

## ОТРАЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ И ДЫРОК СУРЬМЫ ОТ ГРАНИЦЫ ОБРАЗЦА

В.С.Цой, И.И.Разлонов

В работе наблюдается поперечная фокусировка [1] электронов и дырок в сурьме. Обнаружено существенное влияние знака заряда носителей тока на характер отражения от границы: при нормальном падении электроны отражаются практически зеркально, дырки — диффузно. Различие в отражении электронов и дырок связывается с приповерхностным загибом зон [6].

В [1] наблюдается фокусировка электронов в металле поперечным однородным магнитным полем (ЭФ). Эксперимент [1] проведен на висмуте. Данная работа преследует две цели. Во-первых, учитывая широкие возможности ЭФ как метода исследования [1–4], экспериментально обнаружить ЭФ в металле, у которого ферми-поверхность (ФП) не обладает столь сильно выраженной цилиндричностью, как у висмута. Во-вторых, поскольку исследования угловой зависимости коэффициента зеркального отражения электронов  $q(\Theta)$  от границы образца в висмуте [3], [5] показали, что у  $q(\Theta)$  наблюдается сильная зависимость от  $\Theta$  при  $\Theta \approx 50 \div 60^\circ$  (крутой спад), и причиной столь аномального поведения, возможно, является [5] приповерхностный изгиб зон [6], представляет значительный интерес исследовать отражение от одного и того же участка поверхности квазичастиц с разным знаком заряда (незначительное различие эффективных масс и скоростей электронов и дырок и геометрия ФП сурьмы благоприятствуют этому).

Использовалась та же экспериментальная схема, что и при наблюдении ЭФ в висмуте [1]. Плоскопараллельный монокристаллический образец сурьмы толщиной 2 мм вырезался из монокристаллического слитка на электроискровом станке так, что ось  $C_3$  была перпендикулярна плоскости образца. Исходный материал имел отношение сопротивлений  $\rho_{\text{комн}}/\rho_{4,2} = 2700$ ;  $\rho_{\text{комн}}, \rho_{4,2}$  — удельное сопротивление, соответственно, при комнатной температуре и при 4,2К. Поверхностный слой металла после резки стравливался, затем поверхность образца электрополировалась. На образец устанавливались два микроконтакта — эмиттер и коллектор — на расстоянии  $L \approx 0,15$  мм друг от друга. Через эмиттер пропускался ток, и измерялось напряжение на коллекторе  $U$  относительно периферийной точки образца в зависимости от величины магнитного поля  $H$ . Линия контактов располагалась перпендикулярно одной из трех зеркальных плоскостей кристалла,  $H$  было перпендикулярно линии контактов и параллельно поверхности образца. В экспериментальной установке была предусмотрена возможность вращать  $H$  в плоскости образца и наклонять к поверхности на угол  $\pm 20^\circ$ . Установка для наблюдения ЭФ описана в [7].

На рис. 1 показана ориентация электронного и дырочного эллипсоидов относительно  $C_3$  в проекции на зеркальную плоскость. Большие полуоси эллипсоидов лежат в зеркальной плоскости; малые полуоси, лежащие в той же плоскости, соответственно равны: для электронов  $p_e = 0,54 \cdot 10^{-20}$  г.см/сек, для дырок  $p_h = 0,48 \cdot 10^{-20}$  г.см/сек [8]. На рис. 1 показаны также направление  $\vec{H}$  и центральные сечения ФП (пунктир), в окрестности которых находятся фокусируемые электроны и дырки при использованной геометрии эксперимента.

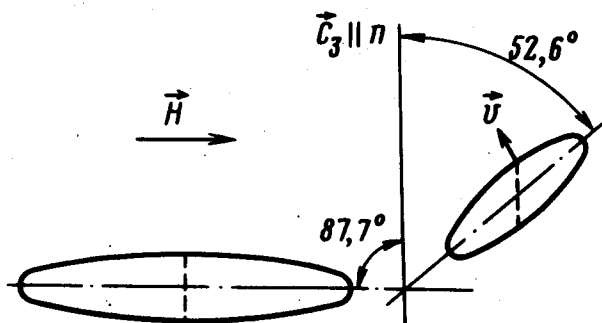


Рис. 1. Электронный (угол между большей осью и  $C_3$  —  $87,7^\circ$ ) и дырочный эллипсоиды ФП сурьмы.  $\vec{n}$  — нормаль к плоскости образца.

