

ПОВЕДЕНИЕ ТЕРМОЭДС ВИСКЕРОВ ВИСМУТА ПРИ ПЕРЕХОДЕ $2^{1/2}$ РОДА

Ю.П.Гайдуков, Н.П.Данилова, Е.В.Никифорова

На вискерах висмута толщиной 1 – 2 мкм измерена зависимость дифференциальной термоэдс (α) от упругого растяжения до 1,2% при $T = 5,5$ К. Обнаружена ярко выраженная не-
'монотонная зависимость', которая связывается с переходом $2^{1/2}$ рода.

Как показано в работах ^{1, 2}, при переходах $2^{1/2}$ рода наиболее ярко аномалии электронных характеристик металла будут проявляться в α . Как в случае деформации, так и при добавлении примеси поведение α при $T \rightarrow 0$ должно иметь вид $(\pm z)^{-1/2} \theta(\pm z)$. Здесь $z = \mu - \mu_c$ (μ – химический потенциал электронов, μ_c – его критическое значение) – параметр близости к переходу, пропорциональный, например, давлению, удлинению, концентрации примесей; $\theta(x)$ равно 0, если $x < 0$, и $\theta(x)$ равно единице, если $x > 0$. Впервые проверка этих выводов теории была проведена на сплавах $\text{Li}_{1-x}\text{Mg}_x$ ³, в которых при концентрации $\text{Mg} \sim 20\%$ был обнаружен аномальный ход $\alpha(x)$: в окрестности $x_c = 0,2$ α проходит через максимум. Указанное значение концентрации хорошо согласуется с расчетным значением области касания поверхности Ферми (ПФ) с границами зоны Бриллюэна, что позволило предположить, что наблюдаемое явление относится к переходу $2^{1/2}$ рода. Хотя такое предположение является правдоподобным, необходимо все же иметь непосредственное экспериментальное доказательство как самого факта существования трансформации ПФ в исследованных сплавах, так и критического значения концентрации примеси, при котором наступает топологический переход. Сплавы $\text{Li}_{1-x}\text{Mg}_x$ не представляют такой возможности. В то же время переход $2^{1/2}$ рода, наблюдаемый при упругом растяжении вискеро- в висмута и алюминия ^{4, 5}, позволяет поставить эксперимент, в котором можно четко установить связь возникновения аномалий α с изменением топологии ПФ.

С этой целью мы исследовали вискеры висмута. Упругое растяжение вискеро- в висмута проводилось на устройстве, описанном в ⁶, которое было модифицировано для измерения α . Конструкция устройства позволяет легко получить значительный перепад температур на сравнительно небольших расстояниях $\sim 0,3 - 0,5$ мм. Монтаж образцов осуществлялся электропроводящими клеями, обеспечивающими механический и электрический контакты. Перепад температур на образце измерялся с помощью дифференциальной термопары с чувствительностью ~ 10 мкВ/град в области гелиевых температур. Рабочая длина образцов была $0,3 - 0,5$ мм, градиент температуры $10 - 50$ град/см. Измерения проводились при средней температуре на образце $\sim 5,5$ К. Диаметр исследованных образцов – $1 - 2$ мкм. α образцов и измерялась дифференциальным методом при автоматической записи кривых. Исследовано около 40 образцов. Величины α_0 при $\Delta l/l_0 = 0$ ($\Delta l/l_0$ – относительное удлинение, l_0 – начальная длина образцов) имеют отрицательный знак и некоторый разброс значений относительно средней величины $\alpha_0 = -7$ мкВ/град.

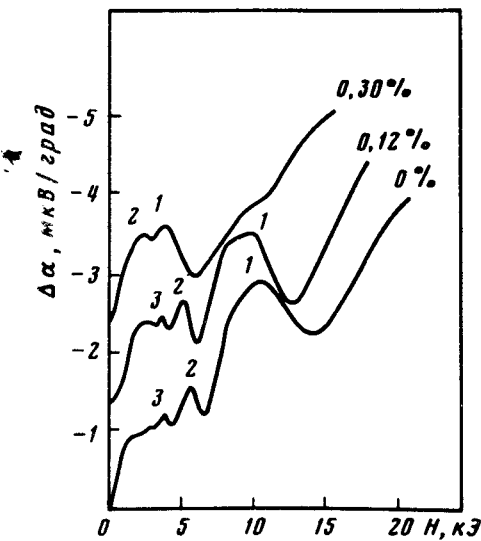


Рис. 1

Рис. 1. Влияние растяжения на квантовые осцилляции термоэдс вискера висмута в магнитном поле: $\Delta\alpha = \alpha(H) - \alpha(0)$. У кривых приведены значения относительного удлинения. Кривые для 0,12 и 0,3 % сдвинуты по ординате. Над пиком указаны номера уровней Ландау

