

ЭЛЕКТРОННЫЕ ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ ПЕРЕХОДЫ В ИНДИИ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Заварицкий Н.В., Макаров В.И., Юргенс А.А.

Обнаружены особенности в термоэдс α индия, возникающие при топологическом изменении поверхности Ферми под давлением. Определено местоположение переходов в энергетическом масштабе. Амплитуда аномалии у чистого индия, в отличие от существующих представлений, увеличивается при повышении температуры.

Ранее ¹, на основании анализа немонотонной зависимости $\partial T_c / \partial p$ в индии от концентрации примеси предполагалось что в нем могут существовать два топологических перехода вблизи энергии Ферми — ϵ_F .

Как известно (² и там же литература), электронный топологический переход сопровождается резкими особенностями в величине термоэдс α . В данной работе представлены результаты исследования α в индии под давлением до 12 кбар.

Методика измерения α под давлением была аналогична использовавшейся ранее ². Объектом исследования являлись образцы, полученные продавливанием исследуемого материала через очко диаметром от 3 до 1 мм. Образцы были следующего состава: 1 – чистый индий ($RRR \approx 11000$), 2 – индий + 0,09% ртути ($RRR \approx 640$), 3 – индий + 0,8% ртути ($RRR \approx 70$), 4 – индий + 2,5% кадмия ($RRR \approx 14$).

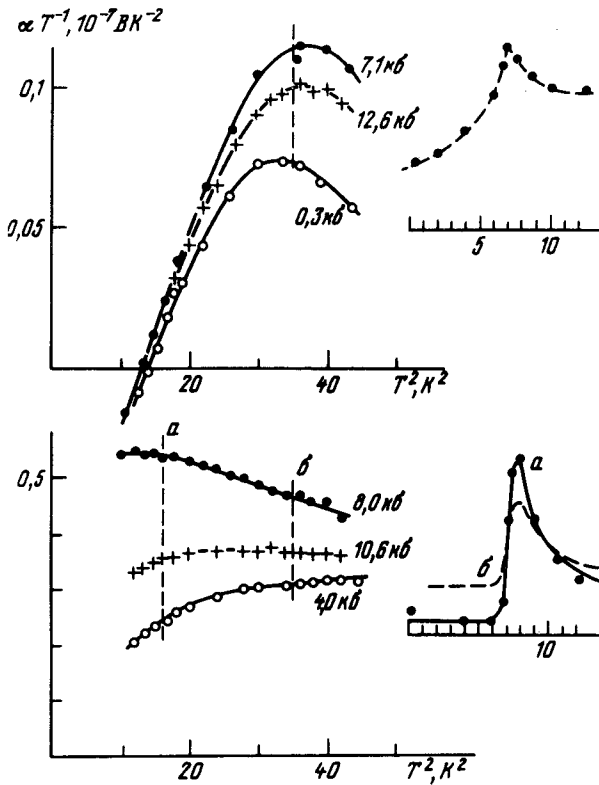


Рис. 1. Результаты измерения термоэдс α чистого индия (вверху) и индия с 0,09 % Hg (внизу) при разных давлениях, указанных рядом с кривыми. Справа показана зависимость величины αT^{-1} от давления при температурах, отмеченных пунктирными прямыми

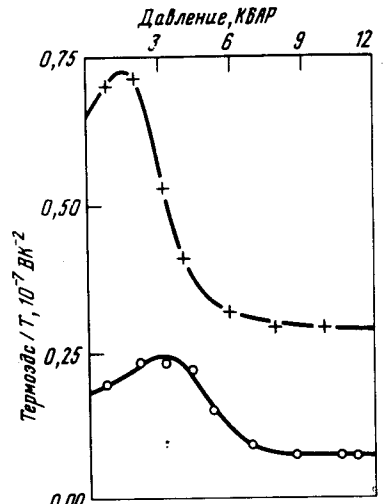


Рис. 2

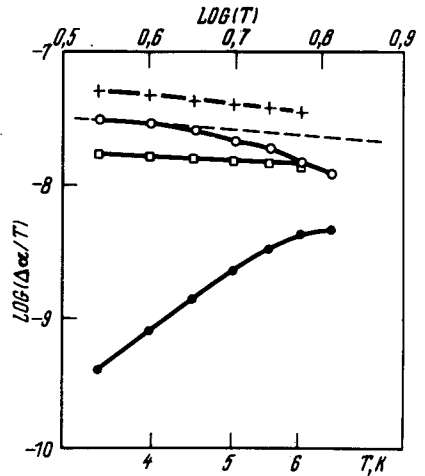


Рис. 3

Рис. 2. Зависимость величины αT^{-1} от давления при $T = 4$ К для образцов индия с 0,8 % Hg (верхняя кривая) и 2,5 % Cd (нижняя кривая). Разная величина термоэдс для двух образцов связана с различным сортом примеси

Рис. 3. Температурная зависимость аномалий, т. е. зависимость величины $\Delta \alpha T^{-1} = \frac{\alpha(p_1, T)_{max} - \alpha(p_2, T)_{min}}{T}$ от температуры T для разных образцов (p_1 и p_2 – значения давлений, при которых α принимает соответственно максимальное и минимальное значения при температуре T): + – In + 0,8% Hg; o – In + 0,09% Hg; □ – In + 2,5% Cd; ● – чистый In. Пунктирная прямая соответствует закону $\sim T^{-0,5}$

Результаты измерения величины αT^{-1} у образцов 1 и 2 при разных давлениях представлены на рис. 1. Значительное возрастание величины αT^{-1} у образца 1 связано с фоновым увлечением. Наличие максимума на кривых $\alpha T^{-1}(T^2)$ при $T \sim 6$ К обусловлено появлением процес-

сов переброса в фононной системе. Ртуть была выбрана в качестве основной примеси, так как она подавляет фононное увлечение, что видно по кривым $\alpha T^{-1}(T^2)$ для образца 2.

