

УДК 621.315:548.52:541.123

А.О. Руденький, аспір.

Житомирський інженерно-технологічний інститут

## ТЕРМОДИНАМІКА ФАЗОВИХ РІВНОВАГ В СИСТЕМІ РТУТЬ-ТЕЛУР

(Представлено проф. П.П. Москвіним)

У рамках теорії асоційованих розчинів з декількома комплексами різного складу в рідкій фазі проаналізовані фазові рівноваги у системі Hg-Te. Показано, що переважними комплексами в рідкій фазі є  $\text{HgTe}$ ,  $\text{HgTe}_2$  і  $\text{Te}_2$ . Визначено параметри комплексоутворення в рідкій фазі. Досягнуто задовільну відповідність розрахунків експерименту по P-T-X рівновагам у системі.

Телурид ртуті становить інтерес як самостійний матеріал напівпровідникової оптоелектроніки, так і як компонент важливого твердого розчину  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ . У цьому відношенні стає зрозумілим та велика увага, що приділяється термодинаміці процесів, які відбуваються при отриманні монокристалів і епітаксціальних шарів цієї сполуки.

Термодинамічний опис процесу отримання матеріалів, у першому наближенні, ґрунтується на даних про фазові рівноваги у системі або, що те ж саме, на даних про діаграму його стану.

Основними роботами з фазових рівноваг у системі напівпровідників  $\text{A}^2\text{B}^6$  вважаються роботи [1–2]. У цих дослідженнях автори аналізують експериментальні результати з даного питання, відзначають головні особливості фазових рівноваг. До останніх, у першу чергу, вони відносять наявність різкого сингулярного максимуму кривих ліквідусу при температурі плавлення сполук, істотну асиметрію ліній ліквідусу відносно еквіатомного складу в областях діаграми стану, збагачених металевим і металоїдним компонентами (рис. 1). Відмітною рисою діаграм стану напівпровідників  $\text{A}^2\text{B}^6$  варто визнати і високу летючість обох компонентів цих сполук. Останнє істотно ускладнює термодинамічний аналіз систем, оскільки потребує сумісний розгляд рівноваги між кристалом і розплавом, та розплаву з газовою фазою, що складається з двох летючих компонентів.

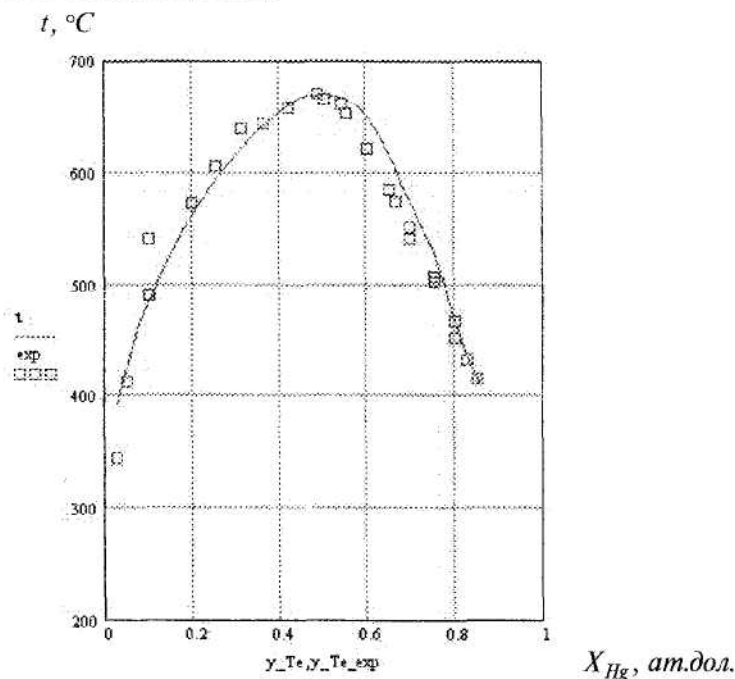


Рис. 1. Ліквідус системи ртуть-телур. Експериментальні дані [10, 11]

Найбільш повний термодинамічний опис систем  $\text{A}^2\text{B}^6$  отримано на основі теорії асоційованих розчинів. Саме за допомогою цієї термодинамічної моделі отримані найбільш достовірні розрахункові результати в роботах [1, 2]. Дійсно, саме слабкою дисоціацією компонентів сполук при плавленні і присутністю в рідкій фазі стійких комплексів еквіатомного складу можливо пояснити наявність різкого сингулярного максимуму на кривій розчинності [3].

