

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТВЕРДОГО РОЗЧИНУ $\text{Lu}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$

Стадник Ю.В.¹, Ромака Л.П.¹, Ромака В.А.², Горинь А.М.¹,

Демченко П.Ю.¹, Пашкевич В.З.², Рокоманюк М.В.²

¹Львівський національний університет ім. І. Франка, stadnykyu@gmail.com

²Національний університет «Львівська політехніка»

Досліджено кристалічну структуру, магнітні, термодинамічні, кінетичні та енергетичні властивості напівпровідникового твердого розчину $\text{Lu}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$, $x=0-0.10$. Мікрозондовий аналіз концентрації атомів на поверхні зразків встановив їхню відповідність складам шихти, а рентгенівські фазовий та структурний аналізи не виявили слідів інших фаз. Дифрактограми зразків $\text{Lu}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$ індексуються у структурному типі MgAgAs .

Враховуючи, що атомний радіус Lu ($r_{\text{Lu}}=0.173$ нм) більший, ніж Sc ($r_{\text{Sc}}=0.164$ нм), передбачувані є зменшення значень періоду елементарної комірки $a(x)$ $\text{Lu}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$. Однак зменшення значень $a(x)$ носить не лінійний характер і може бути викликане частковим зайняттям атомами Sc вакансій у позиціях $4a$ атомів Lu і/або $4c$ атомів Ni.

Температурні залежності питомого електроопору $\ln(\rho(1/T))$ та коефіцієнта термо-ерс $\alpha(1/T)$ $\text{Lu}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$ є типовими для легованих напівпровідників з активаційними ділянками, що вказує на наявність кількох активаційних механізмів провідності [1]. Окрім того, наявність високотемпературних активаційних ділянок на залежностях $\ln(\rho(1/T))$ для усіх досліджених зразків $\text{Lu}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$ свідчить, що рівень Фермі ε_F розташований у забороненій ε_g , а додатні значення коефіцієнта термо-ерс $\alpha(T)$ уточнюють його положення – поблизу валентної зони ε_V . Отже, дірки є основними носіями електрики $\text{Lu}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$ за усіх досліджених температур.

Збільшення з ростом x енергії активації носіїв струму ε_1^p з рівня Фермі ε_F у валентну зону ε_V $\text{Lu}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$ свідчить про його дрейф у напрямі середини забороненої зони ε_g . Показано, що на ділянці концентрацій $x=0-0.07$ зміна значень енергії активації $\varepsilon_1^p(x)$ є лінійною, а швидкість руху рівня Фермі ε_F від валентної зони ε_V є постійною і складає $\Delta\varepsilon_F/\Delta x=4.9$ меВ/%Sc. За концентрації $x\geq 0.07$ кут нахилу залежності $\varepsilon_1^p(x)$ є крутішим, що вказує на збільшення швидкості руху рівня Фермі ε_F від валентної зони ε_V до значень $\Delta\varepsilon_F/\Delta x=11.2$ меВ/%Sc. Різна швидкість руху рівня Фермі ε_F від валентної зони ε_V до середини забороненої зони ε_g $\text{Lu}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$ вказує на різні швидкості генерування структурних дефектів акцепторної та донорної природи. Видно, що за концентрації $x\geq 0.07$ кількість донорів зростає у ~ 2 рази швидше, ніж на ділянці $x=0-0.07$. Причиною цього є різниця у трансформації кристалічної структури $\text{Lu}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$ у залежності від концентрації домішкових атомів Sc.

Результати кінетичних досліджень $\text{Lu}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$ узгоджуються з результатами вимірювань магнітної сприйнятливості $\chi(x)$. Встановлено, що $\text{Lu}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$ є парамагнетиком Паулі, а магнітна сприйнятливості визначається електронним газом і є пропорційною густині станів на рівні Фермі ε_F . На ділянці концентрацій $x=0-0.02$ залежність $\chi(x)$, як і $\rho(x,T)$ та $\alpha(x,T)$, має плато, яке ми пов'язуємо з появою вільних електронів донорної зони ε_D^1 . За більших концентрацій Sc швидкість зміни $\chi(x)$ $\text{Lu}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$, як і $\rho(x,T)$ та $\alpha(x,T)$, наростає, показуючи збільшення швидкості генерування вільних електронів.

Отже, дослідження кінетичних, енергетичних та магнітних властивостей $\text{Lu}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$ показало за різних концентрацій різні швидкості генерування структурних дефектів акцепторної та донорної природи, що пов'язано з різними механізмами входження атомів Sc у матрицю напівпровідника. Однак дане питання вимагає додаткових досліджень, зокрема структурних та моделювання електронної структури напівпровідникового твердого розчину $\text{Lu}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$ за різних умов входження у структуру атомів Sc, а наведені вище результати будуть слугувати реперними точками при розрахунках.

1. Ромака В.А., Стадник Ю.В., Крайовський В.Я., Ромака Л.П., Гук О.П., Ромака В.В., Микийчук М.М., Горинь А.М. Новітні термочутливі матеріали та перетворювачі температури. – Львів: Львівська політехніка, 2020. – 612 с.