

Д.М. Фреїк¹, І.М. Іванишин²

Фізико-хімічні властивості і домінуючі дефекти у кристалах систем Sn-Sb-Te, Sn-Bi-Te

¹Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,
вул.Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, E-mail: freik@pu.if.ua

²Івано-Франківський державний медичний інститут, вул. Галицька 2, м. Івано-Франківськ,
E-mail: Ivan_Ira@rambler.ru

Розглянуто кристалохімічні механізми дефектоутворення у нестехіометричному стану телуридів при легуванні елементами V групи Періодичної системи Sb і Bi. Досліджено залежності комплексу фізико-хімічних властивостей кристалів p-SnTe-Sb(Bi) від складу.

Ключові слова: станум телурид, легування, Бісмут, Стийбій.

Стаття поступила до редакції 07.09.2005; прийнята до друку 15.12.2005

Вступ

Станум телурид і тверді розчини на його основі відносяться до вузькощілинних напівпровідників, що широко використовуються в інфрачервоній оптоелектроніці і для термоелектричних перетворювачів енергії [1].

Станум телурид кристалізується в структурі типу NaCl, є фазою змінного складу із широкою односторонньою областю гомогенності, зміщеною на бік надлишку телуру (50,1-50,9 ат.% Te при 823 K) [1]. Зазначені особливості фазового стану обумовлюють високу концентрацію власних точкових дефектів і, відповідно, носіїв заряду p-типу (10^{20} - 10^{21} см⁻³) [1].

Оптимізація термоелектричних параметрів SnTe пов'язана з необхідністю зменшення концентрації носіїв струму шляхом зміни дефектності ґратки. Це можна реалізувати легуванням домішками, або ж відповідним катіонним заміщенням у твердих розчинах. При цьому досягається зростання коефіцієнта термо-е.р.с., питомої електропровідності при незначній зміні коефіцієнта теплопровідності [2-6].

Не дивлячись на значну кількість публікацій з досліджуваної тематики [1-7], на сьогоднішній день не існує єдиної думки щодо природи як власних, так і домішкових точкових дефектів, їх зарядового стану [4,5]. Це, у значній мірі, гальмує перспективу отримання матеріалу із наперед заданими властивостями. У зв'язку з цим, дослідження природи домінуючих точкових дефектів, їх взаємодії у SnTe, вивченням механізмів дефектоутворення при легуванні та утворенні твердих розчинів, є

актуальними. Метою цієї роботи є дослідження домінуючих дефектів у нестехіометричному p-SnTe, легуваного Sb і Bi.

І. Фізико-хімічні властивості

Система SnTe:Sb. За даними термічного і мікроструктурного аналізів [2,3] діаграма стану системи SnTe-Sb є квазібінарною, евтектичного типу, з обмеженою розчинністю компонентів.

Експериментальні результати у вигляді концентраційних залежностей властивостей SnTe: Sb представлені на рис. 1,2. Перехід у гетерофазні області достатньо чітко фіксується зламами чи перегинами на концентраційних залежностях властивостей, а також появою другої фази. В інтервалі малих концентрацій домішки Стийбію (до 0,1-0,2 ат.%) значення мікротвердості, параметра ґратки і концентрації носіїв p-типу зростають, а рухливості, питомої електропровідності та термо-е.р.с спадають. За межами вказаної області складів спостерігається падіння H , α і ρ , ріст параметра ґратки а сповільнюється, рухливість μ зростає (рис. 1). Екстремальний характер концентраційних залежностей свідчить про зміну електричної дії домішки при збільшенні її концентрації. Стийбій, введений у малих кількостях, збільшує концентрацію основних носіїв p-типу, відіграючи роль акцепторної домішки. Наступне збільшення концентрації домішки призводить до зміни акцепторної дії донорною. При цьому, як видно (рис. 1, крива 1), акцепторна дія Sb супроводжується різкою деформацією кристалічної ґратки.

