

УДК 546.165.815'6

А.Д. Фреїк, М.А. Рувінський

Атомні дефекти і фізико-хімічні процеси у тонких плівках селеніду свинцю при вирощуванні із парової фази

Фізико-хімічний інститут при Прикарпатському університеті імені Василя Стефаника,
вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, 76000, Україна, E-mail: fcss@pu.if.ua

На основі кристалохімічного, квазіхімічного та термодинамічного підходів, а також аналізу фізичних процесів розглянуто механізми впливу атомних дефектів на електричні властивості тонких плівок, вирощених із парової фази.

Ключові слова: селенід свинцю, атомні дефекти, константи рівноваги, електричні властивості.

Стаття постуила до редакції 20.10.2002, прийнята до друку 5.01.2003.

I. Вступ

Селенід свинцю кристалізується у гратці типу NaCl, характерної для інших кристалів. Природа хімічного зв'язку досить складна і відповідає змішаному іонно-ковалентно-металічному типу. Іонність ґратки визначає значну (на порядок і більше) різницю між статичною ϵ_0 і високочастотною ϵ_∞ діелектричними проникностями [1]. Для селеніду свинцю характерно існування двосторонньої області гомогенності і значне відхилення від стехіометрії, що обумовлює наявність великої кількості ($\sim 10^{18}$ - 10^{20} см⁻³) електрично активних власних точкових дефектів, n- і p-тип провідності (рис. 1) [2].

Не дивлячись на те, що у дослідженні дефектної підсистеми селеніду свинцю накопичено значний теоретичний і експериментальний матеріал [3]. На

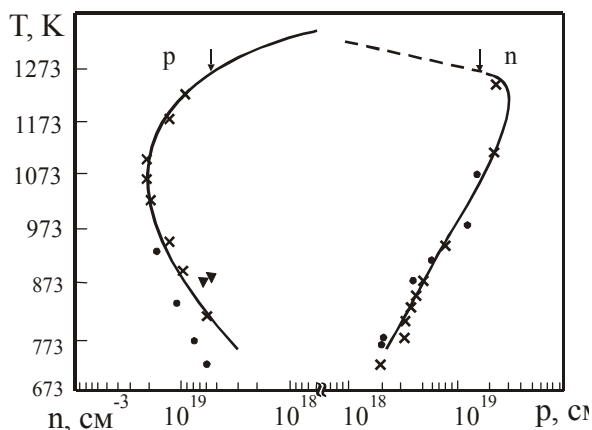


Рис. 1. Т-х - проекція Р-Т-х-діаграми PbSe [2].

даний час у питаннях на вид і зарядовий стан атомних дефектів є значна суперечність. Так, згідно [4,5] вакансії халькогену V_x^{2+} і свинцю V_{Pb}^{2-} є двократно зарядженими донорами і акцепторами, відповідно. Ці результати підтверджені кластерними і аналітичними розрахунками у наближенні центрально-симетричного оточення дефектів. Зовсім протилежної думки дотримуються автори робіт [6] при поясненні процесів відпаду кристалів та особливостей діаграм рівноваги: тільки однозарядні вакансії V_{Pb}^- і між вузлові атоми Pb_i^+ свинцю. Енергетичну діаграму рівнів заселеності халькогенідів свинцю наведено на рис. 1 [7]. Рівень

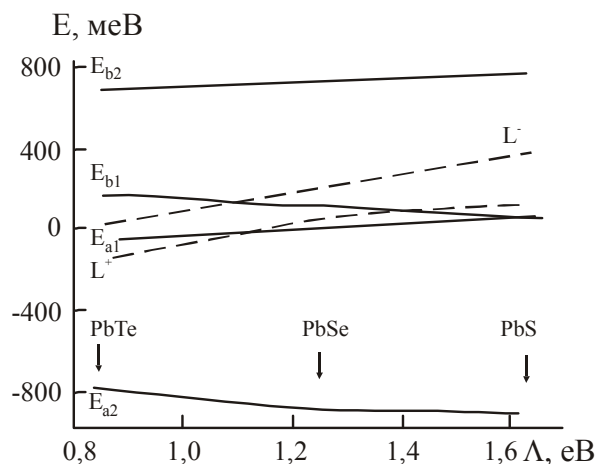


Рис. 2. Енергетична діаграма рівнів заселеності PbTe, PbSe і PbS (Λ – параметр іонності, штрихові лінії – край забороненої зони) [5].

