Параметры резонансного уровня железа в сплавах $Pb_{1-x-y}Sn_xFe_yTe$

Скипетров Е.П.¹, Ковалев Б.Б.¹, Скипетрова Л.А.¹, Кнотько А.В.¹, Слынько В.Е.²

¹Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, 119991, Москва, Ленинские горы, 1

²Институт проблем материаловедения Национальной академии наук Украины, Украина, 58001, Черновцы, ул. И. Вильде, 5

DOI 10.34077/Semicond2019-328

Известно, что легирование теллурида свинца и сплавов на его основе примесями 3d-переходных металлов приводит к появлению глубоких примесных уровней в окрестности запрещенной зоны этих полупроводников. Уровень железа – первый из них, расположенный в валентной зоне PbTe, находится под самым ее потолком: $E_{Fe} \approx E_v - 16$ мэВ при $T = 4.2$ К [1,2]. Под действием давления он движется почти параллельно середине запрещенной зоны, а с ростом температуры приближается к краю валентной зоны и выходит в запрещенную зону. В настоящей работе с целью определения характера движения уровня железа при изменении состава матрицы исследованы температурные зависимости удельного сопротивления и коэффициента Холла в слабых магнитных полях ($4.2 \leq T \leq 300$ К, $B \leq 0.07$ Тл) в образцах из двух монокристаллических слитков $Pb_{1-x-y}Sn_xFe_yTe$ при вариации концентраций олова и железа.

Слитки $Pb_{1-x-y}Sn_xFe_yTe$ – 1085 ($x=0.08$, $y=0.02$) и 1197 ($x=0.08$, $y=0.01$), синтезированные вертикальным методом Бриджмена, разрезались на 24 шайбы, номера которых соответствуют номерам исследованных образцов. При движении от начала к концу слитков (от образца 24 к образцу 2) концентрация олова в слитках возрастает от $x \approx 0.07$ до $x \approx 0.21$ и от $x \approx 0.06$ до $x \approx 0.15$, соответственно, а содержание примеси железа довольно медленно увеличивается лишь до 0.5 мол%.

Обнаружены существенное увеличение концентрации дырок при $T = 4.2$ К с ростом концентрации олова и аномальный рост коэффициента Холла при увеличении температуры, указывающие на пиннинг уровня Ферми резонансным уровнем железа, расположенным в валентной зоне, и перераспределение электронов между валентной зоной и примесным уровнем. В рамках двухзонного закона дисперсии Кейна получены зависимости концентрации дырок p и положения уровня Ферми относительно потолка валентной зоны ($E_v - E_F$) при $T = 4.2$ К от концентрации олова в сплавах.

Для объяснения полученных результатов предложены модели перестройки электронной структуры сплавов с ростом концентраций железа и олова, предполагающие изменение полной емкости и степени заполнения примесной полосы вдоль слитков, пиннинг уровня Ферми уровнем примеси в большей части образцов и «срыв» режима пиннинга в образцах с низкой растворимостью примеси. В рамках двухзонного закона дисперсии Кейна рассчитаны теоретические температурные зависимости коэффициента Холла, хорошо согласующиеся с экспериментальными при низких температурах (рис.1). Определены композиционный и термический коэффициенты движения резонансного уровня железа относительно краев зон: $d(E_v - E_{Fe})/dx \approx 7.3$ мэВ/мол% и $d(E_v - E_{Fe})/dT = -(0.07 \pm 0.015)$ мэВ/К.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант №19-02-00774).

[1] E.P. Skipetrov et al., *Appl. Phys. Lett.*, **105**, 022101 (2014).

[2] E.P. Skipetrov et al., *J. Appl. Phys.*, **121**, 045702 (2017).

Рис.1. — Температурные зависимости коэффициента Холла в образцах $Pb_{1-x-y}Sn_xFe_yTe$ из слитка 1197.