Для системи  $Hg-Te$  таким асоціатом у роботах [1, 2] служив комплекс  $HgTe$ . У той же час такий склад асоціата принципово не може забезпечити асиметрію ходу ліквідусу щодо еквіатомного складу в областях діаграми стану, збагачених металевим і металоїдним компонентами сполуки. Ця обставина призвела до необхідності авторів робіт [1, 2] ускладнити термодинамічну модель будівлі фаз, використавши субрегулярне наближення теорії простих розчинів для моделювання взаємодії компонентів з асоціатом, розглядаючи енергії змішання, що залежать від складу [3]. Запропонована достатньо складна термодинамічна побудова дозволила домогтися прецизійного опису експериментальних результатів для більшості з'єднань  $A^2B^6$ . Проте кількість параметрів моделі, безпосереднє експериментальне визначення котрих важке, зросло до 12 для однієї двокомпонентної системи [2]. Для порівняння зазначимо, що для опису фазових рівноваг у квазірегулярному наближенні теорії простих розчинів в системах напівпровідників типу  $A^3B^5$  достатньо усього лише 2 параметрів, якими можна керувати. В результаті значної кількості параметрів моделі з'явилася громіздкість її математичної інтерпретації, зросли труднощі пошуку параметрів моделі, з'явилися труднощі їхнього теоретичного трактування. Проте, головним недоліком такого підходу варто визнати істотне наростання кількості підгінних параметрів при переході до опису фазових рівноваг у трьох і більше компонентних системах. Так для опису діаграми стану в потрібній системі  $Cd-Hg-Te$  [2] треба буде вже 26 параметрів, а для четвертих систем їхня кількість стане дійсно дуже великою. Очевидно, в останньому випадку можна вже говорити про трансформацію строго детермінованої термодинамічної моделі розчинів у статистичну, коли через велику кількість параметрів модель перетворюється в чисто математичну регресійного типу. небезпека появи такої ситуації провіщалася в роботі [4] при узагальненні результатів по діаграмах стану багатокомпонентних оксидів.

В даний час вихід з ситуації, що склалася, в описі складних систем пов'язується з застосуванням термодинамічних моделей, що враховують наявність у взаємодіючих фазах декількох асоціатів різного складу. Дійсно, якщо температурні залежності констант утворення рідкофазових асоціатів різняться, то в міру зміни температури уздовж ліквідусу їх концентрації будуть змінюватися по-різному, що повинно відобразитися на симетрії діаграми стану щодо еквімолярного складу і проявиться подібно дії концентраційної залежності вільної енергії змішання компонентів розплаву. Ці ідеї були реалізовані в роботах [5, 6] при аналізі фазових рівноваг у магнітних напівпровідникових системах і запропоновані для реалізації в системах  $A^2B^6$  [6]. Не менш вагомою перевагою такого підходу варто визнати і те, що для опису термодинамічної будови розплаву, як правило, достатньо ідеального наближення теорії поліасоційованих розчинів [6].

У цій роботі на основі моделі асоційованих розчинів з декількома комплексами в рідкій фазі виконаний аналіз P-T-X рівноваг у системі  $Hg-Te$ . В її основу покладені термодинамічні припущення про структуру розплаву аналізованої системи, висловлені в [6].

Відповідно до теорії асоційованих розчинів з кількома комплексами різного складу в рідкій фазі взаємозв'язки між загальним (валовим) вмістом компонента в рідкій фазі та її утворюючими комплексами складу  $Hg_pTe_q$  мають вигляд [5]:

$$\begin{aligned} X_{Hg}G - \sum_{p=0} \sum_{q=0} p x_{Hg_pTe_q} &= 0; \\ X_{Te}G - \sum_{p=0} \sum_{q=0} q x_{Hg_pTe_q} &= 0; \\ G &= 1 + \sum_{p=0} \sum_{q=0} (p+q-1) x_{Hg_pTe_q}, \end{aligned} \tag{1}$$

де  $X_{Hg}$ ,  $X_{Te}$  – атомні долі ртуті и телуру в розплаві,  $x_{Hg_pTe_q}$  – мол. дол. комплексу  $Hg_pTe_q$  в рідкій фазі. Індеси  $p$  і  $q$  змінюються від  $p=0$ ,  $q=1$  і  $q=0$ ,  $p=1$ , що відповідає вільним телуру, ртуті, найбільш простим комплексам  $Te_2$  ( $p=0$ ,  $q=2$ ) і  $HgTe$  ( $p=1$ ,  $q=1$ ), і в подальшому слідує по збільшенню складності складів асоціатів.