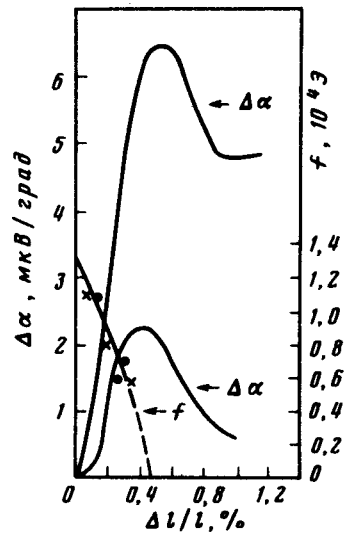


Рис. 2

Рис. 2. Зависимости периода квантовых осцилляций f и величины термоэдс вискеров висмута от относительного удлинения. $\Delta\alpha = \alpha(\Delta l/l_0) - \alpha(0)$. Точки: ● — образец №1, $\alpha_0 = -10$ мкв/град, $\Delta\alpha$ — верхняя кривая; × — образец №2, $\alpha_0 = 4,5$ мкв/град, $\Delta\alpha$ — нижняя кривая

Проводились две серии измерений. В первой из них при фиксированных значениях $\Delta l/l_0$ снималась зависимость α от величины магнитного поля, направленного вдоль оси образца (рис. 1). Как видно, зависимость носит ярко выраженный осциллирующий характер. Периоды наблюдаемых осцилляций позволяют отнести образец к вполне определенной ориентации, условно обозначаемой — тип I или тип II³. Рис. 1 относится к образцам типа I¹⁾, претерпевающим при $\Delta l/l_0 \cong 0,5\%$ переход $2^{1/2}$ рода. Последовательное увеличение $\Delta l/l_0$ позволяет следить за изменением периода квантовых осцилляций, что в свою очередь позволяет точно фиксировать начало растяжения образца и момент изменения топологии ПФ висмута (исчезновение одного из трех электронных эллипсоидов). Основное внимание было уделено образцам этой ориентации. Во второй серии измерений снималась зависимость α от $\Delta l/l_0$ в отсутствие магнитного поля, при этом специально проверялась обратимость наблюдаемых явлений. На рис. 2 представлен вид зависимости $\Delta\alpha$ от $\Delta l/l_0$ для образцов типа I. Для всех образцов этого типа с началом деформации в α появляется положительная добавка $\Delta\alpha$, которая резко возрастает, достигает максимума при $\Delta l/l_0 \cong 0,5\%$, затем резко уменьшается и слабо изменяется при $\Delta l/l_0 > 1\%$. На образцах типа II, для которых топологический переход возможен только при $\Delta l/l_0 \gtrsim 2\%$, в области удлинений до 1% наблюдается лишь небольшое монотонное изменение α .

Сопоставление изменения периода квантовых осцилляций с зависимостью α от $\Delta l/l_0$ позволяет заключить, что наблюдаемая немонотонность для образцов типа I связана с переходом $2^{1/2}$ рода. В этом случае следует считать, что максимум α совпадает с моментом исчезновения одного из электронных эллипсоидов ПФ висмута. Отметим качественное согласие эксперимента с теорией²: прохождение α через максимум, положительный знак $\Delta\alpha$, величина $\Delta\alpha$ в максимуме сравнима с начальным значением α_0 . Отметим также, что согласно^{1,2} в мо-

1) Оси этих образцов отклонены примерно на 15° от бинарной оси кристалла.

мент $z = 0$ должно наблюдаться скачкообразное изменение α (производная обращается в бесконечность). Экспериментально это не наблюдается. Возможно, что причиной является температурное размытие, хотя сравнение температуры Ферми ($T_F \approx 300\text{K}$) с температурой эксперимента не свидетельствует в пользу этого. Тем не менее для окончательного вывода необходимо провести измерения в широком интервале температур.

Литература

1. Лифшиц И.М. ЖЭТФ, 1960, 38, 1569;
2. Вакс В.Г., Трефилов А.В., Фомичев С.В. ЖЭТФ, 1981, 80, 1613.
3. Егоров В.С., Федоров А.Н. Письма в ЖЭТФ, 1982, 35, 375.
4. Гайдуков Ю.П., Данилова Н.П., Щербина-Самойлова М.Б. ЖЭТФ, 1979, 77, 2125.
5. Overcash D.R., Davis T., Cook J.W., Scove Jr., M.J. Phys. Rev. Lett., 1981, 46, 287.
6. Гайдуков Ю.П., Данилова Н.П., Щербина-Самойлова М.Б. ПТЭ, 1979, №1, 250.

Московский
государственный университет
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
25 апреля 1984 г.