

## ПОВЕРХНЕВА ПРОВІДНІСТЬ І РОЗМІРНИЙ ЕФЕКТ У ТЕРМОЕРС $\text{Bi}_{1,8}\text{Sb}_{0,2}\text{Te}_{2,85}\text{Se}_{0,15}$

Наведено результати експериментальних досліджень електрофізичних властивостей поверхні  $\text{Bi}_{1,8}\text{Sb}_{0,2}\text{Te}_{2,85}\text{Se}_{0,15}$ . Визначено характер вигину енергетичних зон у приповерхневій області й умови утворення інверсійного шару.

This paper is concerned with surface properties of the  $\text{Bi}_{1,8}\text{Sb}_{0,2}\text{Te}_{2,85}\text{Se}_{0,15}$ . The direction of the energy-band displacement in the space-charge region and conditions of *n*-type inversion layer formation in the surface of the  $\text{Bi}_{1,8}\text{Sb}_{0,2}\text{Te}_{2,85}\text{Se}_{0,15}$  is determined.

У роботі [1] досліджували залежність коефіцієнта термоерс ( $\alpha$ ) твердих розчинів  $\text{Bi}_2\text{Te}_{3-x}\text{Se}_x$  та  $\text{Sb}_{1,48}\text{Bi}_{0,52}\text{Te}_3$  від розмірів частинок при подрібненні кристалів з різним вмістом легуючих домішок. Виявилось, що зменшення розміру зерна  $\text{Bi}_2\text{Te}_{3-x}\text{Se}_x$  і збільшення ступеня легування хлористим кадмієм приводить до інверсії знака коефіцієнта  $\alpha$ . Автори [1] вважають, що це зумовлюється або можливим розділенням матеріалу за складом при подрібненні, або утворенням об'ємного заряду внаслідок приповерхневого викривлення зон. Цікаво було дослідити характер зміни провідності і термоерс термоелектричного матеріалу  $\text{Bi}_{1,8}\text{Sb}_{0,2}\text{Te}_{2,85}\text{Se}_{0,15}$  після подрібнення кристалів і виготовлення пресованих зразків. Крім того, для з'ясування природи спостережуваної залежності властивостей матеріалу від геометричного фактора можна було б одержати корисну інформацію про характер перерозподілу носіїв заряду в приповерхневій області з вимірювань ефекту поля. Основні результати таких досліджень наведені в даній роботі.

Кристали досліджуваного твердого розчину одержували методом вертикальної зонної плавки. Злитки діаметром до 25 мм вирощували зі швидкістю 13 мм/год. Нелеговані сплави мали дірко-вий тип провідності. Введення донорних домішок Te і  $\text{SbJ}_3$  приводило до зміни типу провідності на електронний. Приготування порошків здійснювалось механічним подрібненням злитків з подальшим розділенням їх на фракції. При одержанні пресованих зразків тиск пресування складав

800 МПа, час витримки під тиском – 5 хвилин. Зразки мали форму прямокутних паралелепіпедів розмірами 1,5x1,5x12 мм.

Електричні властивості злитків і порошків досліджувались при кімнатній температурі, а пресованих зразків – в інтервалі температур від азотної до 400 К. Встановлено, що величина і знак коефіцієнта термоерс порошків залежать не тільки від кількості легуючої домішки у вихідному матеріалі, але й від розмірів зерна. На рис.1 наведені результати вимірювань, які були проведені на порошках різних фракцій, виготовлених з кристалів  $\text{Bi}_{1,8}\text{Sb}_{0,2}\text{Te}_{2,85}\text{Se}_{0,15}$  *p*- і *n*-типу.

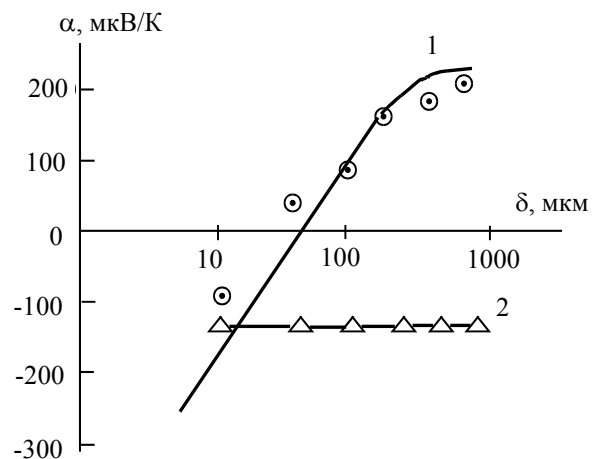


Рис.1. Залежність  $\alpha_{\text{еф}}$  від величини зерна: порошки одержані з нелегованого матеріалу (1) і матеріалу, який містив 0,5 ваг.% Te та 0,12 ваг.%  $\text{SbJ}_3$ . Суцільні криві – розрахунок; точки – експериментальні дані.