Концентрації асоціатів пов'язані з концентрацією їх утворюючих вільних елементів рівняннями закону діючих мас:

$$\frac{x_{Hg}^p x_{Te}^q}{x_{Hg_pTe_q}} = K_{pq}(T), \tag{2}$$

де  $K_{pq}$  – константа дисоціації комплексу  $Hg_pTe_q$ .

У вибраному наближенні парціальні тиски телуру і ртуті над розплавом можуть бути розраховані відповідно до закону Рауля-Генрі, записаному стосовно концентрацій вільного атомарного, двохатомного телуру і ртуті в рідкій фазі:

$$\begin{aligned} p_{\text{Hg}} &= x_{\text{Hg}} p_{\text{Hg}}^0(T); \\ p_{\text{Te}_2} &= (x_{\text{Te}}^2 + x_{\text{Te}_2}) p_{\text{Te}_2}^0(T), \end{aligned} \quad (3)$$

де  $p_{\text{Hg}}^0$  і  $p_{\text{Te}_2}^0$  – тиск насичення ртуті і двохатомного телуру при заданій температурі. У наведених формулах передбачається, що пов'язані в асоціати атоми ртуті і телуру не впливають на тиск парів у системі. Остання з формул враховує спільний вклад у загальний тиск телуру над розплавом як атомарної, так і молекулярної його рідкофазової форми.

Відповідно до даних [2] функціональні залежності тиску насиченої пари ртуті двохатомного телуру від температури мають вигляд:

$$\begin{aligned} \lg p_{\text{Hg}}^0(\text{атм}) &= -\frac{3099}{T} + 4,920; \quad p > 0,1 \text{ атм}. \\ \lg p_{\text{Te}_2}^0(\text{атм}) &= -\frac{5960,2}{T} + 4,7191; \quad p > 723 \text{ К}. \end{aligned}$$

Вирази (2), (3) записані через концентрації відповідних компонент розплаву, тобто в них передбачається, що розплав асоціатів є ідеальним. Хоча на даному етапі аналізу таке допущення виявляється передчасним, усе ж подальші розрахунки показали, що в розглянутій ситуації, як і у випадку магнітних напівпровідників [5], ідеального наближення теорії цілком достатньо для опису фазових рівноваг у системі.

Перед виконанням даної роботи експериментальні дані про склади найбільш численних комплексів у розплаві  $\text{Hg}-\text{Te}$  в літературі були відсутні. Виняток складає еквімолярний комплекс  $\text{HgTe}$ . Тому теоретичний пошук їх складу здійснювався у цій роботі. Це поставило вимогу, щоб рівняння (1) були записані у своїй загальній формі через індекси складу можливих асоціатів.

Для повного опису Р-Т-Х рівноваги двокомпонентної системи вирази (1)–(3) повинні бути доповнені рівнянням рівноваги кристал-розплав. Відповідно до [7] цей вираз має вигляд:

$$\begin{aligned} \Delta S_{\text{HgTe}}^F (T_{\text{HgTe}}^F - T) + RT \ln \frac{x_{\text{Hg}} x_{\text{Te}}}{x_{\text{Hg}}^{St} x_{\text{Te}}^{St}} + \int_T^{T^F} dT' \int_{T'}^T \frac{\Delta C_p}{T'} dT' = 0, \\ \Delta C_p = C_{\text{Hg}} + C_{\text{Te}} - C_{\text{HgTe}}, \end{aligned} \quad (4)$$

де  $T^F$ ,  $\Delta S^F$  – температура й ентропія плавлення сполуки. Індекс  $St$  відноситься до рідкої фази стехіометричного складу. У наведеному виразі в описі рівноваги розплав-кристал перевага віддана квазіхімічній реакції кристалізації вигляду  $\text{Hg}^I + \text{Te}^I = \text{HgTe}^S$ . Зазначимо, що опис утворення телуриду ртуті з асоційованої рідкої фази можливо будь-яким набором комплексів, що у ній є. Проте наочність виразу (4) і досвід роботи з розрахунковими алгоритмами [5] показує, що саме використання концентрацій вільних атомів розплаву є кращим. Подвійний інтеграл у виразі (4) відбиває енергетичний вклад у загальний баланс енергій у системі, обумовлений розходженням теплоємностей сполуки і його вихідних компонентів у розплаві при високих температурах.

