

ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ И.М.ЛИФШИЦА У СПЛАВА $\text{V}_{0,924}\text{Sb}_{0,076}$ n -ТИПА ПРИ РАСТЯЖЕНИИ

Н.Б.Брандт, В.А.Кульбачинский, Н.Я.Минина

С помощью нового метода создания сильных упругих деформаций растяжения ($\sim 1\%$) у сплава $\text{V}_{0,924}\text{Sb}_{0,076}$ n -типа обнаружен переход от трехэллипсоидной к одноэллипсоидной поверхности Ферми при растяжении вдоль бинарной оси и к двухэллипсоидной — при растяжении вдоль биссекторной оси.

Фазовые переходы Лифшица [1], сопровождающиеся качественным изменением топологии поверхности Ферми, обнаружены при всестороннем сжатии у целого ряда веществ. При одноосных деформациях, вследствие низкого значения предела упругости большинства металлов и невозможности создания достаточно сильных деформаций, изменение топологии поверхности Ферми наблюдалось только у висковеров Zn [2] при растяжении на 0,35%. Разработанные в последние годы методы получения сильных упругих деформаций сжатия [3, 4] и растяжения [5] достигающих 1% у массивных кристаллов, существенно расширяют возможности исследования фазовых переходов И.М.Лифшица при одноосных деформациях.

Подробное исследование энергетического спектра V при сжатии [6, 7] и растяжении [5, 6, 8], проведенное с помощью этих методов показало, что при деформациях, перпендикулярных тригональной оси кристалла, нарушается эквивалентность электронных экстремумов в точках L фазового пространства, в результате чего электронные "эллипсоиды" поверхности Ферми V меняются с нагрузкой различным образом: при сжатии вдоль биссекторной C_1 и растяжении вдоль бинарной C_2 оси кристалла объем одного из "эллипсоидов" возрастает, а двух других — уменьшается; при сжатии вдоль C_2 и растяжении вдоль C_1 два "эллипсоида" возрастают, а один уменьшается. Очевидно, что при дос-

таточно сильных деформациях ($\approx 1\%$ [5, 7]) в этих направлениях должно произойти качественное изменение поверхности Ферми V_i и ее переход в одноэллипсоидную в первом случае и двухэллипсоидную — во втором.

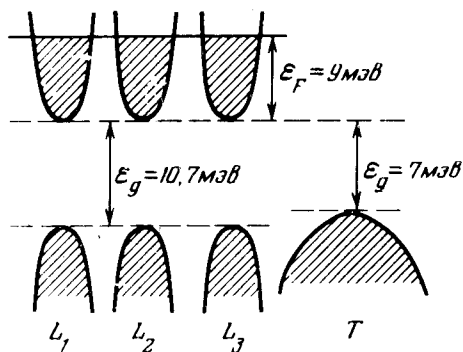


Рис. 1. Расположение электронных и дырочных экстремумов у сплава $V_{i0,924}Sb_{0,076}$ n -типа вблизи уровня Ферми

Поскольку для наблюдения ожидаемого фазового перехода у V_i требуются деформации более 1% в качестве объекта исследования выбран сплав $V_{i0,924}Sb_{0,076}$ легированный Te с концентрацией $10^{-4}\%$, у которого энергия Ферми электронов существенно меньше, чем у V_i . Основные характеристики энергетического спектра этого сплава [9, 10] представлены на рис. 1. Небольшая примесь Te к полупроводниковому сплаву $V_{i0,924}Sb_{0,076}$ приводит к заполнению электронных экстремумов в L . Наличие достаточно большой щели между экстремумами в L и T дает основание ожидать, что общее число электронов при деформациях остается неизменным и изменение объемов "эллипсоидов" происходит исключительно за счет перетекания носителей из одних (уже неэквивалентных) экстремумов L_i в другие.

Поскольку непосредственное наблюдение процесса исчезновения отдельных частей поверхности Ферми при деформациях с помощью эффекта Шубникова — де Гааза невозможно из-за резкого падения амплитуды осцилляций от уменьшающейся группы носителей, фазовые переходы И.М.Лифшица, сопровождающиеся такого рода топологическими изменениями, удобно регистрировать по происходящему при этом изменению скорости возрастания других частей поверхности Ферми. С этой точки зрения, сплав $V_{i0,924}Sb_{0,076}$ n -типа является более удобным объектом для четкого наблюдения ожидаемого фазового перехода, чем чистый V_i у которого исчезновение отдельных электронных экстремумов происходит на фоне изменяющейся величины перекрытия зон в L и T .

Растяжение образцов в направлении бинарной или биссекторной осей до деформаций в направлении растяжения $\epsilon_{xx} \sim 0,6\%$ и в перпендикулярном направлении $\epsilon_{yy} \sim 0,4\%$ производилось в устройстве, описанном в [5]. Деформации определялись при комнатной температуре с помощью малобазных фольговых тензорезисторов ФКПА-1 и составляли $\epsilon_{xx} \approx 0,025\% \text{ кг}^{-1}$ и $\epsilon_{yy} \approx -0,015\% \text{ кг}^{-1}$. Изменение энергетического спектра при растяжении исследовалось с помощью эффекта Шубникова — де Гааза обычным модуляционным методом в интервале температур $1,9 \div 4,2\text{K}$ и магнитных полях до 45 кэ при нагрузках до 23 кг .