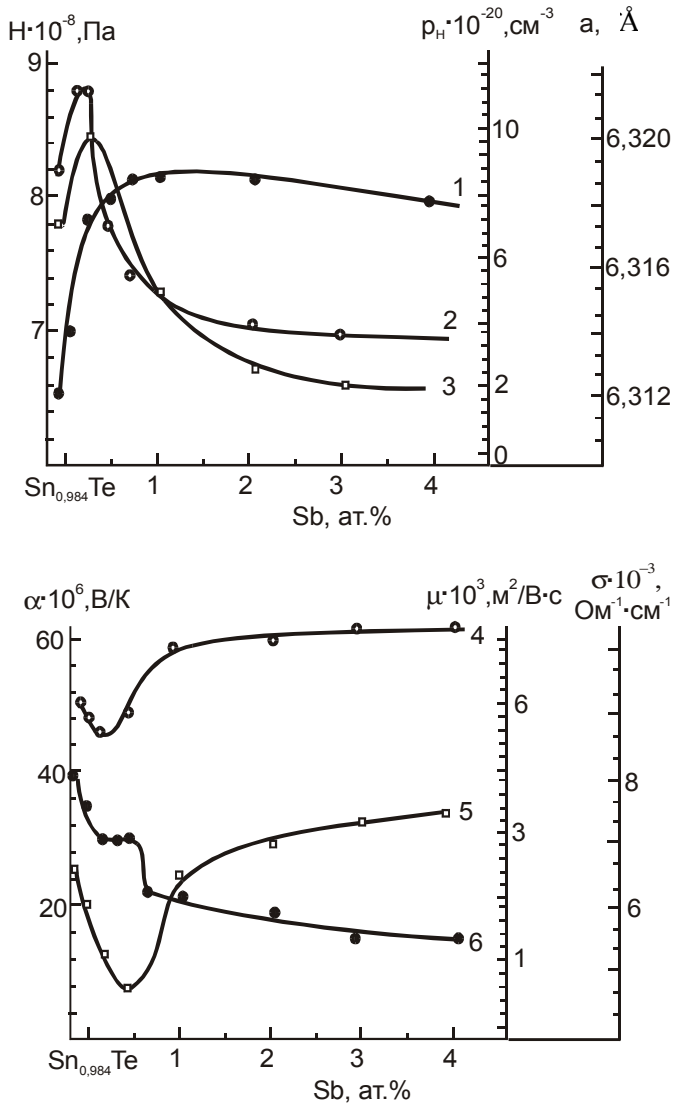


Рис. 1. Залежності параметра елементарної ґратки (а – 1), мікротвердості (Н – 2), концентрації носіїв (р_н – 3), рухливості (μ – 4), питомої електропровідності (σ – 5), термо-е.р.с.(α – 6) нестехіометричного стану телуриду від вмісту Стилбію.

Дослідження впливу власних і домішкових дефектів на ґраткову теплопровідність χ_{gr} стану телуриду показали, що катіонні вакансії є найбільш ефективними центрами розсіювання фононів, а атоми Стилбію, з огляду на близькі значення їх розмірів і маси до розмірів і маси атомів Стануму, несуттєво впливають на розсіювання фононів.

Зміна рентгенівської та пікнометричної густин, а також розрахована концентрація катіонних вакансій представлені на рис. 2. Їх концентраційні зміни аналогічні до залежностей, наведених на рис. 1.

Система SnTe:Bi. При введенні Бісмуту всі властивості плавно змінюються в межах області гомогенності [2]: росту параметра ґратки (а – 1) і рухливості (μ – 6) відповідає падіння концентрації носіїв заряду (р – 4), питомої електропровідності

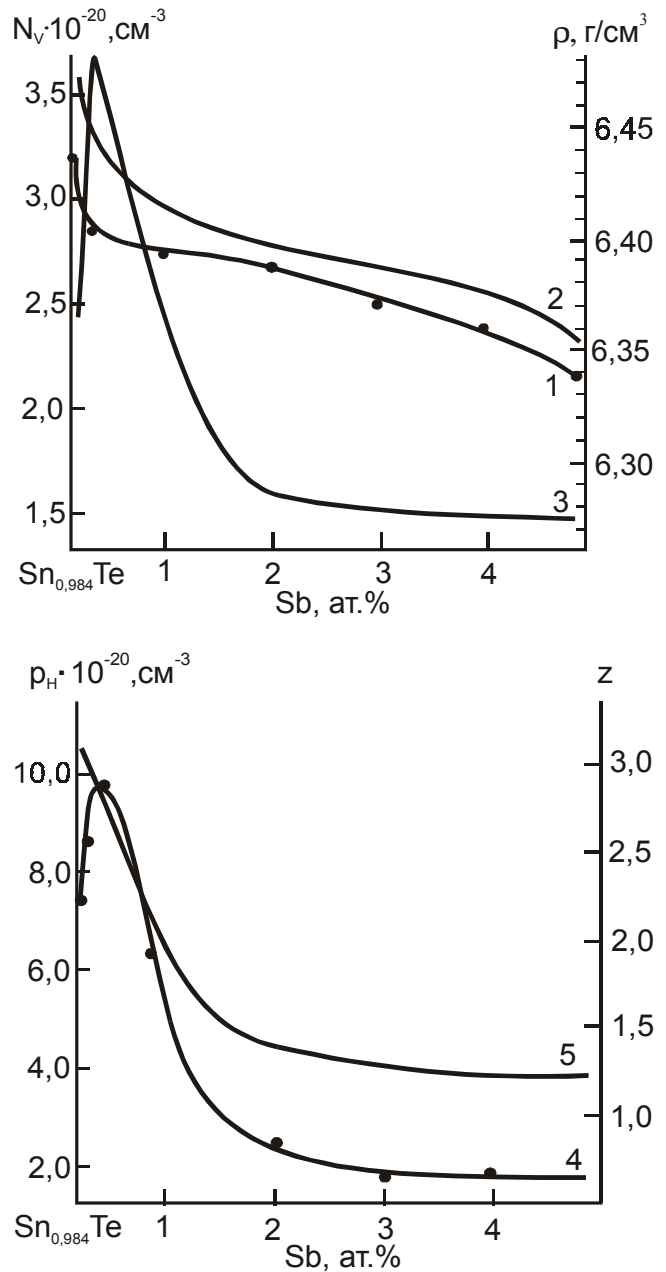


Рис. 2. Зміна пікнометричної (ρ_п – 1), рентгенівської (ρ_х – 2) густин, концентрації вакансій (N_v – 3), вільних носіїв заряду (р_н – 4) та кількості носіїв заряду на одну вакансію (z – 5) від атомного вмісту домішки Стилбію.

