

## ИСЧЕЗНОВЕНИЕ ЭФФЕКТА ШУБНИКОВА-ДЕ-ГААЗА В СПЛАВЕ ВИСМУТ-СУРЬМА ПОД ДАВЛЕНИЕМ

*Е.С.Ицкевич, Л.М.Фишер*

Как было показано, в работах [1-3], площади экстремальных сечений дырочной и электронной частей поверхности Ферми висмута уменьшаются под давлением. Из данных, полученных экстраполированием в сторону высоких давлений, можно ожидать, что при давлении  $P_{кр} = 25$  кбар перекрытие энергетических зон  $\epsilon_D$  обратится в нуль и, следовательно, концентрация носителей тока также станет равной нулю. Было бы интересно исследовать характер изменения частоты и амплитуды квантовых осцилляций электрического сопротивления под давлением вблизи возможной точки снятия перекрытия, т.е. наблюдать фазовый переход 2,5 рода осцилляционными методами. Но необходимые давления тока недостижимы для исследования осцилляционных явлений.

Вместе с тем в работах [4-6] было отмечено, что в сплавах висмут-сурьма площади экстремальных сечений электронной поверхности Ферми и концентрация носителей тока уменьшаются с увеличением содержания сурьмы в сплаве. При концентрации сурьмы около 5 ат.% перекрытие зон снимается, а при более высоких концентрациях сплав имеет полупроводниковые свойства в широком интервале температур [7]. Таким образом в сплавах  $Bi_{100-n}Sb_n$  при  $n < 5$  ат.% концентрация носителей тока при атмосферном давлении меньше, чем у чистого висмута, и можно ожидать, что электронный переход в этих сплавах наступит при давлении ниже 25 кбар. Поэтому мы провели измерения квантовых осцилляций электрического сопротивления в сплаве висмут-сурьма при концентрации сурьмы 3 ат.% при всестороннем сжатии.

Монокристаллические образцы сплава  $Bi_{97}Sb_3$  были получены в процессе зонного выращивания с предварительным выравниванием в ЛГПИ им.Герцена в лаборатории полуметаллов. Образцы для измерений были вырезаны электроэрозионным способом из монокристаллической заготовки и имели размеры  $12 \times 3 \times 1$  мм. Ориентация образцов проверялась

рентгенографически. Направление магнитного поля можно было менять в плоскости бинарной и тригональной осей ( $C_2, C_3$ ).

На рис.1 показаны примеры записи квантовых осцилляций электрического сопротивления  $\frac{\partial \rho}{\partial H}(H)$  при  $\vec{H} \parallel C_3$  ( $\theta = 0^\circ$ ), относящиеся к дырочному эллипсоиду, измеренные модуляционным методом [2] при температуре  $1,4^\circ\text{K}$  для одного из образцов (осцилляции наблюдались и при

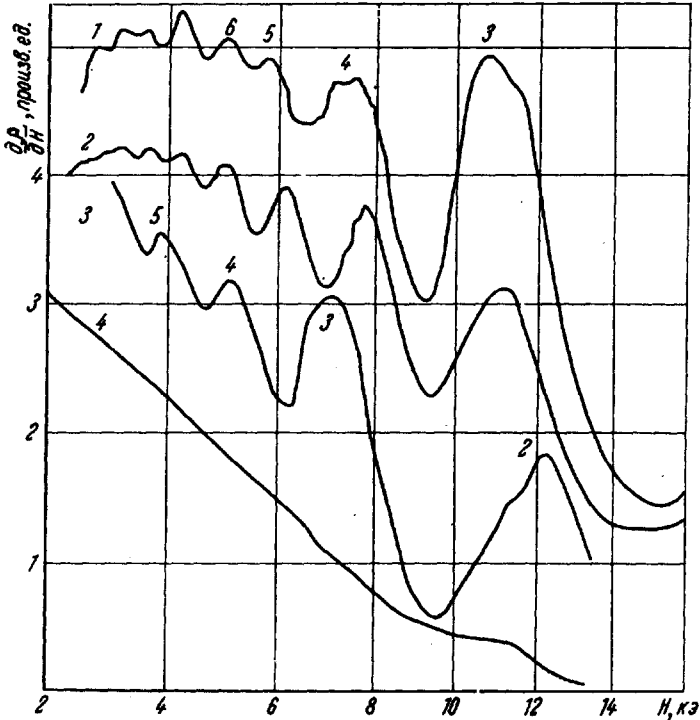


Рис.1. Примеры записи квантовых осцилляций электрического сопротивления  $(\frac{\partial \rho}{\partial H})(H)$  при  $T = 1,4^\circ\text{K}$  и различных давлениях ( $\vec{H} \parallel C_3$ ). Кривая 1 —  $P = 1$  бар; кривая 2 —  $P = 4,7$  кбар; кривая 3 —  $P = 8,9$  кбар; кривая 4 —  $P = 10$  кбар. Цифры у максимумов означают номер осцилляции

других направлениях магнитного поля при  $\theta \leq 60^\circ$ ). Под давлением частота квантовых осцилляций, определяющая площадь минимального экстремального сечения дырочного эллипсоида, уменьшается, и при  $P > P_{кр}$  осцилляции пропадают. Это явление наблюдалось на двух образцах. Нужно еще заметить, что все амплитуды осцилляций при  $P < P_{кр}$  одного порядка величины, тогда как при  $P > P_{кр}$  осцилляции не заметны даже при увеличении коэффициента усиления в  $\sim 10$  раз.

Обратимое исчезновение осцилляций, по-видимому, свидетельствует об обнаружении осцилляционным методом фазового перехода 2,5 рода в сплаве висмут-сурьма под давлением, возможность которого для металлов была теоретически показана И.М.Лифшицем [8].

