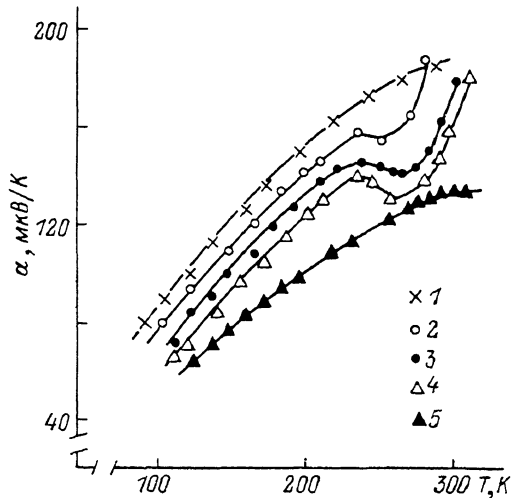


## О МЕЖЗОННОМ РАССЕЙАНИИ ДЫРОК В ТЕЛЛУРИДЕ ВИСМУТА—СУРЬМЫ

Атакулов Ш. Б., Гафуров У. А., Казьмин С. А.

Несмотря на широкое практическое применение как массивного, так и пленочного теллурида висмута—сурьмы с составом, близким к  $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$ , в термоэлектрических устройствах [1, 2], его фундаментальные свойства изучены недостаточно полно. В частности, это касается зонных параметров и механизмов рассеяния. В нашей предыдущей работе [3] были установлены параметры «тяжелой» подзоны валентной зоны. Путем исследования концентрационной зависимости коэффициента термоэдс  $\alpha$  в широком диапазоне уровней легирования ( $10^{19} \leq p \leq 10^{21} \text{ см}^{-3}$ ) было найдено, что эффективная масса плотности состояний в «тяжелой» подзоне ( $m_{d2}^* \approx 10m_0$ ) значительно превышает эффективную массу в «легкой» подзоне ( $m_{d1}^* \approx m_0$ ), а энергетический зазор между подзонами  $\Delta E_v \approx 0.08$  эВ. Так как экстремумы подзон разделены и по энергии, и по импульсу, в [3] обсуждался вопрос о возможном влиянии на яв-



Температурные зависимости коэффициента термоэдс в пленках  $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$ .  
 $p \cdot 10^{-19}, \text{ см}^{-3}$ : 1 — 1.5, 2 — 6.6, 3, 4 — 7.2,  
 5 — 9.2.

ления переноса в  $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$  межзонного рассеяния при пересечении уровнем Ферми потолка «тяжелой» подзоны. Однако по данным, приведенным там, достоверного вывода о вкладе такого рассеяния в кинетические коэффициенты сделать не удалось. В настоящем сообщении приведены экспериментальные результаты, свидетельствующие о существовании межзонного рассеяния дырок в пленочных образцах  $\text{Bi}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Te}_3$  ( $x \approx 1.5$ ).

Нами были исследованы температурные зависимости коэффициента термоэдс в пленках с концентрацией дырок  $10^{19} \div 10^{20} \text{ см}^{-3}$ . Образцы готовились по технологии, описанной в [3]; концентрация дырок в них регулировалась изменением содержания в исходной шихте избыточного теллура.

В некоторых образцах в зависимости  $\alpha(T)$  была обнаружена немонотонность: коэффициент термоэдс пленок с концентрацией дырок в пределах  $(6 \div 8) \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$  имел характерный минимум в интервале температур  $200 \div 300$  К. В пленках с концентрацией дырок, не попадающих в указанный диапазон  $(6 \div 8) \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ , зависимости  $\alpha(T)$  имели обычный для этого термоэлектрического материала вид. Указанные особенности представлены на рисунке.

