

ОБНАРУЖЕНИЕ ДЖОЗЕФСОНОВСКОЙ ГЕНЕРАЦИИ НА ТУННЕЛЬНОМ ПЕРЕХОДЕ РЬ-I-РЬ

А.А.Галкин, В.М.Свистунов

Согласно Джозефсону [1], возникновение конечного напряжения V на туннельном переходе должно сопровождаться излучением (или поглощением) фотонов с частотой $\omega = 2eV/\hbar$.

Авторы работ [2-4] наблюдали ступенчатую структуру на $I-V$ характеристиках туннельных образцов типа $Sn-I-Sn$ и $Pb-I-Pb$. В работе [5] сообщалось о наблюдении на $I-V$ характеристиках перехода $Pb-I-Pb$ максимума, имеющего резонансный характер. Возникновение ступенек и максимума удалось объяснить [5-8], связав их с возбуждением переменным сверхпроводящим током резонансных типов колебаний электромагнитных волн в области перехода.

Прямыми экспериментами на образцах типа $Sn-I-Sn$ [9-11] было показано, что появление ступенек сопровождается излучением СВЧ-мощности.

В настоящем письме сообщается о наблюдении ступенек на $I-V$ характеристиках и обнаружении генерации на туннельном переходе типа $Pb-I-Pb$.

Пленки свинца толщиной около 1000 \AA напылялись в высоком ($\sim 10^{-6}$ тор) вакууме на стеклянную подложку, образуя туннельную структуру размером $0,15 \times 0,8 \text{ мм}$ с удельным туннельным сопротивлением $\sim 0,001 \text{ ом}\cdot\text{мм}$.

В эксперименте использовалась нерезонансная система включения туннельного перехода в волновод, описанная в работах [9,12]. Пленка размером $0,15 \text{ мм}$ была направлена вдоль распространения волны в волноводе. В этом же направлении ориентировалось магнитное поле, создаваемое небольшим однослойным соленоидом. Образец и соленоид помещались в свинцовый экран. Эксперимент проводился при температурах $4,2$ и $3,4^\circ\text{K}$. Излучение регистрировалось измерителем малых уровней мощности 3-сантиметрового диапазона типа П5-10 (ИМШ-1), непосредственно подключенному к волноводу.

Ступеньки на вольтамперной характеристике при $V_1 = 18,4 \text{ мкс}$ и $V_2 = 36,8 \text{ мкс}$ наблюдались при $T = 4,2^\circ\text{K}$ в поле 8 э (рис. 1). Напряжение V_1 соответствовало в этом случае нижнему краю полосы про-

пускания частот приемника, что в значительной степени затрудняло регистрацию излучения на этой ступени. Тем не менее удалось наблюдать СВЧ-мощность как на первой ступени, так и еще большую на второй (рис. 2, а). Незначительное изменение магнитного поля приводило к тому, что мощность наблюдалась только на V_2 . Видимо это связано с тем, что в этом случае равенство фазовых скоростей [1-3] выполнялось для V_2 , в результате чего взаимодействие электромагнитной волны с переменным током Джозефсона максимально, а следовательно и максимальна мощность генерации. Резонансная частота настройки приемника была 8905 МГц. На других частотах генерация не наблюдалась.

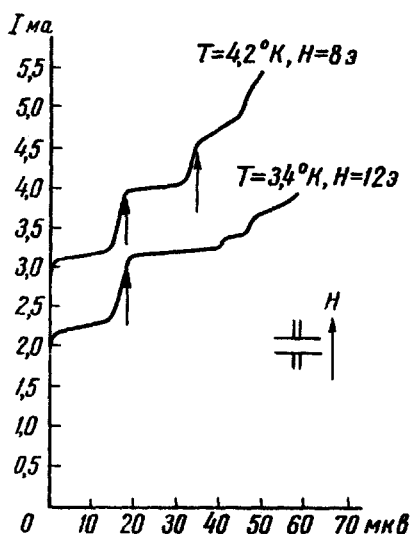


Рис. 1. Начальные участки вольтамперных характеристик туннельного перехода РЬ-І-РЬ при различных температурных и магнитных полях. Стрелками указаны напряжения, при которых наблюдалась генерация СВЧ-мощности. На вставке – конфигурация перехода и ориентация магнитного поля. Размер перехода $0,15 \times 0,8$ мкм.

При $T = 3,4^\circ\text{K}$ в поле 12 э край первой ступеньки по шкале V был несколько выше: $18,4 \text{ мкВ} < V_1 < 19,00 \text{ мкВ}$ (рис. 1), а имеющийся конечный наклон ступени дал возможность наблюдать излучение на частотах 8905, 8930, 8950 МГц.

