Гальваномагнитные свойства и электронная структура сплавов $\text{Pb}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{Sc}_y\text{Te}$

Скипетров Е.П.¹, Хворостин А.В.¹, Ковалев Б.Б.¹, Богданов Е.В.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/Semicond2019-327

В теллуриде свинца глубокие уровни примесей из первой половины ряда $3d$ -переходных металлов (Sc, Ti, V, Cr) в основном являются донорными резонансными уровнями [1-4]. В частности, уровень скандия расположен высоко в зоне проводимости: $E_{\text{Sc}} \approx E_c + 280$ мэВ при $T = 4.2$ К. В настоящей работе для получения дополнительных доказательств присутствия уровня скандия в электронном спектре теллурида свинца и определения характера его движения относительно краев зон при изменении состава матрицы исследованы температурные зависимости гальваномагнитных параметров ($4.2 \leq T \leq 300$ К, $B \leq 0.07$ Тл) образцов из монокристаллического слитка $\text{Pb}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{Sc}_y\text{Te}$ ($x=0.08$, $y=0.02$).

Установлено, что при увеличении концентрации скандия вдоль слитка концентрация дырок уменьшается и происходит p - n -инверсия типа проводимости. Затем концентрация электронов увеличивается и стремится к насыщению на уровне $n_{\text{sat}} \approx 10^{20} \text{ см}^{-3}$, что указывает на «мягкую» стабилизацию уровня Ферми резонансным уровнем скандия в сильно легированных образцах.

Для определения положения резонансного уровня скандия E_{Sc} в рамках шестизонного закона дисперсии Диммока по значениям концентраций носителей заряда при $T = 4.2$ К для каждого образца определено положение уровня Ферми относительно краев зон при изменении состава матрицы (рис. 1). Сопоставление полученных результатов с известными данными для $\text{Pb}_{1-y}\text{Sc}_y\text{Te}$ ($y=0.01$) [1] показало, что при меньшей ширине запрещенной зоны максимальная концентрация электронов в сильно легированных образцах $\text{Pb}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{Sc}_y\text{Te}$ примерно на 10%

больше, чем в $\text{Pb}_{1-y}\text{Sc}_y\text{Te}$. Поэтому заметных изменений положения уровня скандия E_{Sc} относительно середины запрещенной зоны E_i нет и с ростом концентрации олова в сплавах уровень скандия, скорее всего, движется параллельно середине запрещенной зоны (см. рис. 1). Эти результаты могут считаться прямым подтверждением существования эффекта пиннинга уровня Ферми уровнем скандия, т.к. при различающихся вдвое концентрациях примеси насыщение зависимости $n(y)$ наблюдается почти на одном и том же уровне.

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

[1] E.P. Skipetrov et al., *J. Appl. Phys.*, **115**, 133702 (2014).

[2] F.F. Sizov et al., *Sov. Phys. Semicond.*, **14**, 1063 (1980).

[3] A.A. Vinokurov et al., *Inorg. Mater.*, **44**, 576 (2008).

[4] L.M. Kashirskaya et al., *Sov. Phys. Semicond.*, **24**, 848 (1990).

Рис.1. – Движение уровня Ферми относительно краев энергетических зон при изменении состава матрицы в $\text{Pb}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{Sc}_y\text{Te}$. Точка при $x=0$ – данные для $\text{Pb}_{1-y}\text{Sc}_y\text{Te}$ [1].