E_{a1} відповідає переходу вакансії металу V_{Me} з однократного у двократний акцепторний стан, E_{b1} – переходу вакансій халькогену V_x з однократного у двократний донорний стан. Рівні E_{a2} і E_{b2} розташовані далеко (0,6-0,8 eV) від країв забороненої зони. Якщо рівень Фермі E_F лежить вище E_{a1} , вакансія V_{Me}^{2-} дає дві дірки. Коли $E_{a2} \leq E_F \leq E_{a1}$, маємо однозарядний акцептор V_{Me}^- . При перетині E_F рівня E_{a2} вакансія переходить у нейтральний стан V_{Me}^0 . Аналогічну ситуацію маємо для вакансії халькогену V_x , яка послідовно проходить стан дво-, однозарядного донора і проходить у нейтральний стан, коли рівень Фермі E_F , рухаючись вгору за енергією, перетинає рівні E_{b1} і E_{b2} . Міжвузловий атом халькогену більшість авторів вважають електрично нейтральним [8]. Що стосується антиструктурних дефектів, то згідно [3,6,8] свинець на місці халькогену двократно заряджений акцептор, а халькоген на місці Pb – двократно заряджений донор. При цьому більша частина надлишкового заряду $2e$ або e розподілена на великих відстанях навколо точкового дефекту [5,8].

Зауважимо, що властивості кристалічних матеріалів PbSe формуються не тільки електроактивними точковими дефектами, а й пасивними в електричному відношенні дефектами типу преципітатів власних компонентів чи їх

конгломератів.

II. Експеримент

Плівки селеніду свинцю вирощували з парової фази методом гарячої стінки [9]. В якості основної наважки використовували наперед синтезовані кристали n-PbSe з початковою концентрацією носіїв $\sim 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Для додаткового джерела служив порошок чистого селену марки ХЧ. Підкладками були свіжі сколи (111) ВаF2. Температура основного джерела – температура випаровування – була $T_e = 820 \text{ K}$, температура стінок камери – $T_w = 850 \text{ K}$. Температуру підкладок T_s варіювали в межах $T_s = 420 - 700 \text{ K}$. Температурою додаткового випарника можна було змінювати парціальний тиск пари селену P_{Se_2} в зоні осадження плівок. Швидкість росту плівок складала $\sim 3 \text{ \AA} \cdot \text{s}^{-1}$, а їх товщина 2-5 мкм.

Структура плівок досліджувалася методом двокристалльної рентгенівської спектроскопії, а електричні властивості – компенсаційним методом у постійних електричних і магнітних полях.

Результатами експериментів встановлено, що плівки осаджуються у вигляді мозаїчних кристалів із середніми лінійними розмірами 0,2-0,5 мм, які орієнтовані площинами (111) паралельно до поверхні підкладки. Тип провідності і концентрація носіїв заряду плівок визначаються технологічними факторами вирощування. При низьких тисках пари

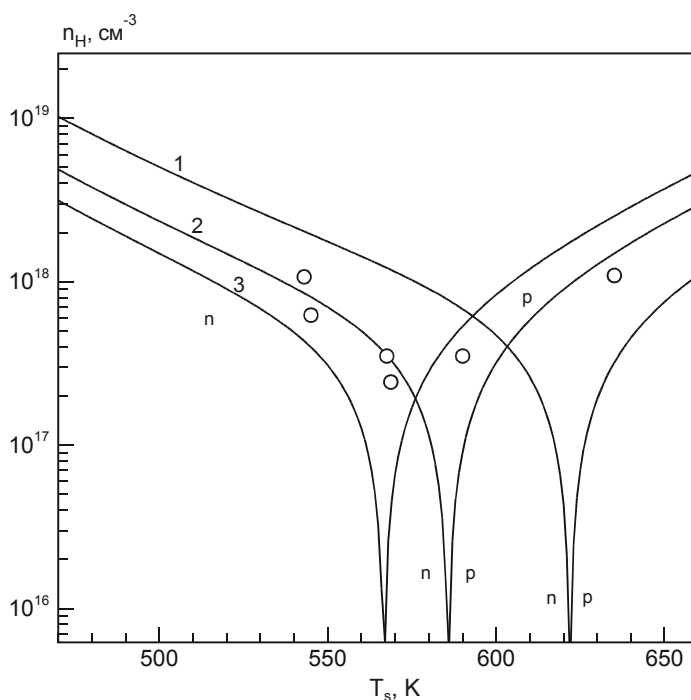


Рис. 3. Залежність концентрації носіїв заряду n_H в плівках PbSe від температури осадження

