

ВПЛИВ ТОЧКОВИХ ДЕФЕКТІВ НА АНІЗОТРОПІЮ ТЕРМОЕРС CdSb В ОБЛАСТІ ВЛАСНОЇ ПРОВІДНОСТІ

Наведені результати дослідження анізотропії термоерс CdSb в області власної провідності. Показано, що повне узгодження теоретичних результатів з експериментальними можливе лише в тому випадку, якщо врахувати наявність у зразках дефектів за Френкелем.

The results of researches of anisotropic thermo power of CdSb in the range of intrinsic conduction are represented. It is show that the good agreement between the theoretical and experimental results can be received only if to take info account the Frenkel defects.

Вступ

Згідно з [1, 2], інтерметалічна сполука CdSb володіє добре вираженою анізотропією фізичних властивостей. Монокристали цієї сполуки в даний час є найбільш підходящим термоелектричним матеріалом для виготовлення анізотропних термоелементів, які можуть бути використані у виробництві високочутливих і малоінерційних теплоперетворювачів.

В [3, 4] показано, що у випадку орторомбічних кристалів (CdSb, ZnSb) поперечна термоерс, що виникає у зразку, який має форму прямокутної пластинки, вирізаної в площині (100), залежить від багатьох факторів, визначальним з яких є анізотропія термоерс

$$\Delta\alpha = \alpha_{33} - \alpha_{22}. \quad (1)$$

Залежність $\Delta\alpha$ від типу легуючої домішки і температури досліджували в [5]. Встановлено, що у випадку нелегованого CdSb $\Delta\alpha$ набуває найбільші значення в області переходу до власної провідності. При збільшенні температури зразка вище 350–400 К анізотропія термоерс починає помітно падати. Звертає на себе увагу ще й те, що з підвищенням температури компонента α_{22} двічі змінює знак [2, 6]. В праці [5] зазначається, що в разі введення в CdSb донорної домішки In $\Delta\alpha \approx 0$, а на зразках з акцепторною домішкою Ag, $\Delta\alpha$ не перевищує 20–30 мкВ/К.

Автори [7, 9] досліджували невідтворюваність електричних властивостей кристалів CdSb, яка виникає при нагріванні зразків вище ~ 400 К. Одержані авторами результати дозволяють вважати, що ця невідтворюваність зв'язана з тепловою дисоціацією кристалів і утворенням дефектів за

Френкелем, ріст концентрації яких з температурою, як відомо, має експоненційний характер [9, 10]:

$$N_F = N_0 \exp(W/2kT), \quad (2)$$

де N_0 – передекспоненційний множник; W – енергія активації; k – постійна Больцмана; T – абсолютна температура. Знайдені в [8, 9] значення енергії активації складають 0,7–0,8 еВ.

У даній роботі зроблена спроба встановити характер зміни анізотропії термоерс у легованому CdSb в області температур вище 350 К і, крім того, знайти пояснення такому явищу, як подвійна інверсія знака α_{22} .

Результати досліджень та їх обговорення

Експериментальне дослідження температурної залежності компонент тензора термоерс в області власної провідності CdSb здійснювалося на зразках, вирізаних вздовж кристалографічних напрямків [100], [010] та [001]. Кристали, з яких вирізувалися зразки, були вирощені методом Чохральського. У нелегованому CdSb концентрація носіїв заряду при 77 К складала $N_A \approx 1,2 \cdot 10^{15}$ см⁻³. Кристали з більш високою концентрацією носіїв заряду дірок були отримані шляхом легування домішками Ge та Ag.

Знаходження теоретичних температурних залежностей компонент тензора термоерс і $\Delta\alpha$ здійснювалося згідно з методикою, описаною в [11], у наближенні однозонної моделі валентної зони і зони провідності. При цьому враховувалось те, що основним механізмом розсіяння носіїв заряду є розсіяння на акустичних фонах, ефективні маси електронів і дірок є тензорами, а час

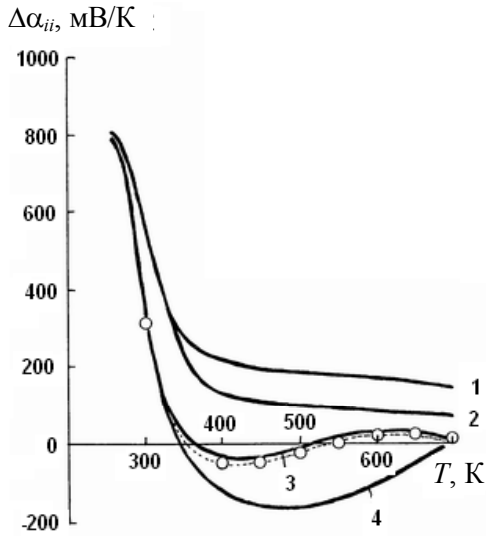


Рис. 1. Залежність α_{33} (1, 2) і α_{22} (3, 4) від T з врахуванням (1, 3) і без врахування (2, 4) дефектів за Френкелем. Маркери – експериментальні дані

