

ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ ТА ТЕРМОЕРС РОЗПЛАВІВ CdTe

Склярчук В. М.^a, Плевачук Ю. О.^{a, b}, Ільчук Г. А.^b, Петрусь Р. Ю.^b

^a Львівський національний університет імені Івана Франка

вул. Кирила і Мефодія, 8, Львів, 79005, Україна

^b Національний університет “Львівська Політехніка”

вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна

(Отримано 20 вересня 2014 р.)

У широкому температурному діапазоні досліджено температурні та концентраційні залежності електропровідності та термоЕРС сплавів Cd–Te у рідкому стані. Встановлено, що в розплавах, хімічний склад яких близький до Cd₅₀Te₅₀, спостерігається зміна типу провідності.

Ключові слова: CdTe, напівпровідник, електропровідність, термоЕРС, розплав.

PACS: 72.80.Cw

УДК: 621.315.592

Вступ

Сплави на основі CdTe широко застосовують у приладобудуванні [1, 2], що зумовлює нові вимоги до керування процесами росту його кристалів з розплаву, і відповідно, властивостями. Для вирішення низки технологічних проблем необхідні дані про електрофізичні властивості розплаву CdTe, особливо в області стехіометричного складу. Експериментальні дослідження CdTe в рідкому стані є нечисленними з огляду на високу температуру плавлення, а також на високий тиск насичених парів компонентів. Проведені структурні дослідження показали збереження координаційного числа під час переходу від твердої до рідкої фази в деякому діапазоні вище від температури плавлення T_m [3, 4], що одержало підтвердження в [5]. Також були проведені ґрунтовні електрофізичні дослідження [6], але за невисокого надлишкового тиску, що, на нашу думку, не цілком достатньо для коректних вимірювань. У цій роботі наведено результати комплексних вимірювань електропровідності та термоЕРС розплавів Cd_xTe_{100-x} в околі стехіометричного еквіатомного складу в широкому температурному інтервалі.

I. Особливості експерименту

Вимірювання електропровідності і термоЕРС проводили у спеціальній камері високого тиску (до 25 МПа) за температури до 1600 К. Був використаний спеціально розроблений контейнер з нітриду бору, особливість конструкції якого полягає в тому, що він виготовлений у вигляді двох співвісних циліндрів з різними, але співвимірними радіусами. Глибина проникнення агресивного розплаву в кераміку вважається величиною постійною. У певний

спосіб, ми отримали змогу аналітично усунути похибки, які виникають під час утворення шунтуючого шару. Безпосередній контакт “вимірювальна лінія – розплав” забезпечувався через графітові електроди, у які запресовувались термопарні електроди, що, своєю чергою, використовувались як потенціальні і струмові контакти. Використовувались термопари ВР5/ВР20. Геометричні розміри контейнера розраховувались на базі загального гідродинамічного рівняння Нав'є-Стокса. Наважені з точністю до 10⁻⁴ г компоненти Cd (99.998 % чистоти) і Te (99.999 %) змішували у відкачаних до 10 Па і запаяних кварцових ампулах. Потім зразок заплавляли під тиском у вимірювальну комірку. Втрати не перевищували 0.02 ат.%. Вимірювали електропровідність традиційним чотиризондовим методом на змінному струмі, а термоЕРС – за відомою методикою з контрольованим градієнтом температури в 10–15 К. Похибка вимірювання електропровідності становить 2 %, а термоЕРС – 5 %. Вимірювальна установка і процедура вимірювань описані в [7].

II. Експериментальні результати та обговорення

Експериментальні результати вимірювань електропровідності, $\sigma(T)$, і термоЕРС, $S(T)$, досліджених розплавів наведено на рис. 1, як функції температури.