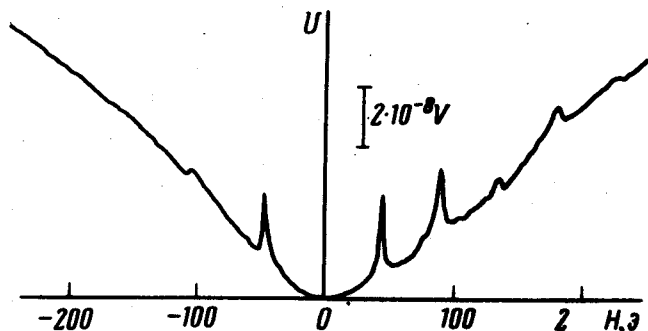


Рис. 2. Зависимость  $U(H)$ .  $T = 1,7\text{K}$ . Указан масштаб по оси ординат

Экспериментальная запись  $U(H)$  приведена на рис. 2. При  $H > 0$  траектории электронов, вылетевших из эмиттера, закручиваются к коллектору, и эти электроны могут попасть в коллектор. Для дырок подобная ситуация имеет место при  $H < 0$ , т. е. при  $H > 0$  на коллекторе могут фокусироваться только электроны, при  $H < 0$  — дырки. Возникновение всплесков  $U(H)$ , их положение на шкале  $H$  и поведение при изменении направления  $\vec{H}$  свидетельствуют о том, что на коллекторе фокусируются квазичастицы именно из сечений ФП (их окрестностей), отмеченных на рис. 1 пунктиром. Первые всплески обусловлены фокусировкой без отражений, последующие — при одно, двух, и т. д. кратном отражении от поверхности. Из соотношения амплитуд первой и второй линий [1] для коэффициента зеркального отражения  $\rho$  при нормальном падении<sup>1)</sup> на границу получаются следующие значения: для элект-

<sup>1)</sup> При зеркальном отражении движение фокусируемых электронов (дырок) периодическое и происходит в плоскости, отклоненной от  $C_3$  на угол в несколько градусов (для дырок  $\approx 30^\circ$ )

ронов  $q_e = 0,8$ , для дырок  $q_h = 0,1$ . Отметим, что при этом как электроны, так и дырки отражаются от одного и того же участка поверхности образца, расположенного посередине между контактами. Немонотонное изменение амплитуд линий ЭФ с увеличением номера и резкое уменьшение амплитуд третьей и последующих линий (при  $H > 0$ ) обусловлено, по видимому, локальными дефектами поверхности. При наблюдении ЭФ в висмуте подобную ситуацию удавалось осуществлять искусственно путем создания дефектного участка поверхности между контактами [5].

Два результата работы на наш взгляд представляют особый интерес. Во-первых, высокая степень зеркальности отражения электронов, нормально падающих на поверхность ( $q_e = 0,8$ ). Дебройлевская длина волны электронов сурьмы  $\sim 10^{-6}$  см, следовательно размеры шероховатостей, которые чувствуют электроны, существенно меньше этой величины. Во-вторых, кардинальное различие в характере отражения от одного и того же участка поверхности образца электронов и дырок. Различие, возможно, определяется приповерхностным изгибом зон [6], обусловленным возникновением отрицательного поверхностного заряда. В этом случае электроны отражаются не от истинной границы образца, а от потенциального барьера, созданного полем поверхностного заряда. Поэтому электроны не чувствуют рельеф самой поверхности, и степень диффузности определяется "рельефом" поля поверхностного заряда. Отрицательный поверхностный заряд не препятствует долетанию до поверхности дырок, и степень диффузности отражения дырок определяется шероховатостями самой границы образца, чем и обусловлено различие в характере отражения электронов и дырок. Величина изгиба зон должна быть порядка фермиевской энергии; в случае сурьмы  $\approx 0,1$  эв.

Институт физики твердого тела  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
9 декабря 1975 г.

### Литература

- [1] В.С.Цой. Письма в ЖЭТФ, 19, 114, 1974.
- [2] С.А.Корж. ЖЭТФ, 68, 144, 1975.
- [3] В.С.Цой. ЖЭТФ, 68, 1849, 1975.
- [4] В.С.Цой. Письма в ЖЭТФ, 22, 409, 1975.
- [5] В.С.Цой, Н.П.Цой. ЖЭТФ, 1976 (в печати).
- [6] В.Я.Кравченко, Э.И.Рашба. ЖЭТФ, 56, 1713, 1969.
- [7] В.С.Цой. ПТЭ, 1976 (в печати).
- [8] L. R. Windmiller. Phys. Rev., 149, 472, 1966.