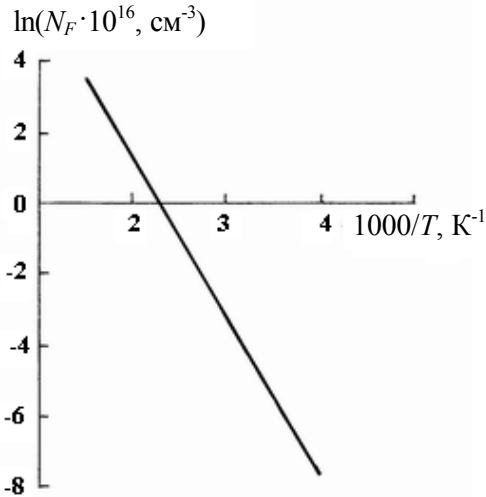


Рис. 2. Залежність N_F від T за умови, коли $N_0 = 4 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ і $W = 0,8 \text{ eV}$

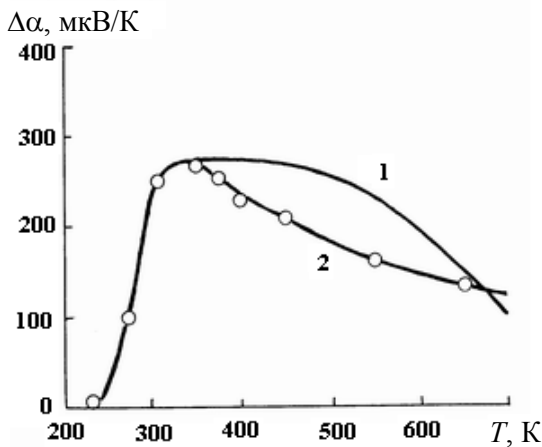


Рис. 3. Залежність $\Delta\alpha$ від T для випадку нелегованого CdSb: без врахування (1) і з врахуванням дефектів за Френкелем (2). Маркери – експериментальні дані

релаксації – скаляром. У розрахунках були використані значення компонент тензора ефективних мас електронів і дірок, а також значення ефективних мас густини станів m_{nd}^* та m_{pd}^* , одержаних у роботі [12]. Постійні a_n та a_p , які входять у формули для часу релаксації електронів і дірок

$$\tau_{ak}^{(n)} = \frac{a_n}{T \cdot \sqrt{E}}, \quad \tau_{ak}^{(p)} = \frac{a_p}{T \cdot \sqrt{E}}, \quad (3)$$

де E – енергія носіїв заряду, мали значення відповідно $1,3 \cdot 10^{-12} \text{ eV}^{1/2} \cdot \text{K} \cdot \text{c}$ і $1,9 \cdot 10^{-12} \text{ eV}^{1/2} \cdot \text{K} \cdot \text{c}$.

При знаходженні концентрації носіїв заряду (електронів і дірок) враховувалась залежність ширини забороненої зони від температури [13,14], а також наявність у кристалах залишкових електрично активних точкових дефектів (N_A) і дефектів за Френкелем (N_F).

На рис. 1 зображені теоретично знайдені залежності компонент α_{22} і α_{33} від температури для двох випадків – без врахування і з врахуванням утворення в досліджуваних зразках дефектів за Френкелем. Найкращий збіг теоретичних результатів з експериментальними був одержаний при використанні даних про ступінь росту концентрації дефектів за Френкелем (рис. 2), наведених в [9].

На рис. 3 зображені залежності анізотропії термоерс від температури в області власної провідності CdSb, для побудови яких було використано залежності $\alpha_{22}(T)$, $\alpha_{33}(T)$, знайдені без урахування (крива 1) і з урахуванням (крива 2) дефектів за Френкелем, ріст концентрації яких з температурою має експоненційний характер. З рис. 3 видно, що криві 1 і 2 сильно відрізняються за формою, а експериментальні точки лягають на криву 2. Збіг розрахованої залежності $\Delta\alpha(T)$, представленої кривою 2, з експериментальними даними говорить про те, що на характер залежності $\Delta\alpha$ від T в CdSb утворення дефектів за Френкелем справляє суттєвий вплив і його необхідно враховувати при проведенні розрахунків.

Дослідження на зразках, виготовлених із легованих кристалів, показали, що при наявності в них акцепторних домішок знак компоненти α_{22} в усьому досліджуваному інтервалі температур залишається додатним (рис. 4), анізотропія термоерс зменшується, а максимум $\Delta\alpha$ зсувається в бік більш високих температур (рис. 5). Останнє відбувається тому, що в легованому напівпровідниковому матеріалі температура переходу до власної провідності зсувається в бік більш високих значень T , а в області виснаження домішок $\Delta\alpha$ практично дорівнює нулеві.

