

ВЛИЯНИЕ РАСТЯЖЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТЬ ФЕРМИ У ВИСМУТА.

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

Предложен новый способ создания сильных упругих деформаций растяжения ($0,6 + 0,7\%$) монокристаллических образцов. Этим методом впервые исследовано изменение поверхности Ферми у Вi при растяжении вдоль бинарной оси.

Влияние растяжения на энергетический спектр носителей тока у висмута до настоящего времени не исследовалось, так как попытки получить достаточно сильные деформации оказывались безуспешными в результате очень малой прочности массивных образцов Вi на разрыв.

В настоящей работе сообщаются результаты исследования формы поверхности Ферми у монокристаллических образцов Вi при упругих деформациях типа растяжения, достигающих $0,6 + 0,7\%$, что приблизительно на полтора порядка превосходит деформации, соответствующие табличному значению предела упругости, и сравнимо по величине с деформациями, получаемыми на нитевидных кристаллах.

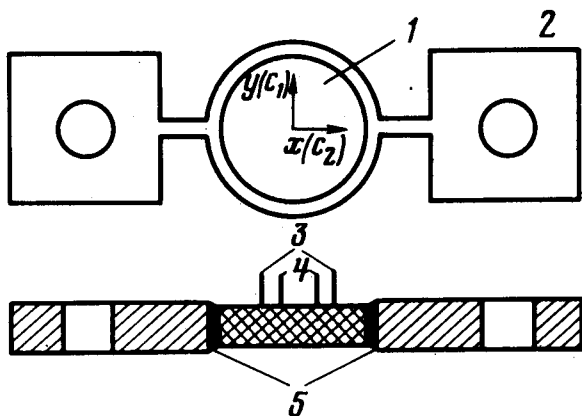


Рис. 1. Обойма с образцом: 1 – образец; 2 – "ушко" для закрепления в растягивающем устройстве; 3 – токовые и 4 – потенциальные электроды; 5 – слой "Аральдита"

Растяжение производится в специальных обоймах, имеющих форму кольца с внешним диаметром 4 мм и внутренним – 3 мм (рис. 1). Обоймы вырезались из облагороженной бериллиевой бронзы БРБ-2 или термообработанного немагнитного сплава 40 ХНЮ на электроискровом станке с программным управлением. На этом же станке вырезались образцы Вi в виде диска диаметром 3 мм и толщиной 0,75 мм. Зазор между образцом и обоймой (не превышающий 20 мкм) заполнялся полимеризованной смолой "Аральдит". Вся система крепилась за ушики в специальном устройстве, позволяющем производить растяжение при температурах жидкого гелия.

Расчет такой системы, проведенный с использованием ЭВМ, показывает, что деформация в ней носит сложный характер, однако в центральной части образца размером $1 \times 1 \text{ мм}^2$ является достаточно однородной. В этой области сдвиговые деформации пренебрежимо малы.

Центральная часть образца растягивается вдоль направления приложенной силы (ось x) и сжимается в перпендикулярном направлении (ось y) приблизительно на ту же величину. Деформация вдоль оси z много меньше деформации вдоль оси x . Для обим из БРБ-2 (рис. 1) расчетные значения продольной ϵ_{xx} и поперечной ϵ_{yy} деформаций составляют $\epsilon_{xx} = -\epsilon_{yy} = 0,02\% \cdot \kappa z^{-1}$. Измерения деформаций проведенные при комнатной температуре с помощью малобазных фольговых тензорезисторов ФКПА-1 дают значение $(\epsilon_{xxx}) = 0,025 \pm 0,007\% \cdot \kappa z^{-1}$. Экспериментальные значения (ϵ_{yy}) на 30% меньше. Величины деформаций в обимках из 40 ХНЮ имеют примерно те же значения. В дальнейшем указываются расчетные значения деформаций.