Як вихідні параметри при розрахунках прийнято  $T^F = 943,1 \text{ К}$ ,  $\Delta S^F = 9,25 \text{ е.о.}$  [2]. Різниця між теплоємностями елементів сполуки в рідкій фазі та теплоємністю кристалів  $\text{HgTe}$  оцінювалася нами за даними [8]. Відповідно до цих даних розглянута різниця слабо залежала від температури і після розрахунку подвійного інтеграла при  $\Delta C = \text{const}$  рівняння (3) набувало остаточної форми:

$$\Delta S^F (T^F - T) + \Delta C_p \left[ (T - T^F) - T \ln \frac{T}{T^F} \right] + RT \ln \frac{x_{\text{Hg}} x_{\text{Te}}}{x_{\text{Hg}}^{St} x_{\text{Te}}^{St}} = 0. \quad (5)$$

Відповідно до вибраних даних оцінка константи перед поправкою на різницю теплоємностей має значення  $\Delta C_p = 0,98 \text{ кал/моль} \cdot \text{К}$ .

На першому етапі розрахунків здійснювався пошук найбільш імовірних складів комплексів в рідкій фазі. Методика пошуку ґрунтувалася на знайденій раніше в [5, 6] закономірності, що стан Р-Т-Х ліній системи достатньо слабо залежить від констант дисоціації, але дуже

сильно – від складу комплексу.

Перед виконанням розрахунків необхідно обумовити критерій достовірності вибору складу того або іншого комплексу. Це становиться актуальним у зв'язку з тим, що використання в аналізі поліасоціативної моделі будови рідкої фази апріорі припускає наявність температурної залежності констант дисоціації. З самих загальних фізичних розумінь здається істотним, що з підвищенням температури загальна концентрація асоціатів у розплаві повинна зменшуватися. Якби у рідкій фазі був присутній один комплекс, як це розглядалося раніше, то знак ентальпії при розрахунку константи дисоціації за рівнянням (2) був би однозначно відмінним, що відповідає зростанню константи з ростом температури. Проте при наявності в розплаві декількох асоціатів наведене твердження повинно бути переглянуто й узагальнено. Дійсно, вимога зменшення концентрації кожного асоціата в розплаві з ростом температури уявляється надмірно жорстким. На даному етапі аналізу при відсутності незалежного теоретичного розгляду питання про енергії утворення комплексів у рідкій  $Hg-Te$  можливо обмежитися вимогою зменшення концентрації багатоатомних комплексів при зростанні простих з підвищенням температури в системі. Ця вимога не є суперечливою, хоча і допускає різні знаки при ентальпійних вкладах в енергії комплексоутворення. У той же час вимога безперервності та монотонності зміни констант дисоціації з температурою залишається головною. Висловлені міркування були основою при обґрунтуванні можливості існування комплексу складного складу в розплаві  $Hg-Te$ .

Перед обговоренням результатів чисельного аналізу фазових рівноваг необхідно відзначити таку особливість системи виразів (1)–(5), пов'язану з пошуком концентрацій асоціатів у рідкій фазі стехіометричного складу  $x_{Hg}^{Sr}$  і  $x_{Te}^{Sr}$ . Ці величини відповідно до [5] визначаються за умови  $X_{Hg}^{Sr} = X_{Te}^{Sr} = 0,5 \text{ ат.дол.}$  для кожного набору вибраних значень  $K_{pq}$ . Останнє означає, що будь-яка варіація констант дисоціації будь-якого комплексу потребує коригування значень  $x_i^{Sr}$ . Цей чинник робить розрахункові процедури досить важкими. У той же час розглянуті параметри знаходяться в прямому зв'язку з тисками парів компонентів над розплавом стехіометричного складу при температурі конгруентного плавлення сполуки. Таке обмеження істотно спрощує загальну процедуру пошуку, тому що звужує діапазон змін  $x_i^{Sr}$  і в остаточному вигляді ці перемінні усе ж достатньо слабо залежать від  $K_{pq}$ . Остання властивість системи (1)–(5) спрощувала алгоритм пошуку параметрів моделі і була використана в даній роботі.