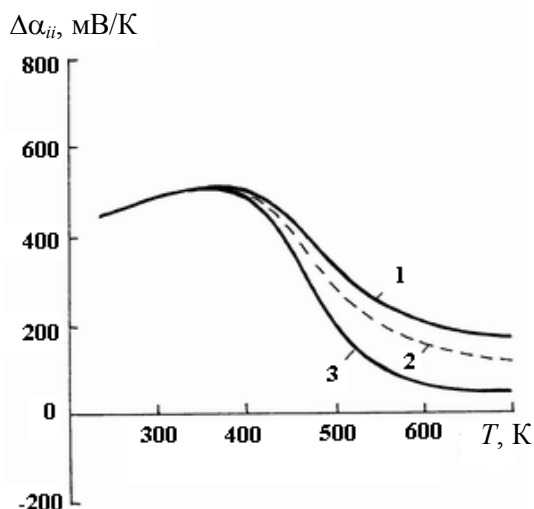


Рис. 4. Залежність компонент тензора термоерс від T у разі легованого CdSb ($N_A \approx 10^{17} \text{ cm}^{-3}$): α_{33} (1), α_{11} (2), α_{22} (3)

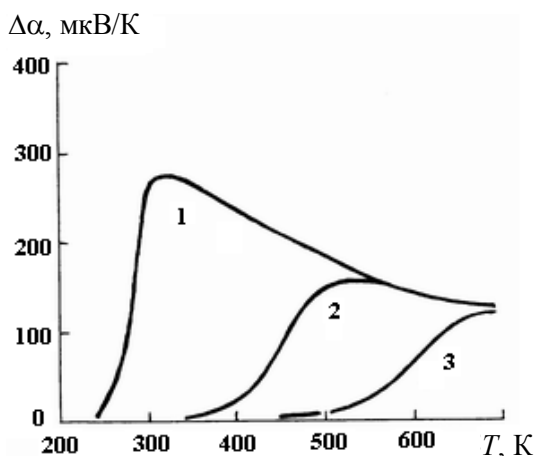


Рис. 5. Температурні залежності анізотропії термоерс зразків із вмістом домішок $1,2 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ (1), 10^{17} cm^{-3} (2), 10^{18} cm^{-3} (3)

Висновки

Проведені дослідження температурної залежності компонент тензора термоерс CdSb в області власної провідності вказують на те, що такі точкові дефекти, як акцепторні домішки і дефекти за Френкелем, суттєво впливають на величину і характер температурної залежності анізотропії термоерс.

Виконані в роботі розрахунки свідчать про те, що повний збіг теоретичних результатів з експериментальними можна одержати, якщо скористатися даними роботи [12] і вважати значення енергії утворення дефектів за Френкелем таким, що дорівнює 0,8 eV.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лазарев В.Б., Шевченко В.Я., Гринберг Я.Х., Соболев В.В. Полупроводниковые соединения группы $A^{II}B^V$. – М.: Наука, 1978.
2. Анатычук Л.И. Термоэлементы и термоэлектрические устройства: Справочник. – Киев: Наук. думка, 1979.
3. Thomson W. On thermoelectric currents in linear conductors of crystalline substance // Math. Phys. Pap. – 1882. – No.1. – P.266-273.
4. Королюк С.Л., Пилат И.М., Самойлович А.Г., Слипченко В.Н., Снарский А.А., Царьков Е.Ф. Анизотропные термоэлементы // ФТП. – 1973. – 7, №4. – С.723-734.
5. Анатычук Л.И., Лусте О.Я. Анизотропия термоерс CdSb в области собственной проводимости // ФТП. – 1968. – 2, №3. – С.432-434.
6. Burkov A.T., Heinrich A., Vedernikov. Anisotropic thermoelectric materials: Properties and Applications. // Proc. International Conf. on thermoelectrics. XIII. Part II. – Kansas city (USA). – 1994.
7. Андроник И.К., Кот М.В., Крецу И.В. О тепловой диссоциации сурьмянистого кадмия и цинка // Ученые записки Кишиневского гос. ун-та. Сер. физ.- мат. – 1961. – 49. – С.105-111.
8. Анатычук Л.И., Искра В.Д., Лусте О.Я., Раренко И.М. Термическая необратимость электрических свойств сурьмянистого кадмия // Изв. АН СССР. Неорг. материалы. – 1969. – 5, №9. – С.1501-1507.
9. Шевченко В.Я., Лазарев В.Б., Маренкин С.Ф. Точечные дефекты в CdSb // Электронная техника: Науч.-тех. сборник. – 1973. – 4. – С.65.
10. Винецкий В.Л., Холодарь Г.А. Статистическое взаимодействие электронов и дефектов в полупроводниках. – Киев: Наук. думка, 1969.
11. Даховский И.В., Осипов Э.В., Потыкевич И.В. Исследование кинетики носителей тока в термоэлектрически анизотропных полупроводниках в области собственной проводимости // ФТП. – 1979. – 13, №12. – С.2399-2401.
12. Семизоров А.Ф. Анизотропия термоэлектрических и гальваномагнитных свойств CdSb // Неорг. материалы. – 1998. – 34, №8. – С.924-927.
13. Turner W.J., Fischler A.S., Resse W.E. Physical properties of Sevel II-V semiconductors // Phys. Rev. – 1961. – 121, No. 3. – P.759-767.
14. Abraham A. Photoelectric effect in CdSb // Czech. J. Phys. – 1965. – 15, No.2. – P.38-140.