(σ – 3), коефіцієнта термо-е.р.с. (α – 5), ґраткової теплопровідності (χ_{gr} – 8) і мікротвердості (Н – 2) (рис. 3). В області вмісту домішки Бісмуту більше 0,4-0,6 ат.%. спостерігаються плато на більшості концентраційних залежностей (а – 1, σ – 3, р – 4, α – 5 та μ – 6) (рис. 3). Це може свідчити або про межу області гомогенності, або про початок процесів комплексоутворення.

Зміна пікнометричної, рентгенівської густин та концентрації вакансій (рис. 4) мають монотонний характер у всій області легування, що свідчить про єдиний механізм легування (рис. 4).

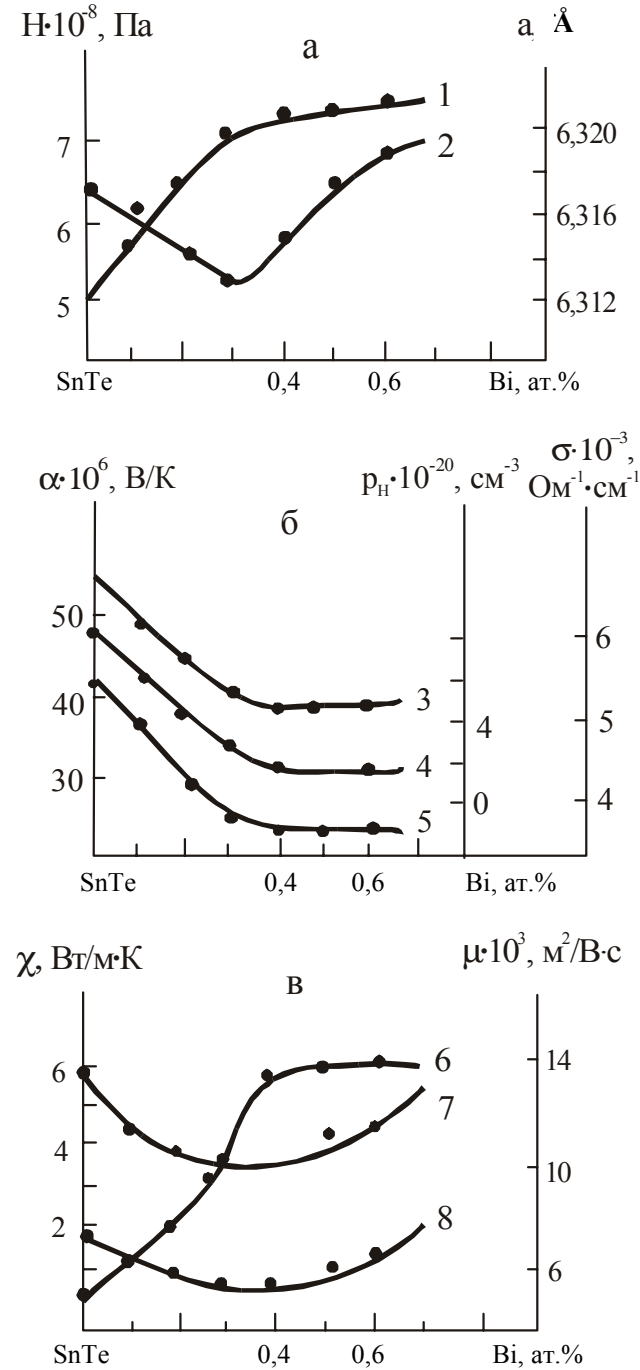


Рис. 3. Залежності: (а) – параметра елементарної ґратки (а – 1), мікротвердості (Н – 2); (б) – питомої електропровідності (σ – 3), концентрації носіїв струму (ρ – 4), коефіцієнта термо-е.р.с. (α – 5) та (в) – рухливості носіїв (μ – 6), загальної (χ – 7) та ґраткової (χ – 8) теплопровідності станум телуриду від вмісту Бісмуту.