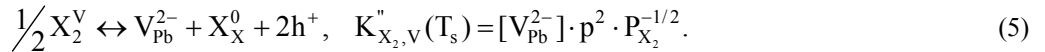
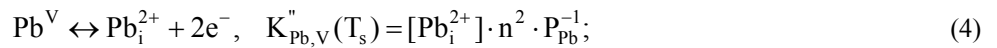
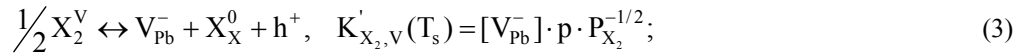
T_s , –експериментальні результати;

(1) – $P_{Se_2} = 1 \text{ Па}$, $T_e = 820 \text{ K}$; (2) – $P_{Se_2} = 10 \text{ Па}$, $T_e = 820 \text{ K}$; (3) – $P_{Se_2} = 10 \text{ Па}$, $T_e = 800 \text{ K}$.

селену $P_{Se_2} = (10^{-8} - 10^{-5})$ Па формуються плівки n-типу. Подальше підвищення тиску пари халькогену у зоні осадження приводить до зменшення концентрації електронів та інверсії типу провідності з наступним зростанням концентрації дірок. Аналогічні зміни обумовлює і підвищення температури осадження T_s при постійному значенню P_{Se_2} (рис. 3).

III. Квазіхімія дефектів з врахуванням складного спектра зарядових станів

Розглянемо квазіхімічну модель, яка враховує



Тут n – концентрація електронів, p – концентрація дірок, квадратними дужками [...] позначено концентрацію дефектів, індекс „s” відноситься до твердої фази, „v” – до парової. P_{Pb} і P_{X_2} – парціальні тиски парів свинцю і халькогену відповідно, e^- – електрони, h^+ – дірки, K – константи рівноваги. Рівняння (1) визначає рівновагу системи „наважка-пара” при розкладі твердого PbX у випарнику при температурі випаровування T_e . Реакції (2)-(5) характеризують рівновагу „пара-конденсат”, відповідальну за утворення власних атомних дефектів при температурі осадження (підкладок) T_s . Прояви власної провідності і різних процесів іонізації та рекомбінації дефектів описуються рівняннями:

$$"0" = e^- + h^+, \quad K_i = n \cdot p; \quad (6)$$

$$Pb_{Pb}^0 = V_{Pb}^- + Pb_i^+, \quad K'_F(T_s) = [V_{Pb}^-][Pb_i^+]; \quad (7)$$

$$Pb_{Pb}^0 = V_{Pb}^{2-} + Pb_i^{2+}, \quad K''_F(T_s) = [V_{Pb}^{2-}][Pb_i^{2+}]; \quad (8)$$

$$Pb_i^0 \leftrightarrow Pb_i^+ + e^-, \quad K_a(T_s) = [Pb_i^+]n/[Pb_i^0]; \quad (9)$$

$$V_{Pb}^0 \leftrightarrow V_{Pb}^- + h^+, \quad K_b(T_s) = [V_{Pb}^-]p/[V_{Pb}^0]; \quad (10)$$

$$Pb_i^0 \leftrightarrow Pb_i^{2+} + 2e^-, \quad K'_a(T_s) = [Pb_i^{2+}]n^2/[Pb_i^0]; \quad (11)$$

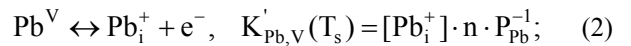
$$V_{Pb}^0 \leftrightarrow V_{Pb}^{2-} + 2h^+, \quad K'_b(T_s) = [V_{Pb}^{2-}]p^2/[V_{Pb}^0]. \quad (12)$$

Загальна умова електронейтральності має вигляд:

$$p + [Pb_i^+] + 2[Pb_i^{2+}] = n + [V_{Pb}^-] + 2[V_{Pb}^{2-}]. \quad (13)$$

З (1)-(13) одержимо рівняння для визначення концентрації носіїв (n) через константи рівноваги квазіхімічних реакцій K і парціальний тиск пари халькогену P_{X_2} :