Зависимость экстремальных сечений поверхности Ферми от величины σ исследована в широком интервале углов ϕ при ориентации магнитного поля в тригонально-биссекторной ($\sigma \parallel C_2$) и тригонально-бинарной ($\sigma \parallel C_1$) плоскостях. Отсчет ϕ производится от тригональной оси образца C_3 . Измерения проведены на четырех различных образцах. Все наблюдаемые сечения каждого "эллипсоида" изменяются с нагрузкой одинаковым образом так, как это представлено на рис. 2. На рисунках изображено также схематическое расположение электронных "эллипсоидов" поверхности Ферми в базисной плоскости и указан характер их изменения в процессе растяжения.

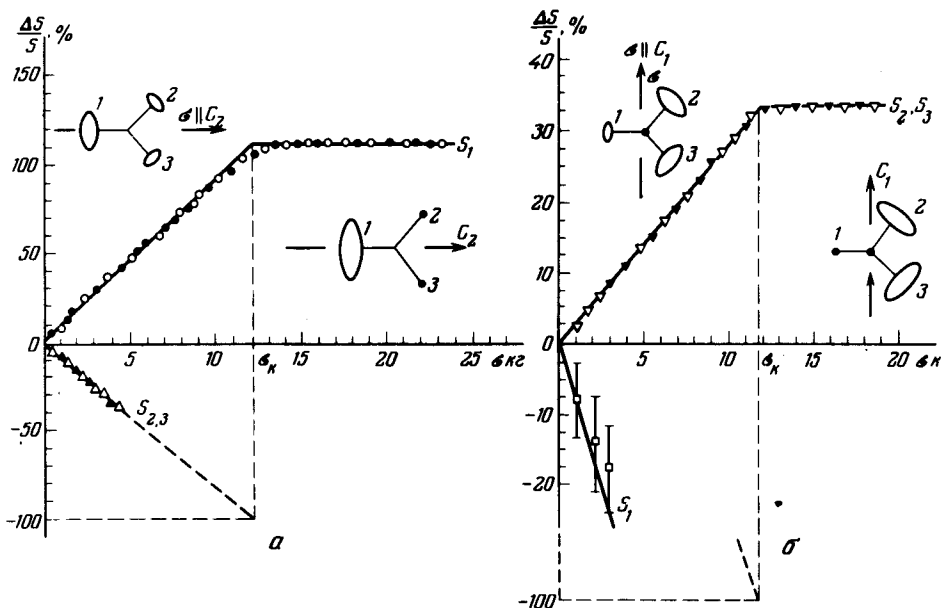


Рис. 2. Зависимость экстремальных сечений поверхности Ферми у $\text{Bi}_{0,924}\text{Sb}_{0,076}$ n -типа от нагрузки при $\sigma \parallel C_2$ (а) и $\sigma \parallel C_1$ (б): образец 1: $0 - -85 \leq \phi \leq 0^\circ$, $\Delta - 0^\circ \leq \phi \leq 10^\circ$, образец 2: $0 - -85 \leq \phi \leq 0^\circ$, $\Delta - 0^\circ \leq \phi \leq 10^\circ$, образец 3: $\Delta - -10^\circ \leq \phi \leq 10^\circ$, $80^\circ \leq \phi \leq 100^\circ$ — $H \parallel C_2$, образец 4: $- -10^\circ \leq \phi \leq 10^\circ$, $80^\circ \leq \phi \leq 100^\circ$

Очевидно, что возрастание "эллипсоида" 1 в случае $\sigma \parallel C_2$ и эллипсоидов 2, 3 при $\sigma \parallel C_1$ продолжается до тех пор, пока электронные экстремумы L_i , соответствующие уменьшающимся "эллипсоидам", не поднимутся выше уровня Ферми. В этот момент при значении $\sigma_k = 12 \pm 0,3 \text{ kG}$, как следует из рис. 2, а и б, в обоих случаях уменьшающиеся "эллипсоиды" исчезают, а возрастание остающихся "эллипсоидов" останавливается из-за отсутствия притока носителей. Таким образом в сплаве $\text{Bi}_{0,924}\text{Sb}_{0,076}$ n -типа при значениях $\sigma_k \parallel C_2$ ($\epsilon_{xx} \approx 0,3\%$; $\epsilon_{yy} \approx -0,2\%$) осуществляется электронный фазовый переход от трехэллипсоидной к одноэллипсоидной изоэнергетической поверхности, а при $\sigma_k \parallel C_1$ от трехэллипсоидной к двухэллипсоидной (рис. 2, а, б).

