

Письма в ЖЭТФ, том 20, вып. 8, стр. 554 – 558 20 октября 1974 г.

ВЛИЯНИЕ СВЧ ОБЛУЧЕНИЯ НА ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ТУННЕЛЬНЫХ ПЕРЕХОДОВ

B.A. Тулик

В работе наблюдается влияние СВЧ облучения сверхпроводящего туннельного перехода на вольт-амперные характеристики. Наблюдается угнетение тока Джозефсона и возникновение бесшелевой сверхпроводимости под действием облучения.

Начиная с работ Гиавера [1] исследование туннельных характеристик сверхпроводников стало широко распространенным методом изучения плотности состояний квазичастиц в сверхпроводниках. Этот довольно простой метод позволяет подробно и с хорошей точностью получать сведения о поведении сверхпроводников при различных внешних воздействиях. Туннельный ток структуры связан с плотностью состояний в исследуемом металле выражением

$$J = C \int_{-\infty}^{\infty} d\epsilon n_1(\epsilon) n_2(\epsilon + eV) [f(\epsilon) - f(\epsilon + eV)],$$

где ϵ – энергия, отсчитываемая от уровня Ферми в нормальном металле, e – заряд электрона, V – разность потенциалов между электродами, $f(\epsilon)$ – Ферми распределение, C – константа, описывающая проводимость диэлектрического барьера, и $n_i(\epsilon)$ – приведенная к нормальному металлу плотность состояний. Дайэм и Мартин [2] изучали влияние СВЧ фотонов на туннельные характеристики тонкопленочных сверхпроводящих структур. Впоследствии появилось еще несколько работ такого же плана, выполненных в различных частотных диапазонах СВЧ [3, 4]. В этих работах туннельный переход, в виде двух скрещенных пленок, помещался в

резонатор или волновод. В результате в области туннельного контакта возникал СВЧ ток смещения, т. е. между сверхпроводящими пленками имелась осциллирующая разность потенциалов, на чем и основывалась трактовка результатов.

В настоящей работе изучалось влияние на характеристики туннельных переходов однородного тока СВЧ (или СВЧ магнитного поля), текущего в одной из пленок сверхпроводника. При этом туннельный переход занимал малую площадь облучаемой пленки, что с одной стороны приводит к однородным СВЧ токам и с другой дает возможность токам смещения течь вдали от туннельного контакта, не влияя на его характеристики.

Образцы приготавливались по обычной методике. В вакууме $\sim 1+2 \cdot 10^{-6}$ создаваемом масляным диффузионным насосом, на стеклянную подложку напылялась пленка олова шириной 10 мк, затем она покрывалась слоем диэлектрика (халкопиритное стекло), таким образом, что в покрытии оставалось окно площадью $\sim 0,3 \text{ mm}^2$. Затем пленка окислялась техническим кислородом при давлении $\sim 300 \text{ тор}$ в течение 2 часов. После следующей откачки напылялась вторая пленка олова, аналогичная пер-

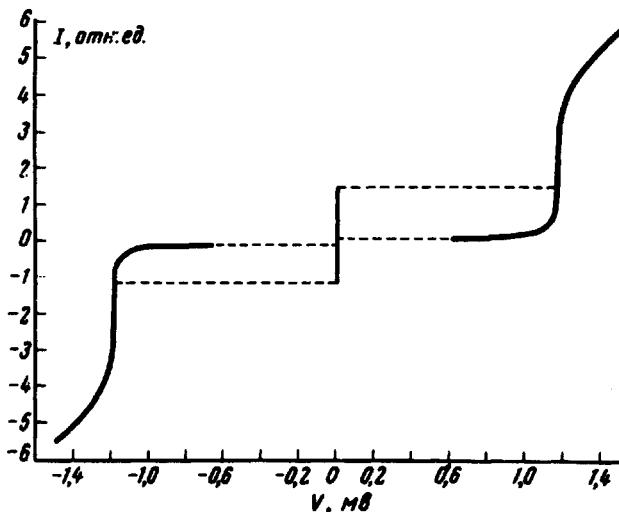


Рис. 1. Вольт-амперная характеристика тонкопленочного перехода при отсутствии СВЧ облучения