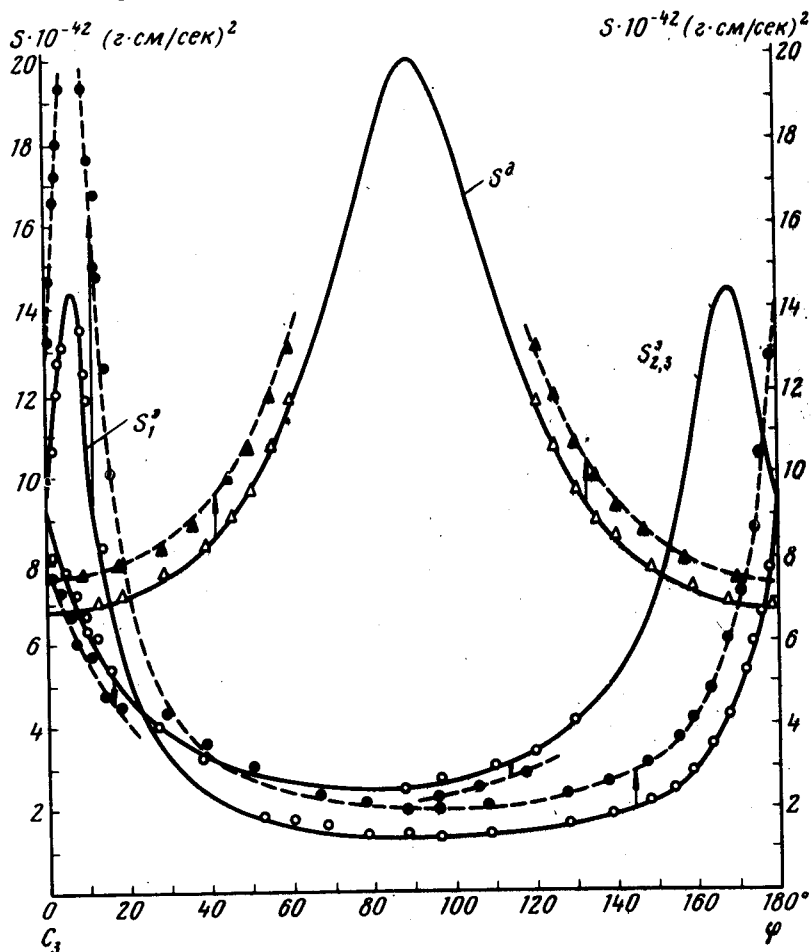


Рис. 2. Угловые зависимости экстремальных сечений поверхности Ферми V_i в тригонально-бисекторной плоскости: $\circ, \Delta - \epsilon_{xx} = 0$; $\bullet, \blacktriangle - \epsilon_{xx} = 0,16\%$ ($\sigma = 8 \kappa \Gamma$)

Осцилляции Шубникова — де Гааза измерялись с помощью обычной низкочастотной модуляционной методики в полях до 45 кэ и температурах 4,2 и 2,1 К при растяжении V_i вдоль бинарной оси C_2 . Магнитное поле вращалось в тригонально-бисекторной плоскости. Направление кристаллографических осей в образце, а также расположение токовых и потенциальных контактов показано на рис. 1. При указан-

ном расположении контактов основной вклад в осцилляции дает центральная, однородно деформированная, часть образца.

В выбранной кристаллографической ориентации осцилляции магнитосопротивления являются суперпозицией трех частот, связанных с экстремальными сечениями дырочного S^D "эллипсоида", электронного "эллипсоида" S_1^3 , максимальная ось которого перпендикулярна оси растяжения и совпадающими сечениями $S_{2,3}^3$ двух других электронных "эллипсоидов".

Для разделения частот использовалась наряду с продольной поперечная модуляция магнитного поля. Наиболее сложные кривые обрабатывались на ЭВМ.

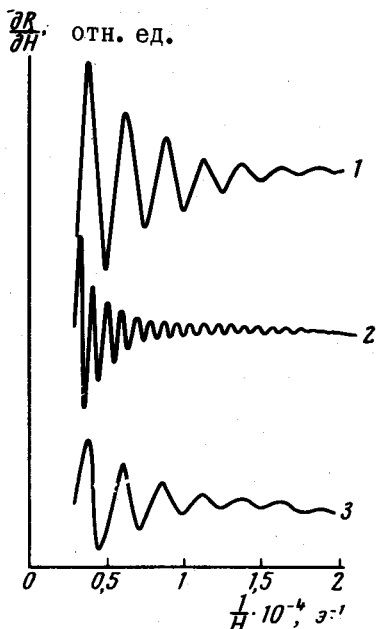


Рис. 3. Осцилляции производной магнитосопротивления ($\partial R/\partial H$) для сечения S_1^3 при $\phi = 168^\circ$: 1 - $\epsilon_{xx} = 0$; 2 - $\epsilon_{xx} = 0,6\%$; 3 - нагрузка снята.