Полученные результаты согласуются с гальваномагнитными измерениями Брандта и Пономарева [7].

Как и ожидалось, снятие перекрытия энергетических зон в сплаве наблюдалось при давлениях существенно более низких, чем для чистого висмута.

Следует отметить, что в настоящее время непонятен механизм, вызывающий уменьшение концентрации носителей тока при атмосферном давлении в висмуте при легировании его сурьмой. В рентгенографической

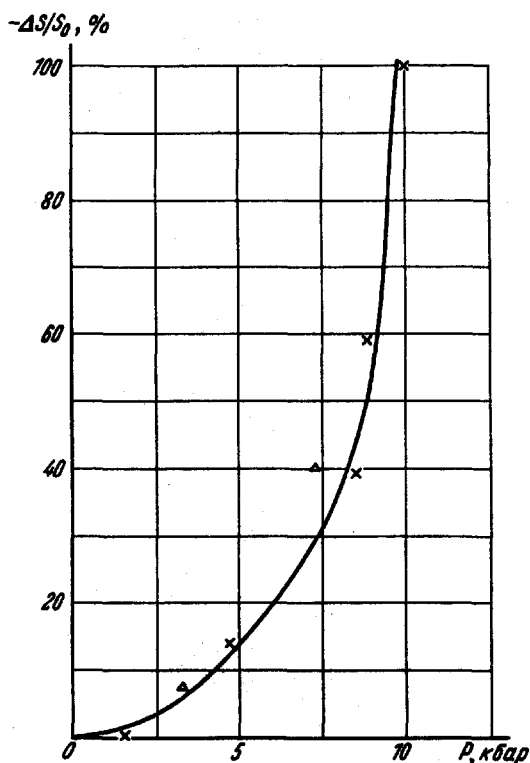


Рис.2. Зависимость относительного изменения площади малого сечения дырочного эллипсоида от давления для одного из образцов

работе [9] показано, что малая примесь сурьмы (до 15 ат. %) практически не влияет на параметр  $\nu$  смещения подрешеток, образующих кристаллическую решетку висмута, и отношение осей  $c/a$ , но вызывает небольшое подобное уменьшение размеров кристаллической решетки. В то же время именно отклонение параметра  $\nu$  и отношения  $c/a$  от значений, соответствующих простой кубической решетке, определяет основные особенности электронного спектра висмута [10].

Влияние примеси сурьмы на электронный спектр висмута не эквивалентно действию всестороннего сжатия. Неэквивалентность, например, проявляется в различном характере зависимости относительного изменения площади малого экстремального сечения дырочного эллипсоида

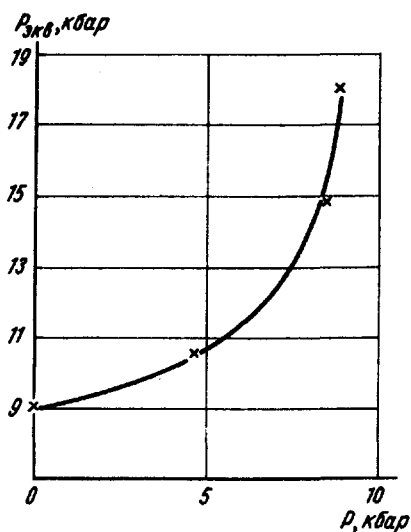


Рис.3

(при  $\bar{H} // C_3$ ) от давления для чистого висмута и сплава  $Bi_{97}Sb_3$ . Для чистого висмута эта зависимость близка к линейной [3], тогда как для сплава она существенно нелинейна (рис.2).

Если ввести давление  $P_{экв}$ , определенное соотношением

$$[S(P_{экв})]_{Bi} = [S(P)]_{Bi_{97}Sb_3}$$

где  $S$  — площадь малого экстремального сечения дырочного эллипсоида при  $\bar{H} // C_3$ , то, как это изображено на рис.3, зависимость  $P_{экв}(P)$  также нелинейна, причем  $P_{экв}(0) = 9$  кбар.

Таким образом, давление оказывает различное влияние на спектр чистого висмута и сплава висмута с сурьмой. Для выяснения причин этого различия нужны дальнейшие исследования.

В заключение считаем своим долгом выразить благодарность академику Л.Ф.Верещагину за внимание к работе, профессору Г.И.Иванову за представление образцов и Г.П.Пуштарик за определение ориентаций образцов.

Институт физики  
высоких давлений

Поступило в редакцию  
21 июля 1967 г.

#### Литература

- [1] Н.Б.Брандт, Ю.П.Гайдуков, Е.С.Ицкевич, Н.Я.Минина. ЖЭТФ, 47, 455, 1964.
- [2] Е.С.Ицкевич, И.П.Кречетова, Л.М.Фишер. ЖЭТФ, 52, 66, 1967.

- [3] Е.С.Ицкевич, Л.М.Фишер. ЖЭТФ, 53, 98, 1967.
- [4] D.Shoenberg, M.Z.Uddin. Proc. Roy. Soc. A156, 687, 1936.
- [5] Н.Б.Брандт, В.В.Щекочихина. ЖЭТФ, 41, 1412, 1961.
- [6] Н.Б.Брандт, Л.Г.Любутина, Н.А.Крюкова. ЖЭТФ, 53, 134, 1967.
- [7] Н.Б.Брандт, Я.Г.Пономарев. ЖЭТФ, 50, 367, 1966.
- [8] И.М.Лифшиц. ЖЭТФ, 38, 1569, 1960.
- [9] P.Cucka, C.S.Barrett. Acta Crystallographica, 15, 865, 1962.
- [10] А.А.Абрикосов, Л.А.Фальковский. ЖЭТФ, 43, 1089, 1962.