вой. Толщина пленок олова составляла величину порядка 1000\AA , сопротивление перехода несколько – сотых ома, температура сверхпроводящего перехода $T \approx 3,8\text{K}$. Готовая структура прижималась к диафрагме в середине узкой стенки прямоугольного резонатора типа H_{011} 3-х сантиметрового диапазона, возбуждаемого 30-милливаттным кристаллоном. Диаметр диафрагмы 4 мк. Все это погружалось в жидкий гелий, и при температуре 1,5К снимались вольт-амперные характеристики четырехточечным методом при различных уровнях мощности, поступающей в резонатор. Эксперименты показали, что влияние СВЧ облучения сильно зависит от того, попадает туннельный контакт в площадь диафрагмы или нет, что позволяет пренебречь влиянием просачивания СВЧ мощности по нежелательным маленьким каналам. Различные образцы по-разному подвержены влиянию СВЧ облучения, что можно связать со значительным разбросом оловянных пленок по толщине.

Вольт-амперная характеристика одного из переходов¹⁾ изображена на рис. 1. Этот переход обладает малым током при $V < 2\Delta/e$, имеет хорошо выраженный стационарный ток Джозефсона. Влияние СВЧ облучения туннельной структуры проявляется в уменьшении тока Джозефсона при $V = 0$ и изменении тока во всем исследуемом диапазоне напряжений от 0 до напряжений больших $2\Delta/e$.

Изменение максимального значения постоянного тока при напряжении на переходе равном нулю приведено на рис. 2, а, б. Рис. 2, а соответствует изменению тока от мощности СВЧ для хорошего образца, а рис. 2, б относится к образцу с довольно значительным током утечки при $0 < V < 2\Delta/e$. Из этого рисунка видно, что максимальное значение тока Джозефсона уменьшается при увеличении мощности СВЧ в резонаторе. При некотором значении мощности максимальный ток скачком меняет свое значение (для хорошего образца), при чем для различных полярностей тока скачок имеет место при различных значениях мощности рис. 2, а. У образца худшего качества уменьшение тока происходит плавно, без скачков. Можно отметить еще отсутствие ступенчатой структуры вольт-амперной характеристики при таком способе облучения. В то время как при других способах помещения туннельных переходов в поле СВЧ такая структура наблюдается.

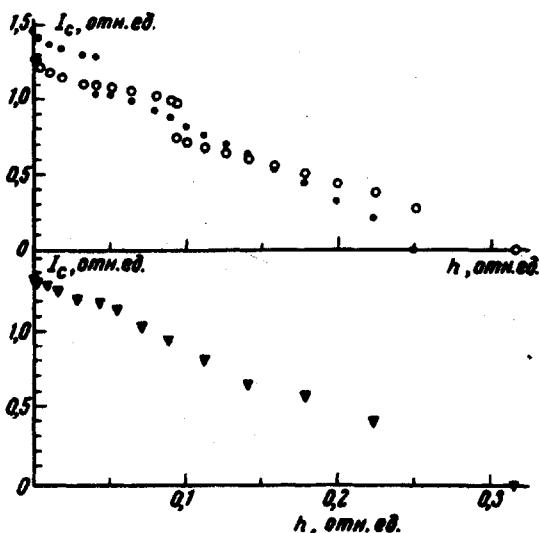


Рис. 2. Изменение амплитуды тока Джозефсона от приложенного высокочастотного магнитного поля

На рис. 3 показано семейство кривых $J(V)$ для различных значений мощности, облучающей образец; значения затухания в СВЧ тракте в децибелах даны на рисунке. При малых значениях мощности (20, 17 дБ)

¹⁾У этого перехода толщина облучаемой пленки олова порядка глубины проникновения. Таким образом и вторая пленка находится в СВЧ поле, ослабленном первой. При этом лучше видно отличие вольт-амперных характеристик при облучении от приводимых в работе [3].