В этом случае фиксировалась частота настройки приемника и следилось за изменением СВЧ-мощности при медленном увеличении или уменьшении тока (и, следовательно, и напряжения) через переход. Причем, как уже отмечалось в работе [12], мощность излучения увеличивалась с увеличением частоты. На рис. 2, б приведена запись выходного сигнала приемника в функции времени. Резонансная частота настройки – 8950 МГц, $H = 12$ э. Указанное значение магнитного поля соответство-

вало максимальной величине мощности. При других напряжениях на переходе излучение не наблюдалось.

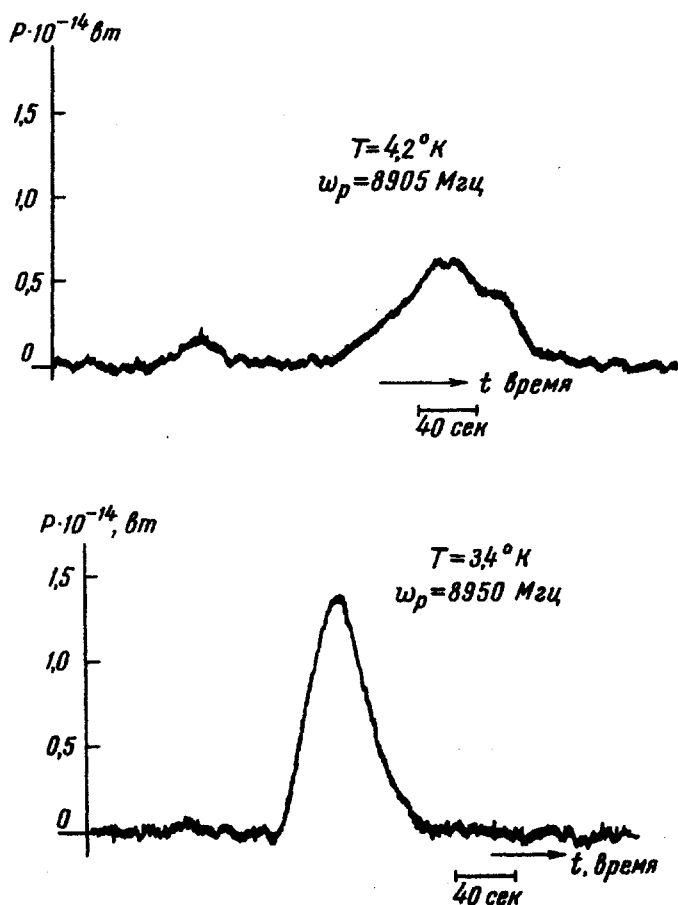


Рис.2. Записи выходного сигнала приемника в функции времени при медленной протяжке соответствующих $I - V$ характеристик*. а - $T = 4,2^{\circ}\text{K}$, $N = 8$ э, резонансная частота настройки приемника $\omega_p = 8905 \text{ МГц}$, б - $T = 3,4^{\circ}\text{K}$, $N = 12$ э, резонансная частота настройки приемника $\omega_p = 8950 \text{ МГц}$

Таким образом, непосредственное обнаружение генерации на туннельном переходе свинец-диэлектрик-свинец показало, что взаимодействие переменного тока Джозефсона с электромагнитным полем внутри перехода столь же эффективно, как и для переходов типа $\text{Sn} - \text{I} - \text{Sn}$.

Авторы выражают благодарность Ю.М.Иванченко за полезные обсуждения работы.

Донецкий
Физико-технический институт
Академии наук Украинской ССР

Поступило в редакцию
24 марта 1967 г.

Литература

- [1] B.D. Josephson. Phys. Lett., 1, 251, 1962.
- [2] M.D. Fiske. Revs. Mod. Phys., 36, 221, 1964.
- [3] И.К. Янсон, В.М. Свистунов, И.М. Дмитриенко. ЖЭТФ, 47, 2091, 1964.
- [4] T.I. Smith. Phys. Rev. Lett., 15, 460, 1965.
- [5] R.E. Eck, D.J. Scalapino, B.N. Taylor. Phys. Rev. Lett., 13, 15, 1964.
- [6] D.D. Coon, M.D. Fiske. Phys. Rev., A 138, 744, 1965.
- [7] И.М. Дмитриенко, И.К. Янсон, В.М. Свистунов. Письма ЖЭТФ, 2, 17, 1965.
- [8] И.О. Кулик. Письма ЖЭТФ, 2, 134, 1965.
- [9] И.К. Янсон, В.М. Свистунов, И.М. Дмитриенко. ЖЭТФ, 48, 976, 1965.
- [10] I. Giaever. Phys. Rev. Lett., 14, 904, 1965.
- [11] D.N. Langenberg, D.J. Scalapino, B.N. Taylor, R.E. Eck. Phys. Rev. Lett., 15, 294, 842, 1965.
- [12] И.М. Дмитриенко, И.К. Янсон. Письма ЖЭТФ, 2, 242, 1965.

* Скорости протяжки $I-V$ характеристик (рис. 1) несколько отличались друг от друга, что, естественно, сказалось на диаграмме $P-t$.