Следует отметить, что амплитуда осцилляций магнитосопротивления от растущих частей поверхности Ферми возрастает до $\sigma \approx \sigma_k$, после че-

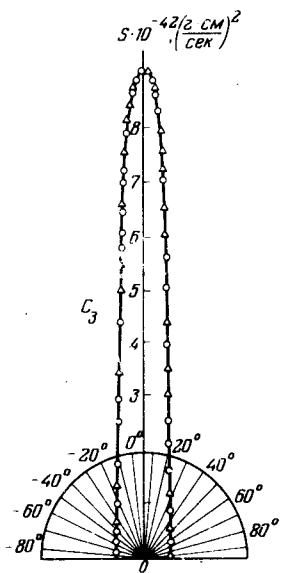


Рис. 3. Угловая зависимость экстремальных сечений в тригонально бисекторной плоскости у одноэллипсоидной поверхности Ферми сплава $\text{Vi}_{0,924}\text{Sb}_{0,076}$ n -типа при $12,5 \text{ кэ} \leq \sigma \leq 25 \text{ кэ}$: \circ — образец 1, Δ — образец 2. Сплошная линия — эллипс, построенный по экстремальным значениям сечений

го остается постоянной. Максимальное изменение объемов "эллипсоидов" которое составляет $V_{\sigma}/V_0 \approx 3$ при образовании одноэллипсоидной поверхности и $V_{\sigma}/V_0 \approx 1,5$ при образовании двухэллипсоидной поверхности указывает на полное перетекание имеющих носителей в оставшиеся ниже уровня Ферми электронные экстремумы.

Получение одноэллипсоидной поверхности Ферми позволило с большой точностью определить ее параметры. Для полученной одноэллипсоидной поверхности осцилляции магнитосопротивления наблюдаются при любых направлениях магнитного поля в тригонально-бисекторной плоскости. Это дало возможность впервые непосредственно определить главные сечения поверхности Ферми в этой плоскости: $S_{min} = (0,52 \pm 0,02) \times 10^{-42} (\text{г} \cdot \text{см} / \text{сек})^2$, $S_{int} = (9,0 \pm 0,2) \cdot 10^{-42} (\text{г} \cdot \text{см} / \text{сек})^2$ (рис. 3). Циклотронные эффективные массы на главных сечениях равны $m_{int}^*/m_0 = 0,092 \pm 0,004$ и $m_{min}^*/m_0 = 0,0059 \pm 0,0006$. Анизотропия масс $m_{int}^*/m_0 = 15,6$, что несколько меньше анизотропии сечений $S_{int}/S_0 = 17,3$.

Величина температуры Дингла, определенная при $\sigma = 16 \text{ кэ}$, составляет $T_D = (2,2 \pm 0,3) \text{ К}$, что указывает на высокую однородность деформации в исследуемой части образца.

При исследовании шубниковских осцилляций в тригонально-бисекторной плоскости в направлении $\phi = 1,5 \pm 0,5^\circ$ и $\phi = 8 \pm 0,5^\circ$ впервые у Vi и сплавов $\text{Vi}_{1-x}\text{Sb}_x$ в этой плоскости наблюдается спиновый демпинг (удвоение частоты).

В заключение приносим искреннюю благодарность Я.Г.Пономареву за предоставление данных о структуре спектра у исследованного сплава.

Московский

государственный университет
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
19 сентября 1977 г.

Литература

- [1] И.М.Лифшиц. ЖЭТФ, 38, 1569, 1960.
 - [2] Ю.П.Гайдуков, Н.П.Данилова, М.Б.Шербина-Самойлова. Письма в ЖЭТФ, 25, 509, 1977.
 - [3] Н.Б.Брандт, Н.Я.Минина, В.Ф.Кептя. ПТЭ, №6, 189, 1972.
 - [4] Н.Б.Брандт, В.А.Кульбачинский, В.Ф.Кептя, Н.Я.Минина. ПТЭ, №2, 205, 1977.
 - [5] Н.Б.Брандт, В.А.Кульбачинский, Н.Я.Минина. Письма в ЖЭТФ, 26, 173, 1977.
 - [6] Н.Б.Брандт, В.А.Кульбачинский, Н.Я.Минина, В.Д.Широких. Тезисы V Международной конференции по физике и технике высоких давлений, М., 1975 г., стр. 76.
 - [7] Н.Б.Брандт, В.А.Кульбачинский, Н.Я.Минина. ФТТ, 18, 1829, 1976.
 - [8] Н.Б.Брандт, В.А.Кульбачинский, Н.Я.Минина. Тезисы докладов XIX Всесоюзного совещания по физике низких температур. Минск, 1976, стр. 255.
 - [9] Е.П.Буянова, В.В.Евсеев, Г.А.Иванов, Г.А.Миронова, Я.Г.Пономарев. ФТТ (в печати).
 - [10] N. B. Brandt, Ya. G. Popomarev, S. M. Chudinov. J. Low. Temp. Phys., 8, 369, 1972.
-