измененные вольт-амперные характеристики соответствуют уменьшению щели в одной из пленок олова, образующих переход. При затухании 15 дБ щель для этой пленки обращается в нуль. При дальнейшем увеличении мощности происходит рост одночастичного тока в области напряжений Δ/e . Для значений затухания меньше 10 дБ наблюдается обращение в нуль щели во второй пленке (см.¹⁾). Это отражается в общих участках характеристик, образующих прямую линию, проходящую через начало координат. Состояние с нулевой щелью в одной пленке соответствует общим участкам характеристик, образующих линию, соответствующую характеристике структуры сверхпроводник-изолятор-нормальный металл, которая так же четко прослеживается на рис. 3. Предварительные исследования показали, что аналогичные пленки при тех же мощностях облучения и тех же температурах остаются сверхпроводящими.

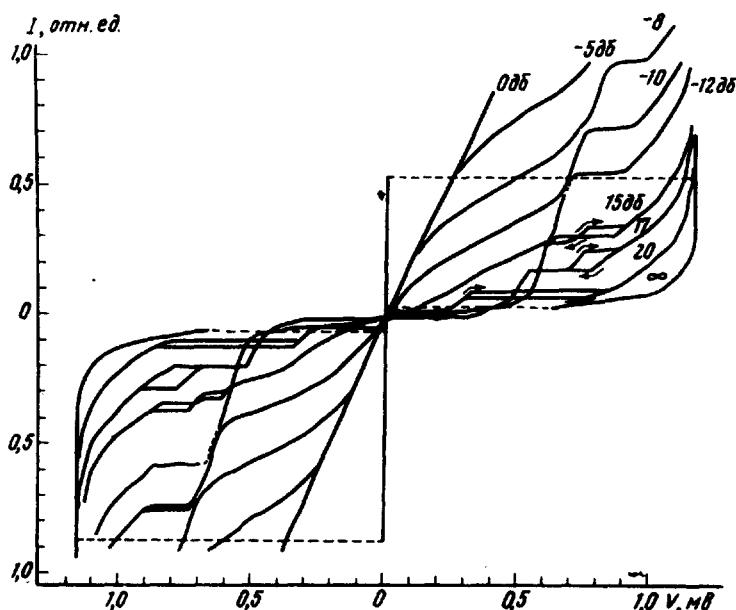


Рис. 3. Изменение вольт-амперных характеристик тонкопленочного перехода для $V < 2\Delta/e$ под действием облучения

Таким образом при данном способе облучения сверхпроводящего туннельного перехода наблюдается уменьшение стационарного тока Джозефсона и переход облучаемой пленки в бесщелевое состояние. Что касается уменьшения тока Джозефсона, то наличие осциллирующего тока в одной из пленок перехода приводит к осциллирующей разности фаз между сверхпроводниками, что приведет к преобразованию части или всего постоянного тока Джозефсона в переменный ток. Это в конечном итоге вызовет уменьшение или полное исчезновение постоянного сверхпроводящего тока между пленками.

В заключении выражаю благодарность Н.В.Заварицкому и В.Н.Григорьеву за консультации по приготовлению образцов и Б.И.Ивлеву за интерес к полученным результатам.

Институт физики твердого тела
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
13 июня 1974 г.
После переработки
6 сентября 1974 г.

Литература

- [1] I.Giaver. в книге Proc. VII Intern. Conf. on Low Temperature Physics. Toronto, 1960, Toronto 1961 p. 327.
 - [2] A.Dayem. R.I.Martin. Phys. Rev. Lett., 8, 246, 1962.
 - [3] B.Kofoed, U.K.Poulsen and K.Saermark препринт Report № 134. Danmarks Tekniske Højskole, Lyngby 1973.
 - [4] Ch. F.Cook, G.E.Everett. Phys. Rev., 159, 374, 1967.
-