На рис. 1 справа показаны зависимости αT^{-1} как функции давления при фиксированных температурах, отмеченных слева пунктирными прямыми. Аналогичные зависимости для образцов 3 и 4 при $T = 5$ К показаны на рис. 2. Отчетливые аномалии на рис. 1 справа и рис. 2 указывают на наличие топологических изменений поверхности Ферми. По асимметрии кривых $\alpha T^{-1}(p)$ видно, что у образцов 1 и 2 при увеличении давления происходит образование новых электронных участков, а у образцов 3 и 4 — возникновение перешейка между электронными полостями поверхности Ферми.

Согласно данным о поверхности Ферми^{3,4} у образцов 3 и 4 происходит восстановление связности кольца β трубок в 3-й зоне, которое было разорвано введением примеси ртути или кадмия. Особенности у образцов 1 и 2, скорее всего, связаны с появлением в третьей зоне Брюллиена α -трубок или электронных карманов в точках W^5 .

Следует отметить хорошее количественное совпадение вида особенностей у образцов 2, 3, 4, с существующей теорией^{2,6}. На рис. 1, справа внизу, и рис. 2 все кривые, соединяющие экспериментальные точки, проведены по соотношению: $\alpha T^{-1} = \alpha_0 T^{-1} + \delta \alpha T^{-1}$

$$\delta \alpha T^{-1} = A \int_{-\infty}^{+\infty} y \operatorname{ch}^{-2} \frac{y}{2} \left\{ B + yT + [(B + yT)^2 + (\Gamma/2)^2]^{1/2} \right\} dy, \quad (1)$$

$$B \equiv (\epsilon_F - \epsilon_c)_0 + \frac{\partial(\epsilon_F - \epsilon_c)}{\partial p} p,$$

где ϵ_F, ϵ_c — энергия Ферми и ее критическое значение, $\Gamma \equiv \hbar/\tau$ — величина затухания квазичастиц в окрестности топологического перехода $\epsilon_F = \epsilon_c$.

Для образца 2 обсчет экспериментальных данных по формуле (1) дает: $(\epsilon_F - \epsilon_{c1})_0 \approx -115$ К; $\partial(\epsilon_F - \epsilon_{c1})/\partial p \approx 16$ К/кбар; $\Gamma \lesssim 10^{-2}$ К. Учитывая смещение максимума зависимости $\alpha T^{-1}(P)$ образца по отношению к образцу 1 можно определить $\partial(\epsilon_F - \epsilon_{c1})/\partial c \approx 113$ К% (c — атомная концентрация ртути). Зная эти величины для чистого индия получаем $(\epsilon_F - \epsilon_{c1})_0 \approx -105$ К. Оценка этой величины в случае разрыва связности β кольца дает $(\epsilon_F - \epsilon_{c2})_0 \approx +80$ К. Последнее значение хорошо согласуется с величиной, определенной из измерений эффекта де Гааз — ван Альфена⁴. Полученные значения $(\epsilon_F - \epsilon_{c1})_0$ и $(\epsilon_F - \epsilon_{c2})_0$ существенно превосходят оценки этих величин, приведенные в работе¹.

Температурная зависимость и соотношение амплитуд аномалий (рис. 3) $\delta \alpha T^{-1}(p)$ у образцов 3 и 4 хорошо описываются выражением 1. Обнаруженное у образца 2 более резкое уменьшение амплитуды эффекта при повышении температуры можно понять, если учесть роль электрон-фононного рассеяния в кинетике электронов^{6,11}.

Неожиданной оказалась температурная зависимость аномалии чистого индия (образец 1), у которого наблюдается значительное увеличение последней при повышении температуры. Сама форма аномалии не является столь классической, как для образца 2, хотя мы имеем дело с более чистым образцом, в котором затухание электронов еще в двадцать раз меньше.

Интересно отметить, что особенность достигает значительной величины в области 5 — 7 К, где вследствие процессов переброса в фононной системе достигается условие ее равновесия.

Авторы признательны И.М. Сулову за полезные дискуссии.

Литература

1. Волынский И.Я., Макаров В.И., Ганн В.В. ЖЭТФ, 1975, 69, 1019.
2. Заваицкий Н.В., Макаров В.И., Юргенс А.А. Письма в ЖЭТФ, 1985, 42, 148.

¹¹ В образцах с меньшим содержанием ртути ($RRR = 2200$ и 6500) в дальнейшем было обнаружено более резкое уменьшение $\Delta \alpha T^{-1}$ при повышении температуры до ~ 6 К. Еще раз отметим, что у этих образцов не наблюдается существенного вклада фононного увлечения в термоэдс.

3. Мина Р.Г., Хайкин М.С. ЖЭТФ, 1966, 51, 62.
4. Holtham P.M., Parsons D. Journ. Phys. C, 1976, 6, 1481.
5. Зароченцев Е.В., Орел С.М. ФММ, 1984, 58, 31.
6. Абрикосов А.А., Панцулая А.В. ФТТ, 1986, 28, 2140.

Институт физических проблем
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
12 февраля 1987 г.