можливість термодинамічного процесу з утворенням різних зарядових станів власних точкових дефектів у катіонній підгратці плівок PbX (де $X=Te, Se, S$): міжвузловинних атомів і вакансій свинцю (Pb_i^+ , Pb_i^{2+} , Pb_i^0 , V_{Pb}^- , V_{Pb}^{2-} , V_{Pb}^0). Припустимо, що склад зразків у зоні випаровування відповідає мінімуму загального тиску. Тоді при одержанні плівок PbX з парової фази в технології гарячої стінки рівновагу систем „наважка-пара” і „пара-конденсат” можна описати згідно методу Крегера [54] системою квазіхімічних реакцій:



$$An^4 + Bn^3 - Cn - D = 0, \quad (14)$$

де

$$A = 2K''_{X_2,V}K'_F \cdot P_{X_2}^{1/2} \cdot (K_{PbX}K'_{Pb,V}K'_{X_2,V}K_i)^{-1};$$

$$B = 1 + K'_F \cdot P_{X_2}^{1/2} \cdot (K_{PbX}K'_{Pb,V})^{-1};$$

$$C = K_i + K_{PbX}K''_{Pb,V} \cdot P_{X_2}^{-1/2}; \quad (15)$$

$$D = 2K_{PbX}K''_{Pb,V} \cdot P_{X_2}^{-1/2}.$$

Експериментально визначена з ефекту Холла концентрація носіїв струму

$$n_H = n - p = n - K_i \cdot n^{-1}. \quad (16)$$

Рівноважні концентрації заряджених і електронейтральних дефектів дорівнюють:

$$[Pb_i^+] = K_{PbX}K'_{Pb,V}n^{-1}P_{X_2}^{-1/2};$$

$$[Pb_i^{2+}] = K_{PbX}K''_{Pb,V}n^{-2}P_{X_2}^{-1/2};$$

$$[V_{Pb}^-] = K'_F \cdot n \cdot P_{X_2}^{1/2} (K_{PbX}K'_{Pb,V})^{-1};$$

$$[V_{Pb}^{2-}] = K''_{X_2,V}K'_F \cdot n^2 \cdot P_{X_2}^{1/2} (K_{PbX}K'_{Pb,V}K'_{X_2,V}K_i)^{-1}; \quad (17)$$

$$[Pb_i^0] = K_{PbX}K'_{Pb,V}K_a^{-1}P_{X_2}^{-1/2};$$

$$[V_{Pb}^0] = K'_F K_i P_{X_2}^{1/2} (K_{PbX}K'_{Pb,V}K_b)^{-1}.$$

Отримані загальні формули (14), (5) і (17) дають можливість розрахувати концентрації носіїв струму і дефектів у залежності від технологічних факторів (парціального тиску пари халькогену P_{X_2} в зоні осадження і температурних умов вирощування), якщо тільки відомі константи рівноваги K врахованих у моделі квазіхімічних реакцій. Нижче використовуються константи, визначені для кристалів $PbSe$ (Табл. 1). Порівняння теоретичних

Константи рівноваги квазіхімічних реакцій $K = K_0 \exp(-\Delta H/kT)$ для PbSe

Константа	K_0	$\Delta H, \text{eV}$
$K_{\text{PbSe}}, \text{Па}^{3/2}$	$1,61 \cdot 10^{19}$	3,86
$K'_{\text{Pb},V}, \text{см}^{-6} \text{Па}^{-1}$	$1,72 \cdot 10^{19} \cdot T^{3/2}$	-1,9
$K'_{\text{Se}_2,V}, \text{см}^{-6} \text{Па}^{-1/2}$	$7,07 \cdot 10^{35} \cdot T^{3/2}$	0,13
$K''_{\text{Pb},V}, \text{см}^{-9} \text{Па}^{-1}$	$3,37 \cdot 10^{47}$	-1,68
$K''_{\text{Se}_2,V}, \text{см}^{-9} \text{Па}^{-1/2}$	$1,57 \cdot 10^{58}$	0,49
$K_a, K_b, \text{см}^{-3}$	$1,75 \cdot 10^{21}$	0,14

результатів з експериментом дає можливість уточнення цих констант для плівок умови $n=p$:

Тиск пари селену $P_{\text{Se}_2}^*$, при якому відбувається перехід від n- до p-типу провідності, знайдено з

$$P_{\text{Se}_2}^* = \frac{K_{\text{PbSe}} K'_{\text{Pb},V} K_i^{-1/2} + 2K_{\text{PbSe}} K''_{\text{Pb},V} K_i^{-1}}{K_F K_i^{1/2} (K_{\text{PbSe}} K'_{\text{Pb},V})^{-1} + 2K''_{\text{Se}_2,V} K_F (K_{\text{PbSe}} K'_{\text{Pb},V} K'_{\text{Se}_2,V})^{-1}} \quad (18)$$