Возникновение немонотонности типа обнаруженной нами связано со следующим. Как было показано в [3], «тяжелая» подзона дает эффективный вклад в коэффициент термоэдс при  $p > p^* \approx 8 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ . Именно при этой концентрации уровень Ферми пересекает подзону тяжелых дырок. Межзонное рассеяние, если оно существует, должно проявляться при приближении уровня Ферми к «тяжелой» подзоне, причем его влияние на коэффициент термоэдс в полупроводниках со сложными зонами и должно проявляться, как показано в [4], в виде немонотонности температурной зависимости. Как мы уже выше отмечали, в  $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$  экстремумы неэквивалентных подзон валентной зоны разделены как по энергии, так и по импульсу. Согласно представлениям [4],

если экстремумы подзон находятся в удаленных друг от друга точках  $k$ -пространства, межзонное рассеяние происходит посредством коротковолновых фононов. Поэтому минимум в зависимости  $\alpha(T)$  должен ожидать при температурах, превышающих температуру Дебая. Данных о температуре Дебая для соединения  $\text{Bi}_{0,5}\text{Sb}_{1,5}\text{Te}_3$  в литературных источниках обнаружить не удалось, но, согласно [1],  $\Theta_D = 155$  К для  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  и 160 К для  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ . По нашему мнению, температура Дебая и для их твердого раствора должна отличаться от этих значений ненамного, так что экспериментально наблюдаемые температуры, при которых обнаруживается немонотонность в температурной зависимости коэффициента термоэдс в пленках теллурида висмута—сурьмы, действительно выше температуры Дебая.

Здесь необходимо отметить, что, по-видимому, межзонное рассеяние в  $\text{Bi}_{0,5}\text{Sb}_{1,5}\text{Te}_3$  эффективно влияет на явления переноса только при локализации уровня Ферми в достаточно узком энергетическом интервале вблизи подзона «тяжелой» подзоны, чем объясняется сложность в экспериментальной регистрации эффекта межзонного рассеяния, так как технологически не всегда удается сообщить образцам концентрацию дырок, близкую  $p^*$ .

Таким образом, учет конкретной структуры валентной зоны в теллуриде висмута—сурьмы, а в ряде случаев и межзонного рассеяния необходим для удовлетворительной интерпретации явлений переноса, наблюдаемых в них, особенно при концентрациях дырок  $p \sim p^*$ .

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность В. И. Кайданову за постоянное внимание к работе и ценные обсуждения ее результатов.

#### Л и т е р а т у р а

- [1] Гольдман Б. М., Кудинов В. А., Смирнов И. А. Полупроводниковые термоэлектрические материалы на основе  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ . М., 1972. 320 с.
- [2] Гольдман Б. М., Дашевский Э. М., Кайданов В. И., Коломоец Н. В. Пленочные термоэлементы: физика и применение. М., 1985. 232 с.
- [3] Атакулов Ш. Б., Гафуров У. А., Казьмин С. А. Исследование структуры края валентной зоны в пленках теллурида висмута—сурьмы. — ФТП, 1987, т. 21, в. 3, с. 557—559.
- [4] Кайданов В. И., Черник И. А., Ефимова Б. А. Исследование зонной структуры и механизма рассеяния носителей тока в теллуриде олова. — ФТП, 1967, т. 1, в. 6, с. 869—879.

Ферганский государственный  
педагогический институт  
им. Улугбека

Получено 16.06.1987  
Принято к печати 15.09.1987

ФТП, том 22, вып. 3, 1988

## ЗАХВАТ СВОБОДНЫХ ДЫРОК ЗАРЯЖЕННЫМИ АКЦЕПТОРАМИ В ОДНООСНО ДЕФОРМИРОВАННОМ Ge

Воеводин Е. И., Гершензон Е. М., Гольцман Г. Н., Птицина Н. Г.,  
Чулкова Г. М.

В последние годы достигнут существенный прогресс в изучении каскадного механизма захвата свободных носителей на заряженные примесные центры в полупроводниках. В ставших классическими работах [1, 2] при расчете сечения захвата электронов и дырок  $\sigma_{e, p}$  рассматривались простые зоны с изотропным законом дисперсии. Учет анизотропии эффективной массы электронов [3] и вырождения валентной зоны [4] в таких полупроводниках, как Ge и Si, не привел к существенному изменению значений  $\sigma_e$  и  $\sigma_p$ ; имеющиеся экспериментальные данные хорошо согласуются с расчетными. Однако из [4] следует, что при одноосной деформации Ge и Si, приводящей к существенному изменению энергетической структуры валентной зоны, должны наблюдаться