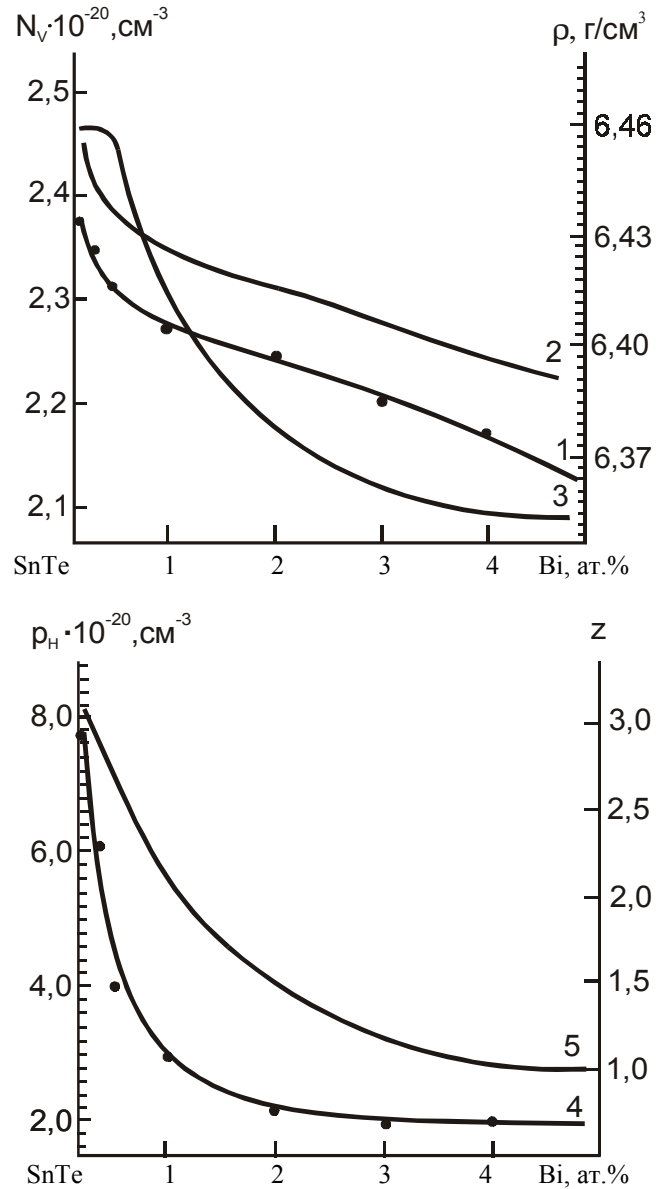


Рис. 4. Зміна пікнометричної (ρ_p – 1), рентгенівської (ρ_x – 2) густин, концентрації вакансій (N_V – 3), вільних носіїв заряду (ρ_n – 4) та кількості носіїв заряду на одну вакансію (z – 5) від вмісту Бісмуту в SnTe: Bi.

II. Кристалоквазіхімічні формули

Структура NaCl, у яку кристалізується станум телурид, характеризується октаедричним оточенням атомів і тетраедричними порожнинами (ТП) – незайняті місця у тетраедричному оточенні Sn чи Te відповідно. У бездефектній ґратці всі тетраедричні порожнини вільні. Геометричні характеристики тетрапорожнин і октаедричного оточення атомів дозволяють визначити радіуси куль, які можуть бути вписані у них за умов існування різних хімічних зв'язків і, відповідно, значень радіусів: атомні, ковалентні чи іонні. Значення цих розмірів подані у таблиці 1.

Зауважимо, що такий аналіз (табл. 1) є дещо наближеним із-за неоднозначності вибору радіусів, оскільки станум телурид є сполукою, в якій поряд з ковалентним типом хімічного зв'язку проявляється і йонність. Це питання є важливим і з того боку, що радіуси надстехіометричних атомів змінюються в залежності від долі йонності сполуки, в яку вони входять.

Електронна структура та кристалохімічні радіуси як елементів основної матриці, так і домішок наведені у таблиці 2. З позицій геометричних співставлень (табл.1,2), та беручи до уваги, що основними дефектами у нестехіометричному р-SnTe є двозарядні та чотиризарядні вакансії Стануму, можна стверджувати, що можливими механізмами легування будуть заповнення атомами домішок катіонних вакансій та впровадження домішок у тетраедричні порожнини.

Дефектну підсистему легуваного станум телуриду можна описати за допомогою кристалоквазіхімічних формул [8]. Суть методу полягає у накладанні кристалохімічної формули легуючої домішки (Sb(Bi)⁰) на антиструктуру

основної матриці ((V_{1-x}^{''} V_x^{'''})_{Sn} V_{Te}^{''} + 2xh^{*}), що веде до утворення кристалоквазіхімічного кластера:

$$(V_{1-x}'' V_x''' V_{Te}'' + 2xh^* + Sb(Bi)^0 \rightarrow (Sb(Bi)_{1-x}^* Sb'(Bi)_x')_{Sn} V_{Te}'' + 2xh^* + 3e' \quad (1)$$

Тут V_{Sn}^{''}, V_{Sn}^{'''}, V_{Te}^{''} – вакансії Стануму і Телуру; h^{*}, e' – дірки і електрони, "''", "''", "0" – позитивний, негативний і нульовий заряди відповідно.

Суміщення даного кластера із основною матрицею нестехіометричного SnTe ([Sn_{1-α}^x V_{(1-x)α}^{''} V_{αx}^{'''}]_{Sn} Te_{Te}^x + 2α(1+x)h^{*}) вказує на можливі види дефектів при легуванні.

Механізм заповнення атомами домішок катіонних вакансій описуватиметься, наприклад для Стибію, таким кристалоквазіхімічною формулою:

Таблиця 1

Мінімальні і максимальні радіуси атомів, які можуть бути розміщені в тетрапорожнинах та октаедричному оточенні

Елементи	Te	Sn	Тетраедричні порожнини				Октаедричне оточення			
			Sn		Te		Sn		Te	
			min	max	min	max	min	max	min	max
Атомні	1,60	1,62	0,364	0,810	0,360	0,800	0,670	1,186	0,662	1,171
Ковалентні	1,36	1,41	0,317	0,705	0,306	0,680	0,584	1,032	0,563	0,996
Іонні	2,11	1,12	0,252	0,560	0,475	1,055	0,463	0,820	0,874	1,540