Електропровідність розплавів всіх досліджених концентрацій лінійно зростає в усьому дослідженому температурному інтервалі, за винятком концентрацій з $x = 60$ і $x = 58$, де виявлене відхилення від лінійної залежності. Експериментальні криві $\sigma = f(T)$ мають практично однаковий нахил, що свідчить про незначну залежність ширини псевдощільності від концентрації. Слід зазначити, що електро-

провідність зберігає напівпровідникові властивості в усьому дослідженому інтервалі. На концентраційних залежностях $\sigma(x)$ виявлено мінімум для $x = 54$; за $x < 54$ електропровідність слабо залежить від концентрації, а за $x > 54$ – швидко зростає зі збільшенням вмісту кадмію (див. табл. 2).

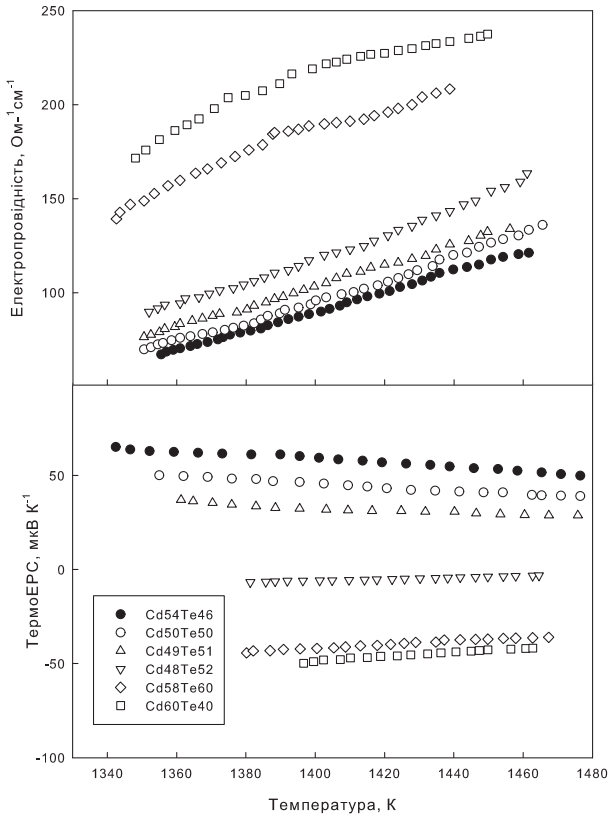


Рис. 1. Температурні залежності електропровідності та термоЕРС розплавів CdTe

Таблиця 1

ТермоЕРС розплавів CdTe за різних температур

Сплав	S, мкВ/К		
	1380 К	1410 К	1460 К
$Cd_{48}Te_{52}$	61.9	58.3	52.6
$Cd_{49}Te_{51}$	48.1	44.8	39.7
$Cd_{50}Te_{50}$	33.7	31.5	29.1
$Cd_{54}Te_{46}$	-6.7	-5.6	-3.3
$Cd_{58}Te_{42}$	-44.3	-41.1	-36.3
$Cd_{60}Te_{40}$	–	-46.9	-42

ТермоЕРС у рідкому стані набуває типових для напівметалів значень. Для розплавів з $x = 48, 49, 50$ знак S є додатним, а для $x = 54, 58, 60$ – від'ємним, тобто спостерігається концентраційний p-n перехід.

Для таких розплавів використано двоструктурну модель і запропоновано механізм зміни електронних властивостей з локальним електронним і напівпровідниковим спектром [8]. Розглянено випадок, коли локальний рівень Фермі розташований у межах псевдоцілини напівпровідника, а глибина проникнення

металевого електрона в кластер незначна. У цьому випадку ефектом тунелювання можна знехтувати. Тоді густину станів задають виразом:

$$N(E_f) = N_0(E_f)C(E_f),$$

де $N_0(E_f)$ – реальна густина станів у металевій фазі; $C(E_f)$ – частка об'єму, зайнятого металевою фазою.