Кількісне обґрунтування присутності в розплаві того або іншого складного комплексу в роботі починалося з опрацювання даних по фазових рівновагах у збагаченої металом частини діаграми стану. Виконані розрахунки показали, що в цій області досягти відповідності теорії експерименту можливо, припускаючи присутність у розплаві найпростішого комплексу  $HgTe$ . Принципові труднощі стали виникати при спробах описати P-T-X рівноваги в збагаченої телуrom частини діаграми стану. Спроби розрахунків фазових рівноваг з урахуванням, крім  $HgTe$ , тільки комплексу  $HgTe_2$ , а потім і  $HgTe_3$  не призвели до успіху. Аналіз, виконаний з урахуванням асоціатів вигляду  $HgTe_m$  ( $m = 2, 3$ ) і цілком зв'язаного телуру в асоціаті  $Te_2$ , так само не дозволяв досягти відповідності експерименту навіть при істотній варіації констант дисоціації.

Накопичений досвід розрахунків з урахуванням усіх перерахованих комбінацій рідкофазових комплексів дозволив зробити висновок, що найбільш ймовірним асоціативним складом рідкої фази повинен бути такий: вільні атоми ртуті і телуру, а так само комплекси  $Te_2$ ,  $HgTe$  і  $HgTe_2$ . Саме такий набір комплексів забезпечував необхідний діапазон варіації вирішення системи (1)–(5) за рахунок зміни  $K_{pq}$  навколо експериментальних даних.

У результаті виконаних розрахунків було помічено, що переважними комплексами в рідкій фазі в збагаченої металом частини діаграми стану був комплекс  $HgTe$ , тоді як у металодній частині форма ліній рівноваги залежить у головному від констант дисоціації комплексів  $HgTe_2$  і  $Te_2$ . При цьому асоціат  $Te_2$  починає грати чільну роль при знижених температурах. Такі температурні тенденції в поведінці асоціатів при описі фазових рівноваг послужили вагомим аргументом в остаточному виборі складів асоціатів, оскільки цілком відповідали критерію для температурних залежностей вільних енергій утворення комплексів,

висловленому раніше.

Показані закономірності дозволили сформулювати такий алгоритм пошуку значень констант дисоціації. Дійсно в такій ситуації цілком доцільно у першому наближенні знайти значення константи  $K_{HgTe}$  за даними для збагаченої металом частини діаграми стану, тоді як значення  $K_{HgTe_2}$  і  $K_{Te_2}$  визначити за даними для збагаченої телуrom області. Оскільки вплив асоціата  $Te_2$  повинен позначатися найбільш істотно при найнижчих температурах, то можна стверджувати, що для грубої оцінки цих параметрів задача пошуку параметрів моделі розпалася на кілька слабо залежних одне від одного завдань. З використанням зазначеної властивості методом послідовних уточнень були знайдені шукані температурні залежності констант дисоціації. Розрахунки показали, що багатоатомний комплекс  $HgTe_2$  має тенденцію

до розпаду за залежністю вигляду  $K_{HgTe_2} = 7,138 \cdot 10^{14} \exp\left[\left(-5,339 \cdot 10^4 + \frac{1,912 \cdot 10^7}{T}\right) / T\right]$ , тоді

як дані для  $K_{HgTe}$  добре відповідали експоненціальній залежності  $K_{HgTe} = 6,22 \cdot 10^{-3} \exp\frac{3032}{T}$ ,

а константа дисоціації двохатомного телуру виявилася незалежною від температури  $K_{Te_2} = 5$ .

Відповідні значення концентрацій ртуті та телуру, що забезпечують стехіометричний склад розплаву і заданий тиск парів при температурі плавлення, склали:  $x_{Hg}^{St} = 0,2903$  мол. дол. і  $x_{Te}^{St} = 0,2305$  мол. дол.