IV. Рівноважна концентрація дефектів

Баричні залежності $n_H(P_{\text{Se}_2})$ супроводжуються певними змінами рівноважних концентрацій дефектів різних зарядових станів (рис. 4). Характерною рисою плівок PbSe є достатньо велика концентрація

однозарядних вакансій $[V_{\text{Pb}}^-]$ і двозарядних міжвузловинних атомів $[Pb_i^{2+}]$ свинцю, які на кілька порядків перевищують концентрації дефектів інших зарядових станів ($Pb_i^0, Pb_i^+, V_{\text{Pb}}^0, V_{\text{Pb}}^{2-}$). Найнижчою є концентрація нейтральних міжвузловинних атомів свинцю Pb_i^0 , а концентрація

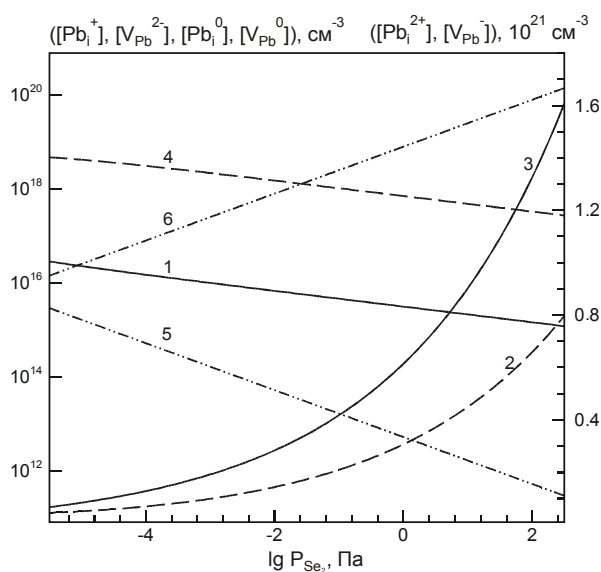


Рис. 4. Залежність концентрації дефектів у плівках PbSe від тиску пари селену. Температура випаровування $T_e = 800\text{K}$, температура осадження $T_s = 653\text{K}$. Суцільні лінії відповідають однозарядним дефектам $[Pb_i^+]$ (1) та $[V_{\text{Pb}}^-]$ (3), пунктирні лінії – двозарядним дефектам $[Pb_i^{2+}]$ (2) та $[V_{\text{Pb}}^{2-}]$ (4), штрих-пунктирні – нейтральним дефектам $[Pb_i^0]$ (5), $[V_{\text{Pb}}^0]$ (6).

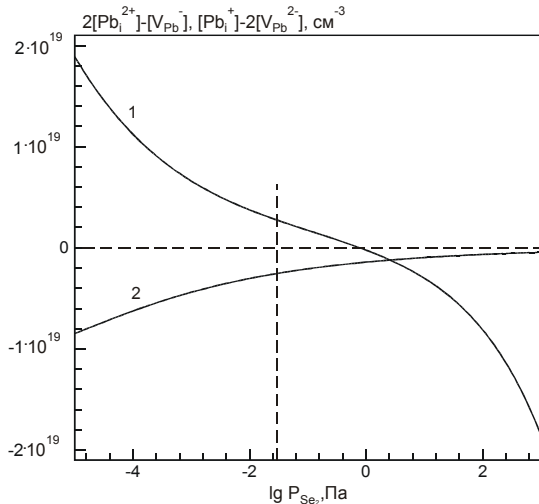


Рис. 5. Залежність розрахованих значень концентрації дефектів у плівках PbSe від тиску пари селену. $T_e = 800\text{K}$, $T_s = 653\text{K}$.

Лінія (1) відповідає $2[\text{Pb}_i^{2+}] - [\text{V}_{\text{Pb}}^-]$,

лінія (2) – $[\text{Pb}_i^+] - 2[\text{V}_{\text{Pb}}^{2-}]$.