Таблиця 2

Електронна структура та радіуси Sn, Te, Sb і Bi

Елемент	Електронна конфігурація	Кристалохімічний радіус	Корд. число	Ефективний йонний радіус
Sn	3f ¹⁴ 4d ¹⁰ 5s ² 5p ²	0,83 0,95	–	–
Sn ²⁺	3f ¹⁴ 4d ¹⁰ 5s ⁰ 5p ²		6	1,12
Sn ⁴⁺	3f ¹⁴ 4d ¹⁰		6 8	0,69 0,81
Te	4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁴	2,07	–	–
Te ²⁻	4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁶		6 8	2,21
Sb	5s ² 5p ³		0,900 0,900	4py 6
Bi	6s ² 6p ³	1,110 1,170 1,310	5	0,960
Bi ⁺³	6s ²		6 8	1,030 1,170

$$(1-y) \left[\left[\text{Sn}_{1-\alpha}^{\times} \text{V}_{(1-x)\alpha}^{\prime\prime} \text{V}_{\alpha x}^{\prime\prime\prime} \right]_{\text{Sn}} \text{Te}_{\text{Te}}^{\times} + 2\alpha(1+x)h^{\bullet} \right] + \\ + y \left[(\text{Sb}'_{\text{x}} \text{Sb}_{1-x}^{\bullet})_{\text{Sn}} \text{V}_{\text{Te}}^{\prime\prime} + 2xh^{\bullet} + 3e^{\prime} \right] \rightarrow \quad (2) \\ (\text{Sn}_{(1-\alpha)(1-y)}^{\times} \text{Sb}'_{\text{xy}} \text{Sb}_{y(1-x)}^{\bullet} \text{V}_{\alpha(1-x)(1-y)}^{\prime\prime} \text{V}_{\alpha x(1-y)}^{\prime\prime\prime})_{\text{Sn}} (\text{Te}_{1-y}^{\times} \text{V}_y^{\prime\prime})_{\text{Te}} + \\ + (2\alpha(1+x)(1-y) + 2xy)h^{\bullet} + 3ye^{\prime}.$$

Як видно з (2), заповнення катіонних вакансій супроводжується зменшенням концентрації останніх та появою і зростанням концентрації аніонних вакансій, що призводить до різкого зменшення концентрації вільних носіїв заряду в кристалах SnTe-Sb(Bi).

Вкорінення ж елементів домішок у кристалічну ґратку SnTe відбувається згідно:

$$(\text{V}_{1-x}^{\prime\prime} \text{V}_x^{\prime\prime\prime})_{\text{Sn}} \text{V}_{\text{Te}}^{\prime\prime} + 2xh^{\bullet} + \text{Sb}(\text{Bi})^0 \rightarrow \\ (\text{V}_{1-x}^{\prime\prime} \text{V}_x^{\prime\prime\prime})_{\text{Sn}} \text{V}_{\text{Te}}^{\prime\prime} (\text{Sb}(\text{Bi})^{\times})_i + 2xh^{\bullet} \quad (3)$$

$$(1-y) \left[\left[\text{Sn}_{1-\alpha}^{\times} \text{V}_{(1-x)\alpha}^{\prime\prime} \text{V}_{\alpha x}^{\prime\prime\prime} \right]_{\text{Sn}} \text{Te}_{\text{Te}}^{\times} + 2\alpha(1+x)h^{\bullet} \right] + \\ + y \left[(\text{V}_{1-x}^{\prime\prime} \text{V}_x^{\prime\prime\prime})_{\text{Sn}} \text{V}_{\text{Te}}^{\prime\prime} (\text{Sb}(\text{Bi})^{\times})_i + 2xh^{\bullet} \right] \rightarrow \quad (4) \\ (\text{Sn}_{(1-\alpha)(1-y)}^{\times} \text{V}_{(1-x)[\alpha(1-y)+y]}^{\prime\prime} \text{V}_{\alpha x(1-y)+yx}^{\prime\prime\prime})_{\text{Sn}} (\text{Te}_{1-y}^{\times} \text{V}_y^{\prime\prime})_{\text{Te}} \\ (\text{Sb}(\text{Bi})_y^{\times})_i + (2\alpha(1+x)(1-y) + 2xy)h^{\bullet}$$

Локалізація атомів Стилбію чи Бісмуту в тетраедричних порожнинах кристалічної структури нестехіометричного стану телуриду призводить до різкого зростання концентрації як катіонних, так і аніонних вакансій, а також вільних носіїв заряду р-типу. Такий механізм пояснює значну деформацію кристалічної ґратки.

Зростання r_n , яке спостерігається при введенні перших порцій домішок Sb у SnTe (рис. 1,2), вказує на те, що різка деформація ґратки супроводжується збільшенням кількості дефектів акцепторного типу. Крім того, введення Sb-домішки донорного типу приводить до збільшення концентрації як катіонних, так і аніонних вакансій. У свою чергу розупорядкування структури і поява локальних спотворень регулярної кристалічної ґратки призводить до зменшення енергії власних дефектів. Локалізація атомів Стилбію в тетраедричних порожнинах може мати місце тільки в тому випадку, коли ріст енергії пружної деформації ґратки компенсується зменшенням вільної енергії кристалу за рахунок росту ентропійного члена, пов'язаного зі збільшенням числа можливих розміщень структурних елементів кристалу. Очевидно така ситуація може мати місце, коли концентрація домішкових атомів (~0,1 ат.%) суттєво менша за

концентрацію катіонних вакансій (~1 ат.%) і їх взаємодія несуттєва. Найбільше спотворення ґратки викликають перші порції домішок, оскільки при малих концентраціях атоми домішки розміщені неупорядковано, збільшується ймовірність нерівноважних станів, делокалізації атомів відносно основних структурних позицій. Якщо спотворення значні, можливі ситуації, коли при малих концентраціях домішки заміщення рівноважна концентрація дефектів буде зростати, не дивлячись на протилежну дію електронного фактора.

