

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ВЕРОЯТНОСТИ АНДРЕЕВСКОГО ОТРАЖЕНИЯ

В.С.Цой, С.Е.Яковлев

Осуществлен эксперимент по прямому наблюдению зависимости вероятности андреевского отражения (АО) q_A от энергии возбуждения ϵ при нормальном падении на n - s -границу с помощью поперечной электронной фокусировки (ЭФ) ¹.

Одно из приложений микроконтакта между двумя металлами в условиях, когда его размер много меньше электронной длины свободного пробега l (зонд Шарвина) – использование в качестве инжектора (эмиттера) неравновесных носителей тока ². Простота изготовления устройства и регулировки величины неравновесности в широком диапазоне энергии открывает дополнительные возможности для исследования кинетики неравновесных электронов. Эксперименты в этом направлении были выполнены с использованием схемы продольной ³ и поперечной ^{4, 5} электронной фокусировки. В данной работе с помощью ЭФ исследована зависимость q_A от ϵ . Исследованию энергетической зависимости АО посвящены работы ⁶⁻⁸.

Для создания n - s -границы использовалась та же методика, что и в работе ⁹. Отличие заключалось в следующем. Для очистки поверхности висмутового образца перед напылением пленки олова использовался пучок ионов с более низкой энергией 150 эВ, время травления — 1,5 часа. После отжига образца при температуре 180° С в течение 4 часов на поверхности образца наблюдалась дифракция медленных электронов (ДМЭ). Кристаллографическая ось C_3 перпендикулярна поверхности образца. Интенсивность дифракционной картины, энергетические профили интенсивности, соотношение между амплитудой рефлексов и фоном были близки к наблюдаемым при ДМЭ на поверхности (111) сурьмы ¹⁰. Поверхность образца содержала малое количество примесей кислорода и углерода. Затем на поверхность образца напылялась оловянная пленка толщиной $640 \pm 70 \text{ \AA}$. Несмотря на значительную толщину пленки амплитуда оже-пика висмута (энергии 103 эВ) уменьшилась всего лишь на 30% по сравнению с амплитудой до напыления пленки. Что свидетельствует об островковом характере пленки и, возможно, сегрегации висмута. Более того, на поверхности образца наблюдалась ДМЭ от висмутовой подложки, на которой имела место реконструкция (6×6) . Затем образец вынимался из сверхвысоковакуумной камеры и дальнейшие манипуляции с ним проводились в обычных условиях. Области, свободные от сверхпроводящей пленки, получали вокруг острия путем установки его на образец под напряжением $\sim 100 \text{ В}$. Иногда эту процедуру необходимо было проделать несколько раз.

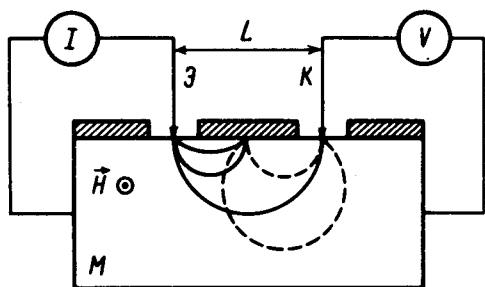


Рис. 1. M — образец, I — источник тока, V — вольтметр. Штриховкой выделена оловянная пленка. Изображены траектории эффективных квазичастиц (электронных — сплошные линии, дырочных — пунктирные) при трех значениях H : $0 < H < 2H_0$, $H = H_0$, $H = 2H_0$

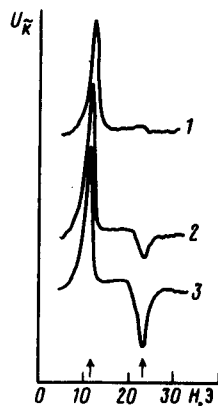


Рис. 2. Зависимость $U_K(H)$ при различных U_3 . $L = 82 \text{ мкм}$, $R_3 = 0,78 \text{ Ом}$. Записи кривых 1 — 3 проведены при U_3 соответственно равном 3,9; 0,7; 0 мВ. На оси абсцисс стрелками отмечены H_0 и $2H_0$. Кривые произвольно смещены вдоль оси ординат