нейтральних вакансій V_{Pb}^0 є сумірною з концентрацією двозарядних вакансій $\text{V}_{\text{Pb}}^{2-}$. Для пояснення інверсії типу провідності на рис. 5 побудовано баричні залежності алгебраїчної густини заряду (в одиницях елементарного заряду), пов'язані із сумірними за порядком величини концентраціями заряджених дефектів: $2[\text{Pb}_i^{2+}] - [\text{V}_{\text{Pb}}^-]$ і $[\text{Pb}_i^+] - 2[\text{V}_{\text{Pb}}^{2-}]$. В розглянутому діапазоні тисків P_{Se_2} $[\text{Pb}_i^+] - 2[\text{V}_{\text{Pb}}^{2-}] < 0$ (рис. 5, крива 2), що сприяє виникненню р-типу провідності, але з ростом тиску $[\text{Pb}_i^+] - 2[\text{V}_{\text{Pb}}^{2-}]$ суттєво зменшується. В області низьких тисків $2[\text{Pb}_i^{2+}] - [\text{V}_{\text{Pb}}^-] > 0$, що сприяє провідності n-типу; при збільшенні тиску цей вираз змінює свій знак на протилежний, зростаючи за абсолютною величиною і діючи вже в напрямку р-типу провідності (рис. 5, крива 1). Отже, точка n-p-інверсії відповідає тиску $P_{\text{Se}_2}^*$, при якому $2[\text{Pb}_i^{2+}] - [\text{V}_{\text{Pb}}^-] = -([\text{Pb}_i^+] - 2[\text{V}_{\text{Pb}}^{2-}])$ (вертикальна лінія на рис. 5).

Переважання в PbSe концентрації однозарядних вакансій V_{Pb}^- над двозарядними $\text{V}_{\text{Pb}}^{2-}$ є наслідком меншої ентальпії ΔH утворення V_{Pb}^- порівняно з $\text{V}_{\text{Pb}}^{2-}$, що відображено в уточненому значенні константи рівноваги $K'_{\text{Se}_2, \text{V}}$ [3]. Ця відмінність в ентальпіях утворення вакансій металу виявляється також і в CdSe [10], де однозарядних вакансій V_{Cd}^- більше, ніж двозарядних $\text{V}_{\text{Cd}}^{2-}$.

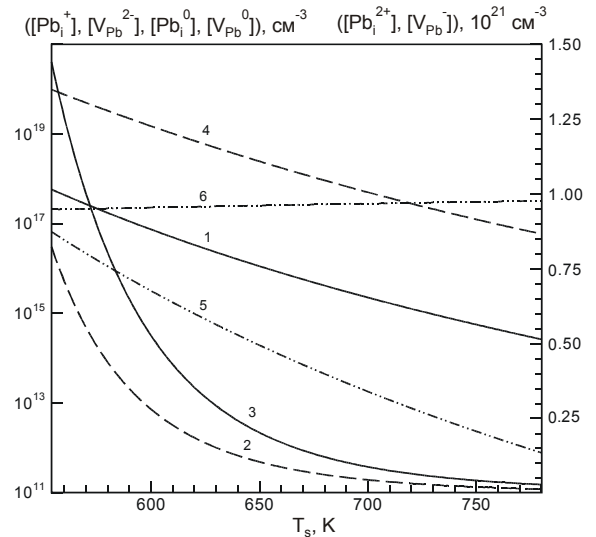
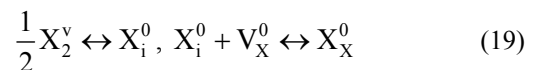
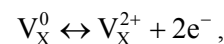
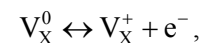
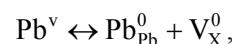


Рис. 6. Залежність розрахованих значень концентрації дефектів у плівках PbSe від температури осадження T_s . $T_e = 800\text{K}$, $P_{\text{Se}_2} = 10^{-3}$ Па. Суцільні лінії відповідають однозарядним дефектам $[\text{Pb}_i^+]$ (1) та $[\text{V}_{\text{Pb}}^-]$ (3), пунктирні лінії – двозарядним дефектам $[\text{Pb}_i^{2+}]$ (2) та $[\text{V}_{\text{Pb}}^{2-}]$ (4), штрих-пунктирні – нейтральним дефектам $[\text{Pb}_i^0]$ (5), $[\text{V}_{\text{Pb}}^0]$ (6).

Розраховані залежності концентрацій рівноважних дефектів від температури підкладки T_s показано на рис. 6, на основі яких можна також пояснити виникнення інверсії типу провідності в плівці PbSe. Із збільшенням температури T_s концентрація нейтральних вакансій V_{Pb}^0 зростає (рис. 6, крива 6), а концентрації інших дефектів спадають.