Порівняння експериментальних даних і кристалоквазіхімічних рівнянь (1)-(4) призводить до висновку, що на початкових стадіях легування Стилбієм переважає механізм вкорінення атомів домішки у тетраедричні порожнини кристалічної ґратки стану телуриду, оскільки воно супроводжується збільшенням концентрації акцепторних центрів – катіонних вакансій і вкоріненого Стилбію $(\text{Sb}_y^{\times})_i$, що і є причиною зростання концентрації вільних носіїв р-типу. Характер зміни властивостей в області вмісту домішки більш, ніж 0,1-0,2 ат.%, для Sb і у всьому концентраційному інтервалі для Бісмуту свідчить про те, що основним механізмом розчинення домішок є заповнення катіонних вакансій.

Розглянемо ще механізм як часткового заповнення домішками катіонних вакансій так і їх впровадження у тетраедричні порожнини щільної упаковки атомів Телуру. У цьому випадку формули будуть мати вигляд:

$$(\text{V}_{1-x}^{\prime\prime} \text{V}_x^{\prime\prime\prime})_{\text{Sn}} \text{V}_{\text{Te}}^{\prime\prime} + 2xh^{\bullet} + \text{Sb}(\text{Bi})^0 \rightarrow \\ (\text{Sb}(\text{Bi})_{0,5}^{\times} \text{V}_{0,5-x}^{\prime\prime} \text{V}_x^{\prime\prime\prime})_{\text{Sn}} \text{V}_{\text{Te}}^{\prime\prime} (\text{Sb}(\text{Bi})_{0,5}^{\times})_i + 2xh^{\bullet} + 1,5e^{\prime}$$

$$(1-y) \left[\left[\text{Sn}_{1-\alpha}^{\times} \text{V}_{(1-x)\alpha}^{\prime\prime} \text{V}_{\alpha x}^{\prime\prime\prime} \right]_{\text{Sn}} \text{Te}_{\text{Te}}^{\times} + 2\alpha(1+x)h^{\bullet} \right] + \\ + y \left[(\text{Sb}(\text{Bi})_{0,5}^{\times} \text{V}_{0,5-x}^{\prime\prime} \text{V}_x^{\prime\prime\prime})_{\text{Sn}} \text{V}_{\text{Te}}^{\prime\prime} (\text{Sb}(\text{Bi})_{0,5}^{\times})_i + 2xh^{\bullet} + 1,5e^{\prime} \right] \rightarrow \quad (5) \\ (\text{Sn}_{(1-\alpha)(1-y)}^{\times} \text{Sb}(\text{Bi})_{0,5y}^{\times} \text{V}_{\alpha(1-x)(1-y)+y(0,5-x)}^{\prime\prime} \text{V}_{\alpha x(1-y)+yx}^{\prime\prime\prime})_{\text{Sn}} \\ (\text{Te}_{1-y}^{\times} \text{V}_y^{\prime\prime})_{\text{Te}} (\text{Sb}(\text{Bi})_{0,5y}^{\times})_i + (2\alpha(1+x)(1-y) + 2xy)h^{\bullet} + 1,5ye^{\prime}.$$

Як видно із (5), такий процес супроводжується незначним зростанням концентрації двозарядних вакансій Стануму, обумовлених вкоріненням частини атомів Стилбію (Бісмуту) в тетраедричні порожнини підґратки Телуру. Утворення аніонних вакансій є причиною зменшення концентрації носіїв заряду р-типу при даному механізмі утворення твердого розчину.

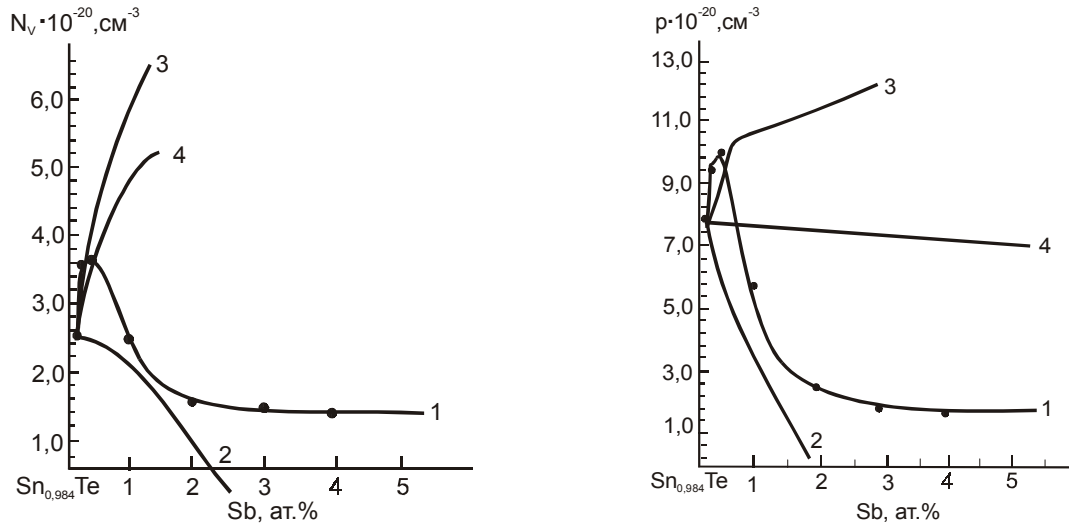


Рис. 5. Концентраційні залежності вакансій (а) та вільних носіїв заряду (б) у SnTe: Sb при різних механізмах входження Стибію в ґратку: 1 – експеримент, 2 – заповнення катіонних вакансій, 3 – вкорінення в тетраедричні порожнини, 4 – вкорінення і заміщення катіонних вакансій одночасно.