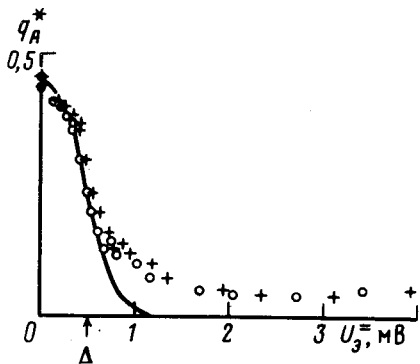


Рис. 3. Стрелкой на оси абсцисс отмечена величина Δ

Схема эксперимента приведена на рис.1. Контакты : эмиттер(Э) и коллектор(К), устанавливались вдоль оси C_2 . Магнитное поле H лежало в плоскости образца и было перпендикулярно C_2 . Через Э пропускался электрический ток $I_3 = I_0 \sin \omega t$, измерялась амплитуда переменного напряжения U_K на К. В используемой геометрии эксперимента вторая линия ЭФ формируется электронами, которые один раз отразились в области участка поверхности об-

разца, покрытого пленкой олова. Измерения зависимости характера отражения от энергии возбуждения проводили модуляционным способом ⁴ — измерялась зависимость амплитуды линии ЭФ от величины постоянного тока $I_{\bar{3}}(I_{\bar{3}} = I_{\bar{3}}^{\bar{0}} + I_0 \sin \omega t; I_0 = \text{const} \ll I_{\bar{3}}^{\bar{0}})$. Ускоряющее напряжение $U_{\bar{3}}^{\bar{0}} = I_{\bar{3}}^{\bar{0}} R_{\bar{3}}$. В экспериментах сопротивление Э $R_{\bar{3}}$ было около 1 Ома, $I_0 = 2 \cdot 10^5$ А. Для наблюдения фокусировки возбуждений, имеющих энергию ϵ , важно, чтобы $l(\epsilon)$ была больше или по крайней мере порядка расстояния между контактами L . В наших экспериментах L не превышало 100 мкм, минимальная величина составляла 40 мкм.