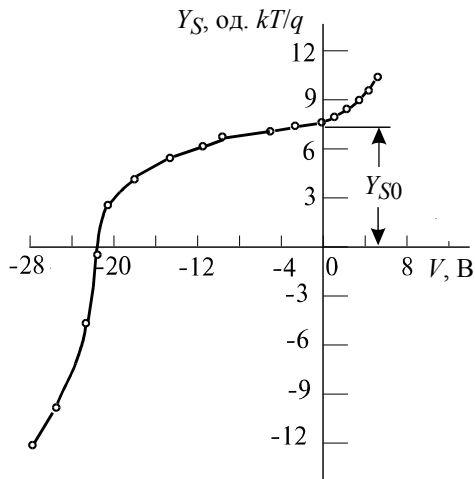


Рис.2. Залежність  $Y_S$  від напруги у випадку зразків  $p$ -типу

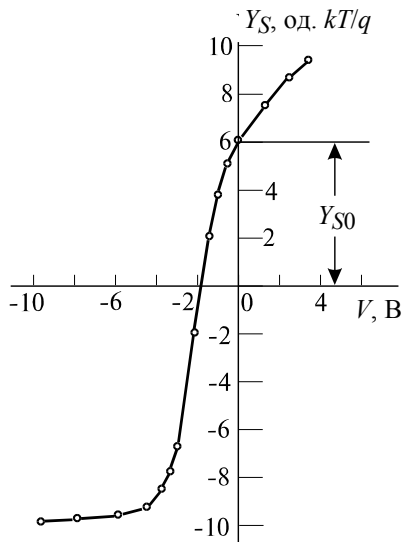


Рис.3. Залежність  $Y_S$  від напруги у випадку зразків  $n$ -типу

Результати цих досліджень свідчать про те, що при подрібненні кристалів  $p$ -типу знак коефіцієнта термоерс порошоків із зменшенням розмірів зерна змінюється на протилежний. У випадку легованих кристалів  $n$ -типу при тих самих умовах величина коефіцієнта  $\alpha$  майже не змінюється і його знак залишається від'ємним. Такі самі результати були отримані і на пресованих зразках. При вимірюванні електропровідності і термоерс пресованих зразків в інтервалі температур 400-77 К було встановлено, що в цьому температурному інтервалі активаційні процеси у даних матеріалах відсутні.

З метою визначення причин зміни знака коефіцієнта  $\alpha$  при подрібненні кристалів  $p$ -типу були проведені дослідження електрофізичних властивостей поверхні зразків обох типів провідності методом ефекту поля в системі напівпровідник-електроліт. Тонкі плоскі зразки для дослідження виготовляли з орієнтованих кристалів. Порівнювалась залежність питомої поверхневої провідності  $\Delta\sigma_{\text{П}}(V)$  з теоретичною залежністю  $\Delta\sigma_S$  від  $Y_S$  [2]. З отриманих залежностей  $Y_S(V)$  було визначено початковий згин зон  $Y_{S0}$  (рис.2, 3). Розрахунки показали, що в приповерхневій області зразків обох типів провідності енергетичні зони загнуті вверх. У випадку зразків  $p$ -типу в приповерхневій області утворюється тонкий інверсійний шар, з електронним типом провідності, а у зразків  $n$ -типу тонкий шар, збагачений основними носіями струму. Енергетичні рівні, що відповідають поверхневим станам цього вузькозонного напівпровідника, розташовані біля мінімуму зони провідності [3, 4].

Розрахунки ефективної величини коефіцієнта термоерс ( $\alpha_{\text{еф}}$ ) пресованих зразків  $n$ -типу показали, що наявність у кристалів тонкого приповерхневого шару, в якому концентрація основних носіїв дещо більша, ніж в об'ємі, до помітних змін  $\alpha_{\text{еф}}$  не приводить (рис.1). У разі пресованих зразків, отриманих з вихідного матеріалу  $p$ -типу, добрий збіг розрахованої залежності  $\alpha_{\text{еф}}(\delta)$  з експериментальною можна одержати, якщо розрахунки проводити в рамках моделі  $p$ - $n$ -переходу, в якому опір збідненого шару перевищує опір базового матеріалу не менше, як на три порядки.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Абламский В.Л., Горелик С.С., Дубровина А.Н. Влияние деформации (при измельчении) на электрические свойства низкотемпературных материалов // Термоэлектрические материалы и пленки. - Л., 1976. - С.73-77.
2. Ржанов А.В. Электронные процессы на поверхности полупроводников. - М.: Наука, 1971.
3. Моррисон С. Химическая физика поверхности твердого тела. - М.: Наука, 1980.
4. Пека Г.П. Физические явления на поверхности полупроводников. - Киев: Вища шк., 1984.