На рис. 1-3 наведені результати розрахунків ліній ліквідусу системи і температурні дані по парціальним тискам телуру і ртуті, уздовж ліквідусу системи. Можна стверджувати, що відлому знайдений набір термодинамічних функцій і сама модель поліасоціативних розчинів забезпечує гарну відповідність теорії експерименту. Сказане найменшою мірою відноситься до даних по тиску ртуті в збагаченій телуrom частині діаграми стану (рис. 2). Але навіть ця розбіжність не перевищує  $(10 \div 15) K$ , що так само цілком прийнятно для термодинамічних розрахунків.

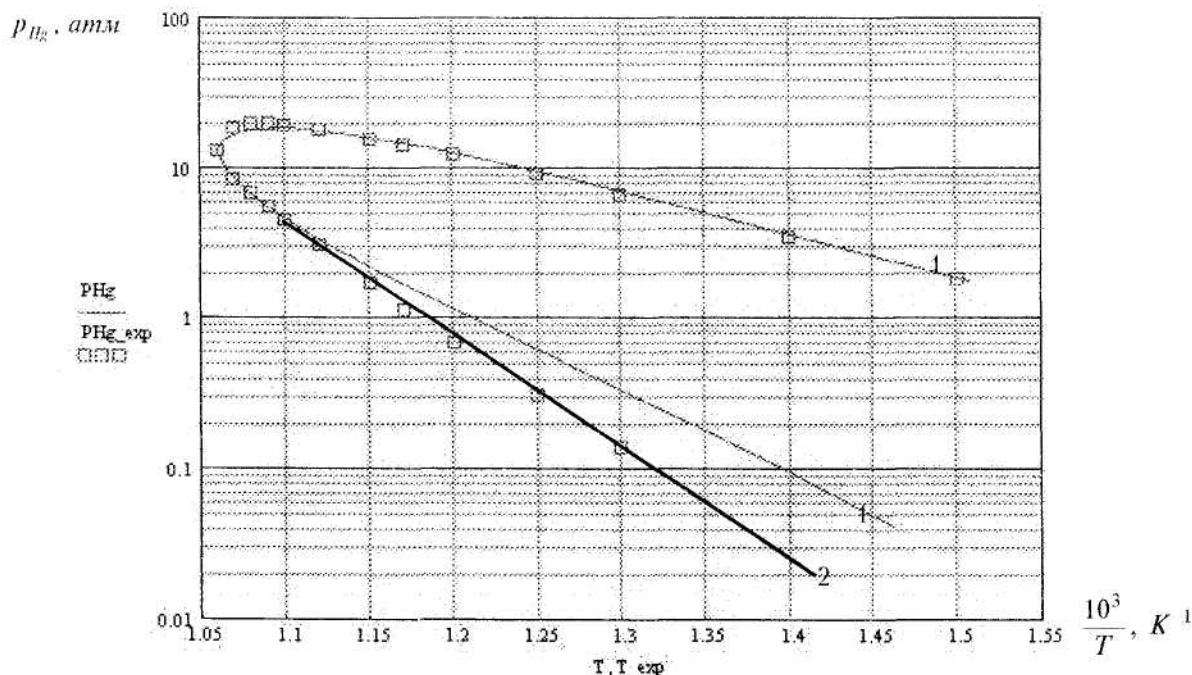


Рис. 2. Залежність парціального тиску ртуті від температури вздовж лінії трифазної рівноваги в системі Hg-Te. Експериментальні дані [10]; 1 – розрахунки при  $\Delta S^F = 9,25$  е.о.;