Таблиця 2

Електропровідність розплавів CdTe за різних температур

Сплав	$\sigma, \text{Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$			
	1380 К	1390 К	1400 К	1440 К
$Cd_{48}Te_{52}$	104.2	110.5	117.2	143.3
$Cd_{49}Te_{51}$	91.1	97.8	103.3	119.6
$Cd_{50}Te_{50}$	82.5	89.0	95.9	111.9
$Cd_{54}Te_{46}$	79.8	84.3	89.9	106.4
$Cd_{58}Te_{42}$	175.9	185.8	188.6	204.0
$Cd_{60}Te_{40}$	204.9	211.1	219.1	231.4

За $C(E_f) = C_{crit}$ утворюється нескінченний металевий кластер, тобто електрони, що були локалізовані на окремих кластерах, делокалізуються. Варто наголосити, що в цьому випадку припускається існування двох видів локалізованих станів. Перший з них відповідає за стабілізацію кластерів, а другий відповідає певним станам у металевій області, які можуть стати локалізованими, якщо $C(E_f) < C_{crit}$. Тоді перехід від одного типу провідності до іншого пов'язаний зі зміною концентрації співіснуючих фаз. Інший підхід для інтерпретації концентраційного переходу запропонував Ендербі в роботі [9]. У згаданій праці запропоновано степеневу залежність електропровідності від енергії на краях зон провідності і валентної. За надлишку кадмію відносно стехіометричного еквіатомного складу CdTe рівень Фермі розташований ближче до зони провідності, що зумовлює n-тип провідності. За надлишку телуру рівень Фермі зміщується до валентної зони, що і визначає p-тип провідності.

Поведінка термоЕРС є типовою для випадку регульованої зміни концентрації носіїв різних знаків. У випадку, коли в провідності беруть участь носії одного знака, за зменшення концентрації носіїв термоЕРС має зростати. Отже, якщо домішка забезпечує створення провідності завдяки носіям одного знака, термоЕРС повинна зростати за наближення вмісту до стехіометричного складу. Однак в околі стехіометричного складу домішкових носіїв недостатньо для компенсації власної провідності. У цьому випадку з'являються носії іншого знака, провідність стає змішаною і термоЕРС зменшується. Величина та знак термоЕРС за строго стехіометричного складу визначається співвідношенням рухливості електронів і дірок. Залежність термоЕРС від концентрації (рис. 1) відповідає описаному випадку і може бути вагомим аргументом на користь того, що

сплави з надлишком кадмію є електронними, а з надлишком телуру – дірковими розплавами. Електропровідність розплавів біля стехіометричного складу є змішаною. Схематично поведінку густини станів показано на рис. 2.

III. Висновки

Показано, що в околі стехіометричної концентрації CdTe за зміни концентрації легуючого елемента, а також за зростання температури рівень Фермі зміщується ближче до середини псевдощільни. У цьому випадку внески в електропровідність можуть робити обидві зони - провідності і валентна. Тоді за малих значень електропровідності можуть бути і малі значення термоЕРС, що і спостерігаємо на температурних і концентраційних залежностях досліджених властивостей.