Характер изменения поверхности Ферми при растяжении для $\epsilon_{xx} = -0,16\%$ представлен на рис. 2. Если при всестороннем сжатии [1] и сжатии вдоль тригональной оси C_3 [2,3] у Вi наблюдается подобное изменение всех трех изоэнергетических поверхностей, то при растяжении вдоль оси C_2 имеет место качественно различное поведение электронных "эллипсоидов", при котором сечения S_1^3 линейно возрастают с нагрузкой σ со скоростью $\partial \ln S_1^3 / \partial \sigma = 6,4 \pm 0,3\% \cdot \kappa \tau^{-1}$, а сечения $S_{2,3}^3$ линейно убывают и $\partial \ln S_{2,3}^3 / \partial \sigma = -(1,8 \pm 0,2)\% \cdot \kappa \tau^{-1}$. Линейность в изменении сечений сохраняется до максимальных получаемых в данной работе деформаций $\epsilon_{xx} = 0,6\%$ при $\sigma = 30 \text{ кг}$ ($\epsilon_{xx} \sim \sigma$), при которых сечения "эллипсоида" S_1^3 увеличиваются в 3 раза (рис. 3).

Следует заметить, что величина $\epsilon_{xx} = 0,6\%$ не является, по-видимому, для данного метода предельной, так как наблюдается практически полная обратимость осцилляционных кривых при снятии нагрузки.

Обнаруженный характер изменения электронной части поверхности Ферми у Вi является следствием нарушения эквивалентности электронных экстремумов в точках L фазового пространства из-за исчезновения оси симметрии 3-го порядка при деформациях, перпендикулярных C_3 . Оценка, проведенная по модели Абрикосова [4] для малых

деформаций¹⁾ указывает на то, что электронные экстремумы L_1 и $L_{2,3}$ смещаются друг относительно друга со скоростью $\sim 1 \text{ мэв/кг}$, причем L_1 опускается, а $L_{2,3}$ поднимаются относительно своего значения при $\sigma = 0$.

Линейное уменьшение сечений $S_{2,3}^3$ при растяжении, составляющее 36% при $\epsilon_{xx} = 0,4\%$, позволяет считать, что при $\epsilon_{xx} = 1,1\%$ ($\sigma \approx 55 \text{ кг}$) "эллипсоиды" 2 и 3 должны исчезнуть и электронная часть поверхности Ферми у Vi должна стать одноэллипсоидной.

Из рис. 2 также следует, что анизотропия возрастающего "эллипсоида" существенно не меняется по крайней мере до значения $\epsilon_{xx} \approx 0,2\%$. Анизотропия убывающих "эллипсоидов", осцилляции от которых наблюдаются в более узком интервале углов, требует в свете последних данных [5] специального изучения. Сечения дырочного "эллипсоида" линейно возрастают при растяжении со скоростью $\partial \ln S^D / \partial \sigma = (1,4 \pm 0,2)\% \cdot \text{кг}^{-1}$. Анизотропия этой части поверхности Ферми, по-видимому существенно не меняется.

Циклотронная эффективная масса для минимального сечения: S_1^3 , определенная из температурной зависимости амплитуды осцилляций, возрастает при растяжении на $\sim 60\%$ при $\sigma = 10 \text{ кг}$.

В заключение следует отметить, что предложенный метод создания деформаций можно использовать в равной мере для одностороннего сжатия образцов.

Московский
государственный университет
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
1 июля 1977 г.

Литература

- [1] Н.Б.Брандт, Ю.А.Гайдуков, Е.С.Ицкевич, Н.Я.Минина. ЖЭТФ, 47, 455, 1964.
- [2] Н.Б.Брандт, Г.А.Рябенко. ЖЭТФ, 37, 389, 1959.
- [3] Н.Б.Брандт, В.А.Кульбачинский, Н.Я.Минина. ФТТ, 18, 1829, 1976.
- [4] А.А.Абрикосов, J.Low Temp. Physics, 8, 315, 1972
- [5] Н.Б.Брандт, В.В.Мошталков, С.М.Чудинов. Письма в ЖЭТФ, 25, 361, 1977 г.

¹⁾ Если считать, что модель Абрикосова сохраняется при малых деформациях, нарушающих симметрию решетки.