

## ЕФЕКТИВНИЙ КОЕФІЦІЄНТ РОЗПОДІЛУ Sn і Mn У БАГАТОКОМПОНЕНТНОМУ ТВЕРДОМУ РОЗЧИНІ $Pb_{1-x-y}Sn_xMn_yTe$

Експериментально визначені коефіцієнти сегрегації Sn і Mn у багатокомпонентному твердому розчині  $Pb_{1-x-y}Sn_xMn_yTe$ . Відносна близькість значень коефіцієнтів сегрегації для Sn і Mn не вписується в рамки моделі ідеальних твердих розчинів.

The segregation coefficients have been determined experimentally in the  $Pb_{1-x-y}Sn_xMn_yTe$  multi-component solid solutions. The relative intimacy of the  $k$ -values for Sn and Mn is not inscribed in the model of the ideal solid solutions.

Інтерес до напівмагнітних напівпровідників на основі багатокомпонентних твердих розчинів пов'язаний з можливістю змінювати основні характеристики кристалів (ширину забороненої зони і параметр ґратки) в залежності від складу [1]. Це становить як науковий, так і практичний інтерес, зокрема, при розробці напівпровідникових лазерів, керованих магнітним полем.

Предметом дослідження в даній роботі є кристали  $Pb_{1-x-y}Sn_xMn_yTe$  ( $x=0,06$ ,  $y=0,02$ ), які вирощувались методом Бріджмена з температурним градієнтом на фронті кристалізації  $35^\circ\text{C}/\text{см}$  при швидкості вирощування  $1\text{ мм}/\text{год}$  з попередньо синтезованого матеріалу. Синтез проводився за звичайною технологією з чистих матеріалів (Pb-0000, Sn-0000, телур "Екстра", Mn - очищений вакуумною дистиляцією) в графітізованих кварцових ампулах. Свинець і олово перед завантаженням очищувались від окислів хімічним травленням. Під час відкачки ампула з навантаженнями компонентів прогрівалась до  $200^\circ\text{C}$  для усунення адсорбованої вологи.

Синтезований злиток завантажувався в рістину графітізовану ампулу з конічним дном і вакуумувався перед запаюванням до  $10^{-6}$  Торр.

У конічній частині вирощених злитків спостерігались декілька монокристалічних блоків; у циліндричній, як правило, – 1-2 блоки. Злиток розрізався на шайби товщиною  $1,6\text{ мм}$  перпендикулярно до осі злитка. Порушений шар вилучався хімічним поліруванням.

Вимірювання складу проводилось за допомогою рентгенівського флуоресцентного аналізу (Інститут фізики Польської АН). Для обробки

одержаних результатів і визначення ефективних коефіцієнтів сегрегації  $k$  застосована модель сегрегації з роботи [2].

Концентрація компонента в кристалі поблизу плоскої поверхні розділу твердої та рідкої фаз визначається за формулою:

$$C_{\text{кр}} = -dM/dX, \quad (1)$$

де  $X$  - відносний об'єм закристилізованої частини злитка (відношення об'єму закристилізованої частини злитка до об'єму всього злитка),  $dM$  - кількість компонента, захопленого при кристалізації відносного об'єму  $dX$ .

Якщо знехтувати підвищенням концентрації в тонкому шарі біля фронту кристалізації, то середня концентрація домішкового компонента в рідині буде:

$$C_{\text{рід}} = M/(1-X) = C_{\text{кр}}/k = -(1/k) \cdot (dM/dX). \quad (2)$$

Внаслідок розділення змінних та інтегрування одержуємо:

$$C_{\text{кр}} = kC_0(1-X)^{k-1}, \quad (3)$$

де  $C_0$  - початкова концентрація, що визначається наважкою.

Прологарифмувавши рівняння (3), одержимо рівняння прямої лінії з кутовим коефіцієнтом  $a=(k-1)$  і початковою ординатою  $b=\lg(kC_0)$ :

$$\lg C_{\text{кр}} = \lg(kC_0) + (k-1)\lg(1-X). \quad (4)$$

Отже, експериментальну криву залежності концентрації домішки  $C_0$  від лінійної координати  $l_x$  (від початку кристалізації до її кінця) потрібно побудувати в логарифмічних координатах. Тоді величину  $k$  можна визначити двома шляхами: з

тангенсу кута нахилу прямої відносно осі абсцис (з урахуванням знака: кут  $\alpha$  відраховується від позитивного напрямку осі) і з величини початкової ординати  $b$ . У першому випадку ефективний коефіцієнт сегрегації позначимо через  $k^a$ , в другому - через  $k^b$ .

З експериментальних кривих рис. 1 і формули (4) одержано такі значення  $k$  для Mn і Sn:

$$k^a(\text{Mn})=0,79, \quad k^b(\text{Mn})=0,89,$$

$$k^a(\text{Sn})=0,84, \quad k^b(\text{Sn})=0,92.$$

З огляду на спрощену модель кристалізації, збіг величин  $k^a$  і  $k^b$  можна вважати задовільним. Необхідно відзначити загальний характер відхилення від прямої експериментальних точок для Mn і Sn на початку злитка. Найбільш імовірною причиною може бути відхилення форми фронту кристалізації від плоскої саме в кінчній частині злитка внаслідок радіального градієнта температур. На це вказує також більш розвинена блочна структура кристала на початку злитка - в його кінчній частині.

З точки зору теорії ідеальних розчинів, найбільш несподіваним є відносна близькість ефективних коефіцієнтів розподілу  $k$  для Mn і Sn. Дійсно, якщо порівняти ентальпії утворення бінарних компонентів PbTe, SnTe і MnTe, то збільшення вмісту SnTe можна пояснити згаданою теорією. Для вмісту MnTe можна було б очікувати протилежної поведінки.

Отже, твердий розчин PbSnMnTe повинен аналізуватись на основі більш складної теорії.

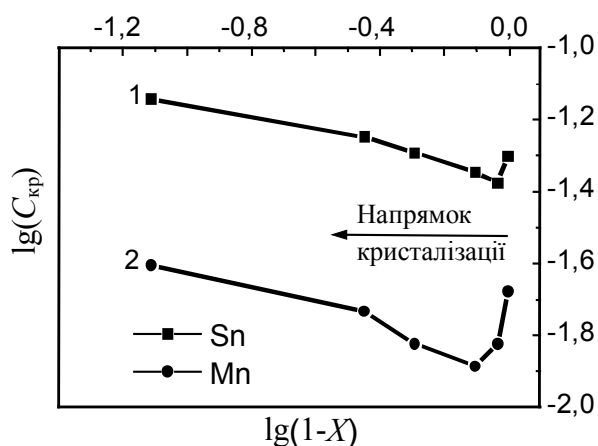


Рис.1. Вміст домішок Sn і Mn на границі фронту кристалізації.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Miotkowska S., Kachniarz J., Dynowska E., Stopy T., Jedrzejczak A. Solubility limit of Mn in the semi-magnetic semiconductor  $\text{Pb}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{Mn}_y\text{Te}$  // Journal of Crystal Growth. - 1997. - 172. - P.455-458.
2. Медведев С. А. Введение в технологию полупроводниковых материалов. - М.: Высшая школа, 1970.