

ОСЦИЛЛЯЦИИ ПРОВОДИМОСТИ ТУННЕЛЬНЫХ КОНТАКТОВ, СОДЕРЖАЩИХ УРАЦИЛ В БАРЬЕРНОМ СЛОЕ

*И.К.Яксон, Б.И.Веркин, Л.И.Островский
А.Б.Теплицкий, О.И.Шкляреский*

Присутствие примесных молекул в барьерном слое туннельных контактов приводит к возникновению дополнительных каналов для проникновения электронов через потенциальный барьер, открывающихся при определенных значениях напряжения. Для электронов катода, энергия которых соответствует локализованным электронным энергетическим уровням примесных молекул, возможно резонансное прохождение через барьер, причем вероятность таких процессов может существенно превышать вероятность обычного туннельного перехода [1]. Энергия электрона при этом сохраняется, следовательно туннельный переход является упругим. На вольт-амперной характеристике эти процессы проявляются в виде скачков тока при напряжениях, соответствующих системе электронных уровней примесных молекул. В настоящей работе сообщается о наблюдении осцилляций проводимости туннельных контактов, содержащих урацил (U)¹⁾ в барьерном слое. Предполагается, что периодическая структура туннельных характеристик возникает в результате туннелирования электронов через локализованные уровни в барьере, расположенные по энергиям почти эквидистантно.

В экспериментах использовались туннельные контакты из свинца и его оксида. Ранее было показано [2], что туннельные спектры контактов $Pb - PbO - Pb$ не содержат полос при напряжениях, превышающих 75 мВ. Тонкий слой U наносился на окисленную нижнюю пленку распылением в вакууме непосредственно перед осаждением верхней пленки. Средняя толщина слоя контролировалась по времени экспозиции при известной скорости конденсации. При температуре ис-

1) Урацил – азотистое основание, входящее в состав молекул РНК и реге ДНК (рис.1).

парителя 140 – 150°C у возгоняется без разложения, что подтверждается спектрами поглощения в УФ и ИК областях. Как правило, в одном эксперименте приготавливались несколько контактов, содержащих разное количество у, что позволило сравнивать характеристики контактов, различающихся по этому параметру в достаточно ши-

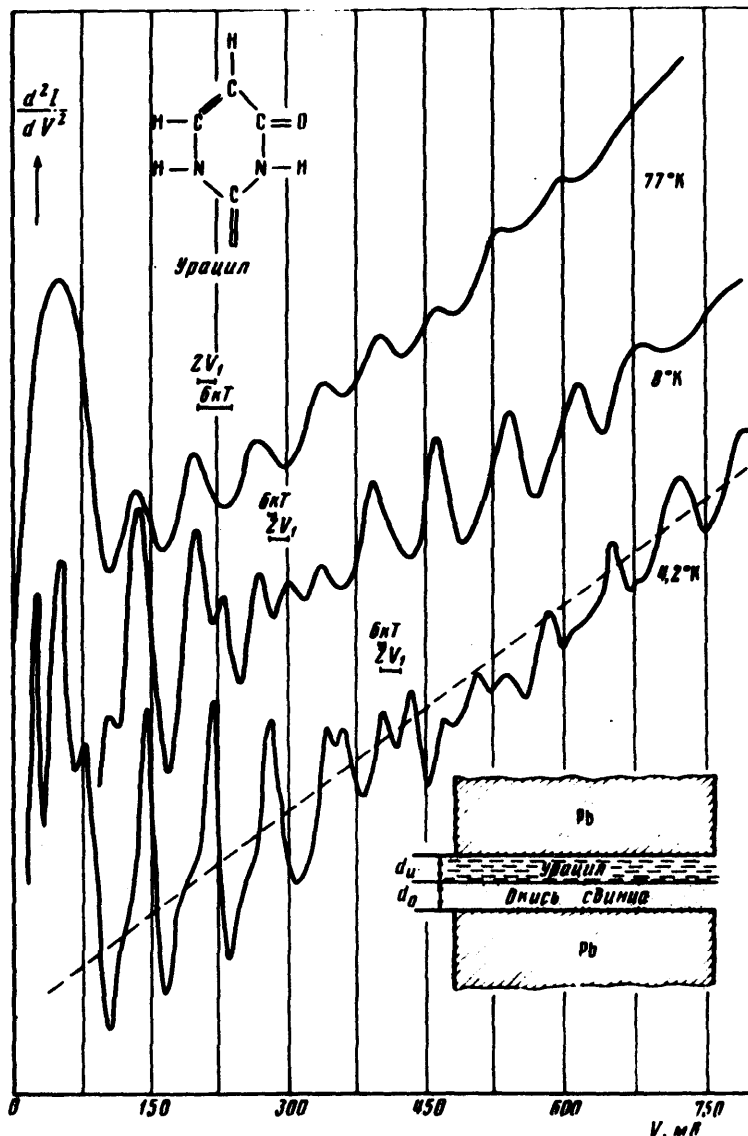


Рис. 1. Туннельные характеристики образца № 2 при различных температурах. Положение начала отсчета на оси ординат для различных кривых произвольно