$$2 - \Delta S^F = 14 \text{ е.о. } \frac{10^3}{T}, K^{-1}$$

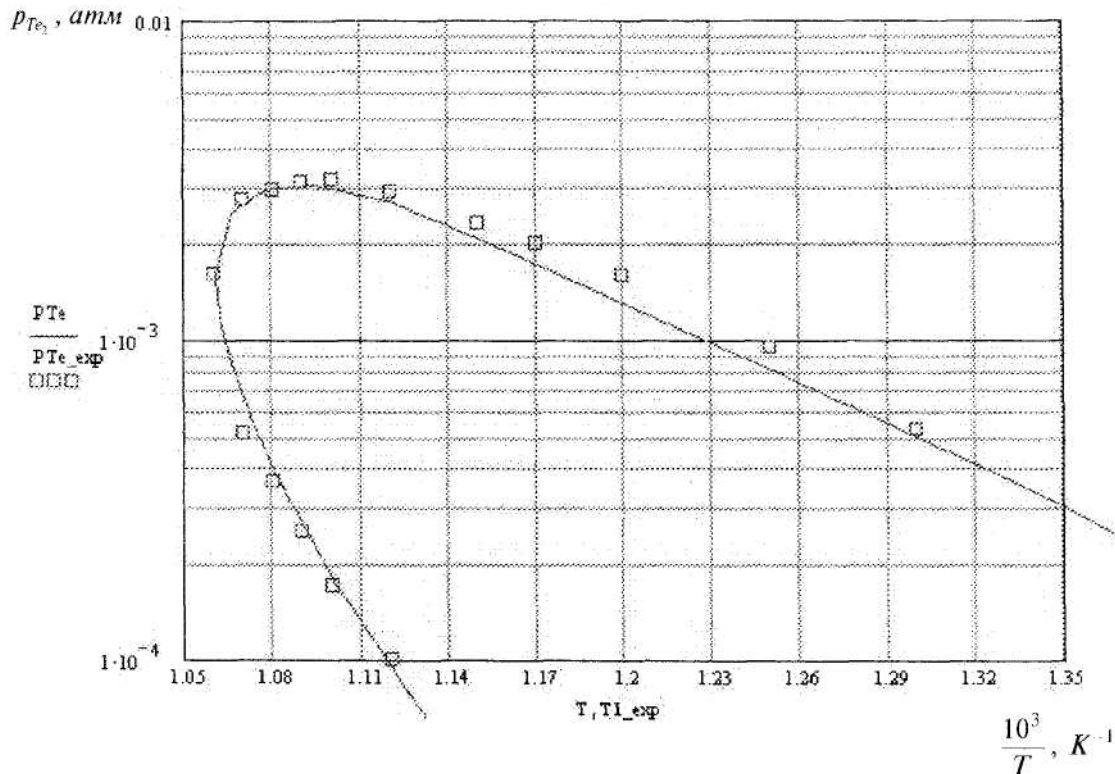


Рис. 3. Залежність парціального тиску двохатомного телуру від температури вздовж лінії трифазної рівноваги в системі Hg-Te. Експериментальні дані [10]

У роботі виконані подальші спроби збільшити точність в описі P-T-X рівноваг, особливо у відношенні тиску парів ртуті. Проте виявилось, що навіть істотною варіацією констант дисоціації значно змінити хід P-T залежності не вдається. Цей факт свідчить про істотну стійкість моделі до вибору параметрів, що є позитивним фактом. У той же час для подальшого збільшення достовірності опису, напевно, треба істотний перегляд асоціативного складу розплаву або ж введення інших заходів. Притримуючись шляху підвищення точності опису, у роботі виконаний аналіз впливу розходження між теплоємностями розплаву і кристала (чинник  $\Delta C_p$ ) на зміни становища розрахункових ліній рівноваги в системі. Наші оцінки показали, що зневага подвійного інтеграла у формулі (4) дуже слабо позначається на розрахункових лініях P-T-X рівноваги. Помилка при використанні даних по теплоємностях з [8] складала не більше 1–2 K. Таких численних коригувань явно недостатньо для усунення зазначеної раніше неточності в описі тиску ртуті.

Єдиним параметром, чисельне значення якого відоме не дуже точно, є ентропія плавлення сполуки  $HgTe$ . Тому в роботі був виконаний комплекс розрахунків з різноманітними значеннями  $\Delta S^{\#}$ . Варто відразу зазначити, що зміна цього параметра моделі істотно позначалася на розрахунковому тиску парів ртуті в системі. Такий результат не є несподіваним. Дійсно, при апробуванні моделі простих розчинів для опису фазових рівноваг у системі  $Ga-P$  в роботі [9] для коригування розрахункових даних по тиску фосфору уздовж ліквідусу так само проводилася варіація даних по ентропії плавлення сполуки. Роблячи подібним способом і збільшуючи ентропію плавлення  $HgTe$  до 14 e.o., нам вдалося досягти високого ступеня точності в описі всієї сукупності даних по рівновагах у системі. Результати цих розрахунків цілком збігаються з даним рис. 1 і 3 по ліквідусу системи і тиску парів двохатомного телуру і відповідають експериментальним результатам рис. 2 по тиску ртуті над розплавом, збагаченим телуром. Скориговані нові значення і вид температурних залежностей констант дисоціації виявився таким:  $K_{HgTe} = 0,155$ ;

$$K_{HgTe_2} = 9,4 \cdot 10^{17} \exp \left[ \left( 6,347 \cdot 10^4 + \frac{2,221 \cdot 10^7}{T} \right) / T \right]; K_{Te_2} = 5.$$

