI: [10.20535/1970.52\(2\).2016.92951](https://doi.org/10.20535/1970.52(2).2016.92951)
- [4] J. Chu, R.P. Devaty, E.C. Fernandes da Silva, J. Gutowski, B. Hönerlage, F. Matsukura, K. Sebal, T. Voss. *Semiconductors New Data and Updates for III-V, II-VI and I-VII Compounds*. Berlin : Springer-Verlag. 2010. 502. DOI: 10.1007/978-3-540-92140-0
- [5] I. Vurgaftman, J. R. Meyer, L. R. Ram-Mohan, «Band parameters for III–V compound semiconductors and their alloys», *J. Appl. Phys.*,

- vol. 89, no. 11, pp. 5815–5875, 2001. DOI: 10.1063/1.1368156
- [6] S. Adachi, *Properties of Semiconductor Alloys: Group-IV, III – V, II – VI Semiconductors*: West Sussex, United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd, 2009. 400. DOI:10.1002/9780470744383
- [7] В. О. Москалюк, В. І. Тимофєєв, А. В. Федяй. Надшвидкодiючі прилади електронiки. Київ: Полiтехнiка. 2014. 528.
- [8] Т. А. Саурова, О. В. Семеновська, М. Г. Смельянов, “Дослiдження транспортних властивостей електронiв у нiтридах iндiю i галiю”, *Вiсник НТУУ “КПІ”. Серiя приладобудування*, Вип. 60(2), с. 32–39, 2020. DOI: 10.20535/1970.60(2).2020.221422.
- [9] A. K. Saxena, “Electron mobility in $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ alloys”, *Phys. Rev. B*, vol. 24, no. 6, pp. 3295–3302, 1981. DOI: 10.1103/PhysRevB.24.3295
- [10] T. Saurova, V. Bors, “Scattering Mechanisms in Arsenide Indium”, in *IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*, Kyiv, 2019, pp. 124–128. DOI: 10.1109/ELNANO.2019.8783663
- [11] I. Baida, V. Moskaliuk, “Alloy scattering relaxation time simulation”, in *International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo)*, Odessa, Ukraine, 2017, pp.11–15. DOI: 10.1109/UkrMiCo.2017.8095398
- [12] V. M. Ivashchenko, V. V. Mitin. Modeling of transport phenomena in semiconductors. The Monte Carlo method. Kyiv: Naukova Dumka. 1990. 192.
- [13] S. Adachi, “GaAs, AlAs, and $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$: Material parameters for use in research and device applications”, *J. Appl. Phys.*, vol. 58, no. 3, pp. R1–R29, 1985. DOI: 10.1063/1.336070.
- [14] W. C. Liu, “Investigation of electrical and photoluminescent properties of MBE-grown $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ layers”, *J. Mater. Sci.*, vol. 25, no. 3, pp. 1765–1772, 1990. DOI: 10.1007/BF01045382.

УДК 621.382.3

T. Saurova, V. Shpichenko

*National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»,
Kyiv, Ukraine*

RESEARCH OF INFLUENCE OF MOLAR COMPOSITION ON ELECTRON MOBILITY IN ALUMINUM-GALLIUM ARSENIDE

Improvement in the technology of growing multicomponent semiconductors and the study of their potential applications contribute to the development of semiconductor devices with improved characteristics. Aluminum gallium arsenide is a promising three-component semiconductor in terms of crystal lattice matching, which caused a comprehensive study of the material in order to create high-performance electronic and optoelectronic devices on its basis. Predicting the prospects for creating devices based on certain materials requires a thorough knowledge, first of all, of their electrical properties.

It should be noted that the possibilities of modeling the mobility of electrons in aluminum-gallium arsenide are not sufficiently disclosed in the scientific and technical literature. The aim of this work is to simulate the dependence of the electron mobility of the $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ solid solution on the molar composition x .

The simulation was carried out by the method of relaxation equations; based on the three-valley model of the conduction band. A technique is presented and a numerical experiment is carried out to determine the dependence of the mobility of charge carriers on the molar composition x of the solid solution. Attention is drawn to the peculiarity of modeling the processes of intervalley nonequivalent scattering, which corresponds to a significant convergence of energy valleys to each other. A model dependence of the Hall electron mobility in $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ is obtained in the full range of molar composition values and compared with experimental results. Additional simulation results are presented that contribute to the understanding of the processes leading to the appearance of a specific feature of the dependence of the electron mobility on the molar composition of $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$.

A set of initial modeling parameters is determined, which provides good agreement with the experimental results considered in the work. The obtained results of numerical simulation open up opportunities for additional studies of the properties of aluminum-gallium arsenide. A technique for modeling the dependence of charge carrier mobility on the molar composition for three-component solid solutions is proposed.

Key words: AlGaAs; aluminum gallium arsenide; electron mobility; molar composition; method of relaxation equations.

*Надiйшла до редакцiї
02 серпня 2023 року*

*Рецензовано
28 серпня 2023 року*



© 2023 Copyright for this paper by its authors.
Use permitted under Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).