На рис. 2 приведены экспериментальные записи $U_{\bar{K}}^{\sim}(H)$ при различных $U_{\bar{3}}^{\bar{0}}$ при $T = 1,6$ К. Критическая температура оловянной пленки $T_c = 3,4$ К (определялась по резкому уменьшению монотонного хода в зависимости $U_{\bar{K}}^{\sim}$ от H). Полярность постоянного напряжения была такова, что электроны в области Э ускорялись — Э генерировал электронные возбуждения. В поле H_0 наблюдается линия ЭФ, обусловленная фокусировкой возбуждений, вылетевших из Э и попадающих в К без отражений от поверхности. В поле $2H_0$ наблюдается пик коллекторного напряжения другой полярности, обусловленный возбуждениями после АО ^{9, 11}. На рис. 3 приведена зависимость отношения амплитуды второй линии ЭФ к амплитуде первой $q_A^* = A_2/A_1$ от $U_{\bar{3}}^{\bar{0}}$ ($q_A^* \sim q_A$ ^{9, 11}). В простейшем случае различие сверхпроводящей и нормальной фаз заключается лишь в том, что в нормальной фазе величина сверхпроводящей щели равна нулю, а при переходе в сверхпроводящую фазу она скачком изменяется до величины Δ (в нашем случае $\Delta = 0,50$ мэВ) и является постоянной величиной. В этом случае зависимость q_A от ϵ имеет вид: $q_A = 1$ при $\epsilon \leq \Delta$, $q_A = (\frac{\epsilon}{\Delta} - \sqrt{(\frac{\epsilon}{\Delta})^2 - 1})^2$ при $\epsilon > \Delta$ ¹². Предположим, что функция распределения возбуждений $f(\epsilon; e U_{\bar{3}}^{\bar{0}}) = f_0(\epsilon - e U_{\bar{3}}^{\bar{0}})$, f_0 — фермиевская функция распределения при температуре T . Тогда доля частиц, испытавших АО и регистрируемых модуляционной техникой $N(U_{\bar{3}}^{\bar{0}}) = \int_{-\infty}^{+\infty} (-\partial f / \partial \epsilon) q_A(\epsilon) d\epsilon \times [\int_{-\infty}^{+\infty} (-\partial f / \partial \epsilon) d\epsilon]^{-1}$. Зависимость $N(U_{\bar{3}}^{\bar{0}})$ представлена на рис. 3 сплошной линией. Для простоты принималось $q_A = 0$ при $\epsilon > \Delta$. Масштаб по оси ординат подобран так, чтобы при $U_{\bar{3}}^{\bar{0}} = 0$ N совпадало с q_A^* . Видно, что $N(U_{\bar{3}}^{\bar{0}})$ удовлетворительно описывает зависимость q_A^* от $U_{\bar{3}}^{\bar{0}}$ при $U_{\bar{3}}^{\bar{0}} \leq \Delta$. Можно достичь лучшего согласия, учтя то обстоятельство, что эффективным ускоряющим напряжением может быть лишь часть $U_{\bar{3}}^{\bar{0}} - U_{\bar{3}\Phi\Phi}^{\bar{0}} = p U_{\bar{3}}^{\bar{0}}$. На рис. 3 значкам \circ соответствует $p = 0,87$. Обращает на себя внимание существование отрицательной линии ЭФ при $U_{\bar{3}}^{\bar{0}} \gg \Delta$ (см. рис. 2, кривая 1 и рис. 3). По-видимому, это обусловлено тем, что при больших $U_{\bar{3}}^{\bar{0}}$ вследствие процессов релаксации в области Э происходит синхронная генерация возбуждений с $\epsilon < \Delta$.

Таким образом экспериментально показана возможность с помощью ЭФ исследовать зависимость q_A от ϵ для локальной группы электронов. Это открывает широкие методические возможности для изучения этой зависимости. Отметим две из них: 1) выяснение роли положения возбуждения на ферми-поверхности (для сферической ферми-поверхности — роль угла падения); 2) исследование поверхностных состояний вблизи $n-s$ границы ¹³.

Литература

1. Цой В.С. Письма в ЖЭТФ, 1974, 19, 114.
2. Шарвин Ю.В. ЖЭТФ, 1965, 48, 984.
3. Шарвин Ю.В., Богатина Н.И. ЖЭТФ, 1969, 56, 772.
4. Цой В.С. Докторская диссертация, 1978, Черноголовка, ИФТТ АН СССР.
5. van Son P.C., van Kempen H., Wyder P. Phys. Rev. Lett., 1987, 58, 1567.
6. Benistant P.A.M. Doctoral Thesis University of Nijmegen, 1984.
7. Blonder G.E., Tinkham M. Phys. Rev. B., 1983, 27, 112.

8. *Hoevers H.F.C.* Doctoral Thesis University of Nijmegen, 1987.
9. *Божко С.И., Цой В.С., Яковлев С.Е.* Письма в ЖЭТФ, 1982, 36, 123.
10. *Москалев А.А., Цой В.С.* Поверхность, 1985, № 5, 52.
11. *Колесниченко Ю.А.* ФНТ, 1982, 8, 312.
12. *Андреев А.Ф.* ЖЭТФ, 1964, 46, 1823.
13. *Шеланков А.Л.* ФТТ, 1984, 26, 1615.

Институт физики твердого тела
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
28 сентября 1987 г.