На даному етапі аналізу фазових рівноваг у системах  $A^2B^6$  віддати перевагу знайденому в роботі значенню ентропії плавлення в порівнянні з експериментальними даними [2] усе ж

важко і передчасно. Істотно, що подальший аналіз фазових рівноваг у рамках моделі поліасоційованих розчинів у родинних системах, таких як *Cd-Te* і *Zn-Te*, дозволить дати однозначну відповідь щодо значення цього параметра. У той же час гарна відповідність розрахунків експерименту при істотному зменшенні параметрів термодинамічної моделі є доведеною.

Таким чином, в даній роботі кількісно доведена придатність моделі поліасоційованих розчинів до опису фазових рівноваг у напівпровідникових системах  $A^2B^6$ , знайдені склади і параметри утворення найбільш численних комплексів у рідкій фазі *Hg-Te*.

Автор дякує д.ф.-м.н., проф. Москвіну П.П. за консультації з застосування теорії асоційованих розчинів до опису фазових рівноваг.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. *Tse Tung, Ching-Hua Su, Pok-Kai Liao, Brebrick R.F.* Measurement and Analysis of the Phase Diagram and Thermodynamic Properties In the Hg-Cd-Te system // *J. Vac. Sci. Technol.* – V. 21. – № 1. – 1982. – P. 117–124.
2. *Brebrick R.F.* Thermodynamic Modeling of the Hg-Cd-Te and Hg-Zn-Te Systems // *J. Crystal Growth.* V. 86. – 1988. – P. 39–48.
3. *Глазов В.М., Павлова Л.М.* Химическая термодинамика и фазовые равновесия. – М.: Металлургия, 1980. – 560 с.
4. *Бережной А.С.* Многокомпонентные системы окислов. – Киев: Наукова думка, 1970. – 544 с.
5. *Лыгин С.А., Москвин П.П., Пшеничнов Е.В., Саенко И.В.* Равновесия кристалл-расплав-газ в области образования шпинели системы цинк-марганец-железо-кислород. III. Термодинамика фазовых равновесий и диаграмма состояния в области образования шпинели системы цинк-марганец-железо-кислород // *Журн. физич. химии.* – Т. 66. – 1992. – № 9. – С. 2310–2315.
6. *Zhovnir G.I., Rashkovetsky L.V., Kavertsev S.V., Moskvina P.P.* Calculation of the phase equilibrium in  $A_2B_6$  systems in approximation of the Ideal Associated Solution in the Liquid Phase. – V Internat. Confertyce Material Science & Material Properties for Infrared // *Optoelectronics.* – 22–24 May, 2000. – Kyiv. abst. P. 119.
7. *Кейси Х., Панши М.* Лазеры на гетероструктурах. Т. 2. Материалы и рабочие характеристики. – М.: Мир, 1981. – 364 с.
8. *Справочник химика.* Т. 1 / Под ред. Б.П. Никольского, О.Н. Григорьева, М.Г. Пезина и др. – М: Химия, 1962. – С. 895.
9. *Panish M.B.* A Thermodynamic Evaluation of Simple Solution Treatment of Ga-P, In-P, Ga-As systems // *J. Cryst. Growth.* – 1974. – V. 27. – № 1. – P. 6–20.
10. *Brebrick R.F., Strauss A.J.* Partial Pressures of Hg(g) and Te<sub>2</sub>(g) in Hg-Te system from Optical Densities // *J. Phys. Chem. Solids.* – 1965. – V. 26. – P. 989–1002.
11. *Harman J.C.* Liquidus Isotherms, Solidus Lines & LPE growth in the Te-rich corner of the Hg-Cd-Te system // *J. Electron. Mater.* – V. 9. – 1980. – P. 945–961.

РУДЕНЬКИЙ Андрій Олександрович – аспірант Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

– моделювання технологічних процесів отримання багатоконпонентних напівпровідникових кристалів та шарів;

– напівпровідникові оптоелектронні прилади на базі багатоконпонентних напівпровідникових твердих розчинів.

Подано 7.02.2001