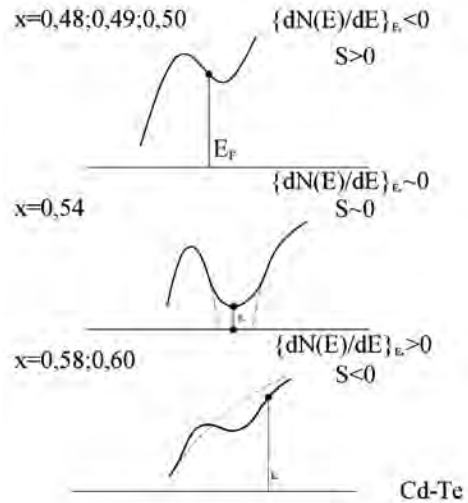


Рис. 2. Схематична поведінка густини станів розплавів CdTe

Література

- [1] Growth, characterization and applications of bulk II – VIs.: Proceed. Symp. E-MRS 1998 Spring confer., 26–30 May. 1998., Strasbourg, France. / ed. R. Triboulet, P. Capper and Mueller. – Strasbourg: Elsevier, 1998. – 748 p.
- [2] Self-compensation studies in Cd-saturated In-doped CdTe / L. Shcherbak, P. Feichouk, P. Fochouk, O. Panchouk // J. Cryst. Growth. – 1996. – V. 161. – P. 219–222.
- [3] Local orders in II-VI liquid compounds / J.-P. Gaspard, J.-Y. Raty, R. Ceolin, R. Bellissent // J. Non-Cryst. Solids. – 1996. – V. 205-207. – P. 75–78.
- [4] Local order and metal-non-metal transition in Cd_xTe_{1-x} : a neutron diffraction study / G. Prigent, R. Bellissent, R. Ceolin [et al.] // J. Non-Cryst. Solids. – 1999. – V. 250–252. – P. 297–300.
- [5] CdTe-Ge melt structure rearrangement study / L. Shcherbak, P. Feychuk, Yu. Plevachuk [et al.] // Phys. Stat. Sol. B. – 2002. – V. 229, №1. – P. 165–169.
- [6] Reflection of light from a random amplifying medium with disorder in the complex refractive index: Statistics of fluctuations / A. Ben Moussa, B. Giordanengo, J. C. Humbert [et al.] // Phys. Rev. B. – 2000. – V. 62, № 23. – P. 256–261.
- [7] Plevachuk Yu. Electrophysical measurements for strongly aggressive liquid semiconductors / Yu. Plevachuk, V. Sklyarchuk // Meas. Sci. Technol. – 2001. – Vol. 12, № 1. – P. 23–26.
- [8] Cohen M. Electronic structure of liquid and amorphous alloys with clusters / M. Cohen, J. Sak // J. Non-Cryst. Solids. – 1972. – V. 8–10. – P. 696–701.
- [9] Enderby J. E. Liquid semiconductors / J. E. Enderby, A. C. Barnes // Rep. Prog. Phys. – 1990. – V. 53. – P. 85–179.

ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ И ТЕРМОЭДС РАСПЛАВОВ CdTe

Склярчук В. М.^a, Плевачук Ю. О.^{a,b}, Ильчук Г. А.^b, Петрусь Р. Ю.^b

^a Львовский национальный университет имени Ивана Франко
ул. Кирилла и Мефодия, 8, Львов, 79005, Украина

^b Национальный университет "Львівська політехніка"
ул. С. Бандеры, 12, Львов, 79013, Украина

В широком температурном диапазоне исследованы температурные и концентрационные зависимости электропроводности и термоЭДС сплавов Cd-Te в жидком состоянии. Установлено, что в расплавах, химический состав которых близкий к Cd₅₀Te₅₀, наблюдается изменение типа проводимости.

Ключевые слова: CdTe, полупроводник, электропроводность, термоЭДС, расплав.

PACS: 72.80.Cw

УДК: 621.315.592

ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF LIQUID CdTe -BASED ALLOYS NEAR THE STOICHIOMETRIC COMPOSITION EQUIATOMIC COMPOSITION

Sklyarchuk V. M.^a, Plevachuk Yu. O.^{a,b}, Ilchuk G. A.^b, Petrus R. Yu.^b

^a Ivan Franko National University
8 Kyrylo and Mephodiy Str. 79005 Lviv, Ukraine

^b Lviv Polytechnic National University
12 S. Bandera Str., 79013 Lviv, Ukraine

Temperature and concentration dependencies of electrical conductivity and thermoelectric power were investigated for liquid Cd-Te in a wide temperature range. It was revealed that a change of conductivity type takes place in the alloys with a chemical composition close to Cd₅₀Te₅₀.

Key words: CdTe, semiconductor, electrical conductivity, thermoelectric power, melt.

PACS: 72.80.Cw

UDK: 621.315.592