Отримані експериментальні дані і теоретичні розрахунки концентрації носіїв струму підтверджують модель розупорядкування катіонної підгратки ХС за механізмом Френкеля. Так, наприклад, залучення до розгляду додаткових квазіхімічних реакцій, пов'язаних з дефектами в аніонній підгратці (зарядженими вакансіями халькогену V_X^{2+} , V_X^+ та електронейтральними вакансіями V_X^0 і міжвузловинними атомами X_i^0)



при загальній умові електронейтральності

Залежності концентрації носіїв струму і дефектів від тиску халькогену при різних парціальних умовах електронейтральності

Умова нейтральності	Показник степеня парціального тиску халькогену (P_{X_2})								
	$[Pb_i^+]$	$[Pb_i^{2+}]$	n	p	$[V_{Pb}^-]$	$[V_{Pb}^{2-}]$	$[X_i^0]$	$[V_X^+]$	$[V_X^{2+}]$
$[V_{Pb}^-] = [Pb_i^+]$	0	+1/2	-1/2	+1/2	0	-1/2	+1/2	0	+1/2
$2[V_{Pb}^-] = [Pb_i^+]$	-1/6	+1/6	-1/3	+1/3	+1/6	-1/6	+1/2	-1/6	+1/6
$n = [Pb_i^+]$	-1/4	0	-1/4	+1/4	+1/4	0	+1/2	-1/4	0
$[V_{Pb}^-] = 2[Pb_i^{2+}]$	-1/6	+1/6	-1/3	+1/3	+1/6	-1/6	+1/2	-1/6	+1/6
$[V_{Pb}^{2-}] = [Pb_i^{2+}]$	-1/4	0	-1/4	+1/4	+1/4	0	+1/2	-1/4	0
$n = 2[Pb_i^{2+}]$	-1/3	-1/6	-1/6	+1/6	+1/3	+1/6	+1/2	-1/3	-1/6
$[V_{Pb}^-] = p$	-1/4	0	-1/4	+1/4	+1/4	0	+1/2	-1/4	0
$2[V_{Pb}^{2-}] = p$	-1/3	-1/6	-1/6	+1/6	+1/3	+1/6	+1/2	-1/3	-1/6
$n = p$	-1/2	-1/2	0	0	+1/2	+1/2	+1/2	-1/2	-1/2
$[V_{Pb}^-] = [V_X^+]$	0	+1/2	-1/2	+1/2	0	-1/2	+1/2	0	+1/2
$2[V_{Pb}^{2-}] = [V_X^+]$	-1/6	+1/6	-1/3	+1/3	+1/6	-1/6	+1/2	-1/6	+1/6
$n = [V_X^+]$	-1/4	0	-1/4	+1/4	+1/4	0	+1/2	-1/4	0
$[V_{Pb}^-] = 2[V_X^{2+}]$	-1/6	+1/6	-1/3	+1/3	+1/6	-1/6	+1/2	-1/6	+1/6
$[V_{Pb}^{2-}] = [V_X^{2+}]$	-1/4	0	-1/4	+1/4	+1/4	0	+1/2	-1/4	0
$n = 2[V_X^{2+}]$	-1/3	-1/6	-1/6	+1/6	+1/3	+1/6	+1/2	-1/3	-1/6

$$[V_{Pb}^-] + 2[V_{Pb}^{2-}] + n = [Pb_i^+] + 2[Pb_i^{2+}] + p + [V_X^+] + 2[V_X^{2+}] \quad (20)$$

і відомих значення констант рівноваги [3] приводять лише до незначних змін холлівської концентрації носіїв струму. У наведеній нижче таблиці. 2 отримано всі можливі типи баричних залежностей рівноважних концентрацій дефектів і носіїв струму при певних

„парціальних” умовах нейтральності, які узгоджуються із загальною умовою (20).

Залежність тиску $P_{Se_2}^*$ від температури осадження T_S^* і випаровування показано на просторовому зображенні на рис. 7.

Отримані закономірності дають можливість визначити технологічні умови для формування плівки із наперед заданими електричними властивостями.

V. Висновки

1. Вперше запропоновано і розраховано кристалохімічну і термодинамічну модель дефектоутворення за механізмом Френкеля в катіонній підґратці плівок селеніду свинцю вирощених із парової фази з одночасним урахуванням складного спектра зарядових станів власних точкових дефектів.