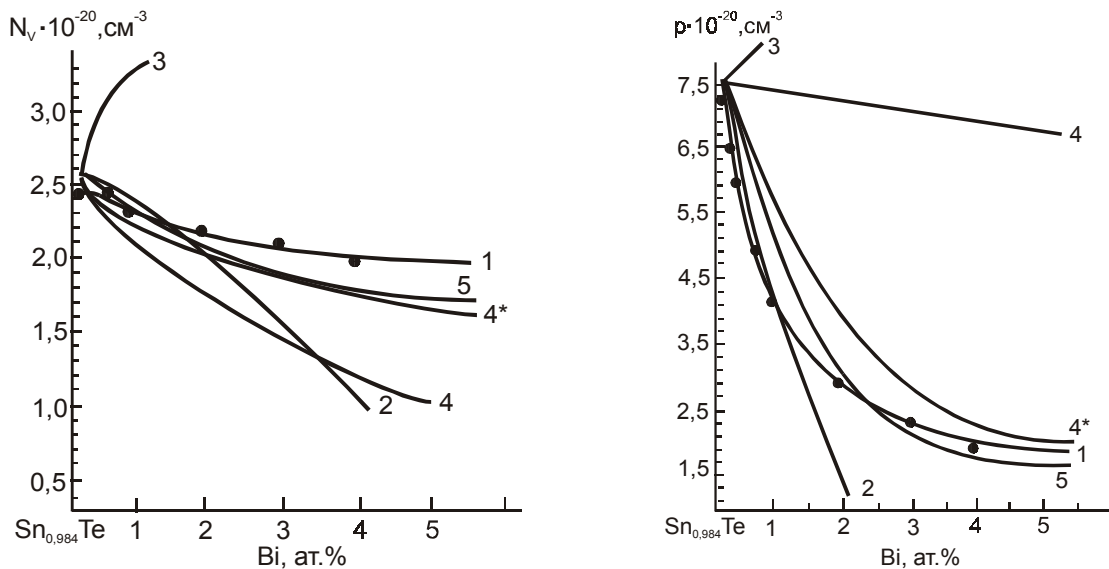


Рис. 6. Концентраційні залежності вакансій (а) та вільних носіїв заряду (б) у SnTe: Bi при різних механізмах входження Бісмуту в ґратку: 1 – експеримент, 2 – заповнення катіонних вакансій, 3 – вкорінення в тетраедричні порожнини щільної упаковки Телуру, 4 – вкорінення і заміщення катіонних вакансій одночасно, 5 – утворення комплексу Bi_2Te_3 .

Проведемо співставлення концентрацій вільних носіїв заряду і вакансій, розрахованих за кристалоквазіхімічними формулами для різних механізмів входження атомів домішок і визначених експериментально (рис. 5,6).

При локалізації атомів домішок у вакансіях разом зі зменшенням їх концентрації зростає концентрація точкових дефектів нового типу – домішкових дефектів заміщення. Спостережуване при цьому зменшення n (рис. 1) показує, що загальний рівень напруг у ґратці, не дивлячись на появу дефектів нового типу, зменшується. Цей факт свідчить про те,

що дія домішкових дефектів частково компенсує дію власних дефектів. Наявність протилежно заряджених вакансій у кристалічній ґратці і їхня взаємодія призводять до анігіляції нерівноважних катіонних і аніонних вакансій.

Як видно з рис. 6, на початкових етапах легування Бісмутом відбувається входження домішки за механізмом заповнення катіонних вакансій до вмісту $\sim 1-1,5$ ат. % Bi. При подальшому збільшенні вмісту легуючої домішки до 2 ат. % Bi маємо процеси заповнення вакансій Стануму та впровадження йонів Бісмуту в тетраедричні порожнини; при вмісті

Bi > 2 ат.% процес легування супроводжується утворенням комплексів Bi₂Te₃, оскільки впровадження Бісмуту в тетраедричні порожнини із-за розмірного фактора затруднено (табл 1, 2).