2. На основі проведеного експериментального дослідження отриманих з парової фази методом гарячої стінки плівок PbSe і теоретичного розрахунку моделі із складним спектром зарядових станів дефектів проаналізовано основні механізми

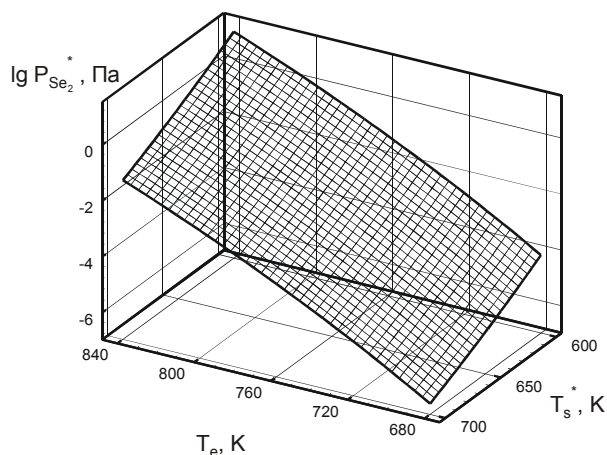


Рис. 7. Залежність тиску $P_{Se_2}^*$, що відповідає n-p-інверсії провідності, від температур осадження T_S^* і випаровування T_e .

дефектоутворення в катіонній підгратці плівок PbSe. Показано, що тип провідності і концентрація носіїв заряду визначаються технологічними факторами вирощування плівок, які визначають переважаючий вид і зарядовий стан атомних дефектів.

3. Баричні і температурні залежності n_H супроводжуються характерними змінами рівноважних концентрацій дефектів різних зарядових

станів. Переважаючими дефектами в плівках PbSe виявляються однозарядні вакансії V_{Pb}^- і міжвузловинні атоми свинцю Pb_i^{2+}

4. Дано пояснення інверсії типу провідності в PbSe за участю як двозарядних, так і однозарядних дефектів.

- [1] Ю.И. Равич, Б.А. Ефимова, И.А. Смирнов. *Методы исследования полупроводников в применении к халькогенидам свинца PbTe, PbSe, PbS*, Наука, М. 384с. (1968).
- [2] Н.Х. Абрикосов, Л.Е. Шелимова. *Полупроводниковые материалы на основе соединений $A^{IV}B^{VI}$* . Наука, М. 194с. (1975).
- [3] Д.М. Фреїк, В.В. Прокопів, М.О. Галушак, М.В. Пиц, Г.Д. Матеїк. *Кристалохімія і термодинаміка атомних дефектів у сполуках $A^{IV}B^{VI}$* . Плай, Івано-Франківськ 164с. (2000).
- [4] N.J. Parada, G.W. Pratt. Localized defects in PbTe // *Phys. Rev. Lett.*, **22**(5), pp. 180-182 (1969).
- [5] Б.А. Волков, О.А. Панкратов. Электронная структура точечных дефектов в полупроводниках $A^{IV}B^{VI}$ // *ЖЭТФ*, **88**(1), сс. 280-293 (1985).
- [6] А.В. Новоселова, В.П. Зломанов, Матвеев О.В. . Физико-химическое исследование селенида свинца // *Вестник Моск. ун-та. Химия*, 5, сс. 1323-1329 (1967).
- [7] О.А. Панкратов, П.П. Поваров. Многоэлектронные эффекты и зарядовые состояния вакансий в полупроводниках $A^{IV}B^{VI}$ // *ФТТ*, **30**(3), сс. 880-882 (1988).
- [8] Д.М. Заячук, В.А. Шендеровський. Власні дефекти та електронні процеси в $A^{IV}B^{VI}$ // *Укр. фіз. журн.*, **36**(11), сс. 1692-1713 (1991).
- [9] Д.М. Фреїк, М.А. Галушак, Л.И. Межиловская. *Физика и технология полупроводниковых пленок*. Вища школа, Львов 152 с. (1988).
- [10] В.Л. Винецкий, Г.А. Холодарь. *Статистическое взаимодействие электронов и дефектов в полупроводниках*. Наук. думка, К. 188 с. (1969).

A.D. Freik, M.A. Ruvinskyu

Atomic defects and physical-chemical processes on lead selenide thin films at the pair phase growth

*Physial-Chemical Institute at the 'Vasyl Stefanyk' Prekarpathian University
Shevchenko str., 57, Ivano-Frankivsk, 76000, Ukraine, E-mail: fcss@pu.if.ua*

On the crystal-chemical, quasichemical on thermodynamic methods, and from analyses of physical processes the mechanism of influence of atomic defects on electrical properties of thin films, growth from vapour phase is describe.