$$\begin{aligned} & (V_{1-x}'' V_x''')_{Sn} V_{Te}'' + 2xh^* + Bi^0 \rightarrow \\ & (Bi_{1/3}' V_{2/3-x}'' V_{x-1/3}''')_{Sn} V_{Te}'' (Bi_{2/3}'''' V_{1/3}'')_c + 2xh^* + 3e' \\ & (1-y) \left[[Sn_{1-\alpha}^x V_{(1-x)\alpha}'' V_{\alpha\alpha}''']_{Sn} Te_{Te}^x + 2\alpha(1+x)h^* \right] + \\ & y \left[(Bi_{1/3}' V_{2/3-x}'' V_{x-1/3}''')_{Sn} V_{Te}'' (Bi_{2/3}'''' V_{1/3}'')_c + 2xh^* + 3e' \right] \rightarrow \quad (6) \\ & (Sn_{(1-\alpha)(1-y)}^x Bi_{1/3y}' V_{\alpha(1-x)(1-y)+y(2/3-x)}'' V_{\alpha\alpha(1-y)+(x-1/3)}''')_{Sn} \\ & (Te_{1-y}^x V_y'')_{Te} \left(Bi_{2/3y}^x V_{1/3y}'' \right)_c + (2\alpha(1+x)(1-y) + 2xy)h^* - 2ye'. \end{aligned}$$

Відмінності в механізмах входження Sb і Bi у кристалічну ґратку нестехіометричного стану телуриду пояснюються і з позицій границі стабільності структур з різним координаційним числом [7], яка визначається співвідношенням кристалохімічних радіусів катіона і аніона (табл. 2). Для Sb і Bi відношення $r_{кат}/r_{Te} = 0,43$ і $0,57$ відповідно, що відповідає інтервалу утворення октаедричних структур для Bi (входження на незайняті позиції атомів стануму) і граничному значенню для Sb (локалізація як в тетраедричних, так

і в октаедричних порожнинах).

Висновки

У результаті проведених експериментальних та теоретичних досліджень вивчено основні механізми дефектоутворення при легуванні нестехіометричного стану телуриду Стибієм і Бісмутом, визначено концентраційні межі реалізації кожного з механізмів. Характер зміни властивостей систем SnTe-Sb і SnTe-Bi при вмісті Sb більше, ніж 0,2 ат.% і у всьому концентраційному інтервалі легування для Bi (2 ат.%) свідчить про те, що основним механізмом розчинення домішки є заповнення катіонних вакансій. При малих дозах легування Стибієм (до 0,1 ат.%) відбувається його вкорінення в кристалічну ґратку SnTe, вміст Бісмуту вище 1,5-2 ат.% у SnTe супроводжується виділенням фази Bi₂Te₃.

Фреїк Д.М. – заслужений діяч науки і техніки України, доктор хімічних наук, професор, директор Фізико-хімічного інституту, завідувач кафедри фізики і хімії твердого тіла;
Іванишин І.М. – асистент кафедри біофізики, інформатики та медичної апаратури

- [1] В.М. Шперун, Д.М. Фреїк, В.В. Прокопів. *Телурид олова. Фізикохімічні властивості*. Івано-Франківськ, Плай. 148 с. (2002).
- [2] Н.И. Дзюбенко, Е.И. Рогачева, В.М. Косевич, С.А. Лаптев, А.В. Аранкин. Влияние индия, галлия, сурьмы и висмута на свойства теллурида олова // *Изв. АН СССР. Неорганические материалы*, **19**(9), сс. 1457-1461 (1983).
- [3] Н.Х. Абрикосов, Е.В. Скуднова, Л.В. Порецкая. Исследование разрезов SnTe-Sb и SnTe-SbTe в тройной системе Sn-Te-Sb // *Изв.АН СССР. Неорганические материалы*, **4**(10), сс. 1670-1675 (1968).
- [4] Е.И. Елагина, Н.Х. Абрикосов. Исследование системы PbTe-Bi₂Te₃ и SnTe-Sb₂Te₃ // *Журнал неорганической химии*, **4**(7), сс. 1638-1642 (1959).
- [5] Н.Х. Абрикосов, Е.И. Елагина, Р.А. Цхадая. Исследование системы SnTe-Bi₂Te₃ // *Изв.АН СССР. Неорганические материалы*, **11**(11), сс. 2083-2084 (1975).
- [6] Е.И. Рогачева, Г.В. Горне, С.А. Лаптев. Влияние отклонения от стехиометрии на растворимость сурьмы в монотеллуриде олова // *Неорганические материалы*, **24**(6), сс. 928-931 (1988).
- [7] Е.И. Рогачева, Г.В. Горне, Н.К. Жигарева, А.Б. Иванова. Рентгенографическое исследование комплексообразования в твердых растворах на основе SnTe // *Изв. АН СССР. Неорганические материалы*, **22**(1), сс. 45-48 (1986).
- [8] С.С. Лисняк Кристаллоквазихимическая модель исследований в химии твердого тела // *Изв.АН СССР. Неорганические материалы*, **29**(9), сс. 1913-1917 (1992).

Д.М. Фреїк, І.М. Іванишин

D.M. Freik¹, I.M. Ivanyshyn²

Physical and Chemical Properties and Dominating Defects in Crystals of Systems Sn-Sb-Te, Sn-Bi-Te

¹*Vasyl Stefanyk' Precarpathian National University, 57, Shevchenko Str., Ivano-Frankivsk, 76000, Ukraine, E-mail: freik@pu.if.ua*

²*Ivano-Frankivsk State Medical Institute, Galitska Str., Ivano-Frankivsk, 76000, Ukraine, E-mail: Ivan_Ira@rambler.ru*

The crystal chemistry defect formation mechanism at the doping by elements of V Groupe Sb and Bi of Periodic Table nonstoichiometric Tin Telluride is considered. The dependencies of physics-chemical properties of p-SnTe-Sb(Bi) versus the composition is investigated and correlation between them it is established.