роких пределах, но имеющих одинаковый окисный слой. Для измерений отбирались лишь контакты с хорошими туннельными характеристиками. В области малых напряжений при $T < T_K(\text{Pb})$ на вольт-амперных характеристиках и ее производных всегда наблюдалась чет-

кая щелевая особенность при $eV = 2\Delta$. При больших напряжениях наблюдались фоновые особенности в сверхпроводящем РЬ [3], а также неупругое туннелирование с рождением оптических фононов в РЬО [4] при условии, что более сильные пики, связанные с резонанс-

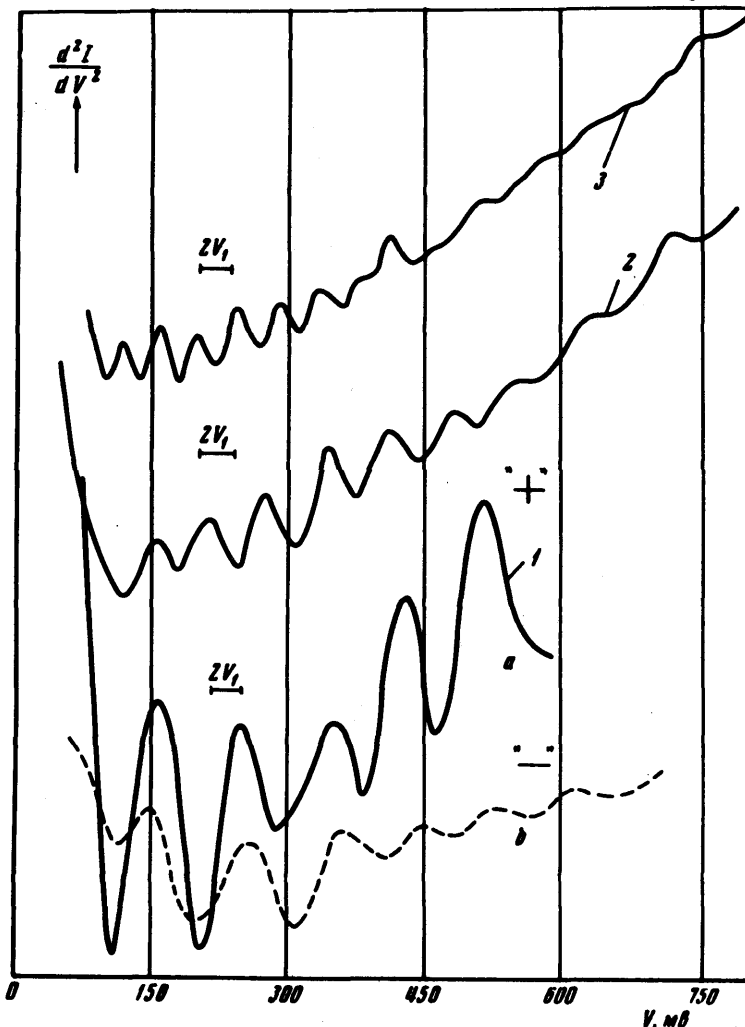


Рис.2. Туннельные характеристики контактов, содержащих различное количество У. Цифры возле кривых соответствуют номерам образцов в таблице. $T = 4,2^\circ\text{K}$. Кривая 1,6 снята при $T = 77^\circ\text{K}$. Полярность, указанная возле кривых 1, соответствует нижней, окисленной пленке. Для остальных кривых полярность нижней пленки отрицательна

ным туннелированием, их не заслоняли. Кроме того, во всем исследованном интервале напряжений (0 – 750 мВ) вольт-амперные характеристики различных контактов были подобны и на большом участке могли быть аппроксимированы кубичным полиномом, а d^2I/dV^2 –

характеристики – линейной зависимостью (без учета осцилляций) в согласии с теорией [5] (см. штриховую линию на рис.1, $T = 4,2^\circ\text{K}$ и др. кривые). Следовательно, токи проводимости, ограниченные пространственным зарядом [6] отсутствовали. Так как осцилляции проводимости составляли 0,1 – 1,0% от фонового уровня, то наиболее четко они проявлялись на характеристиках $d^2I/dV^2(V)$, которые показаны на рис.1 и 2. Возле каждой кривой указаны удвоенная амплитуда модулирующего сигнала $2V_1$ и тепловое размытие линий $\sim 6\text{ мK}$, ограничивающие разрешающую способность. Оба фактора

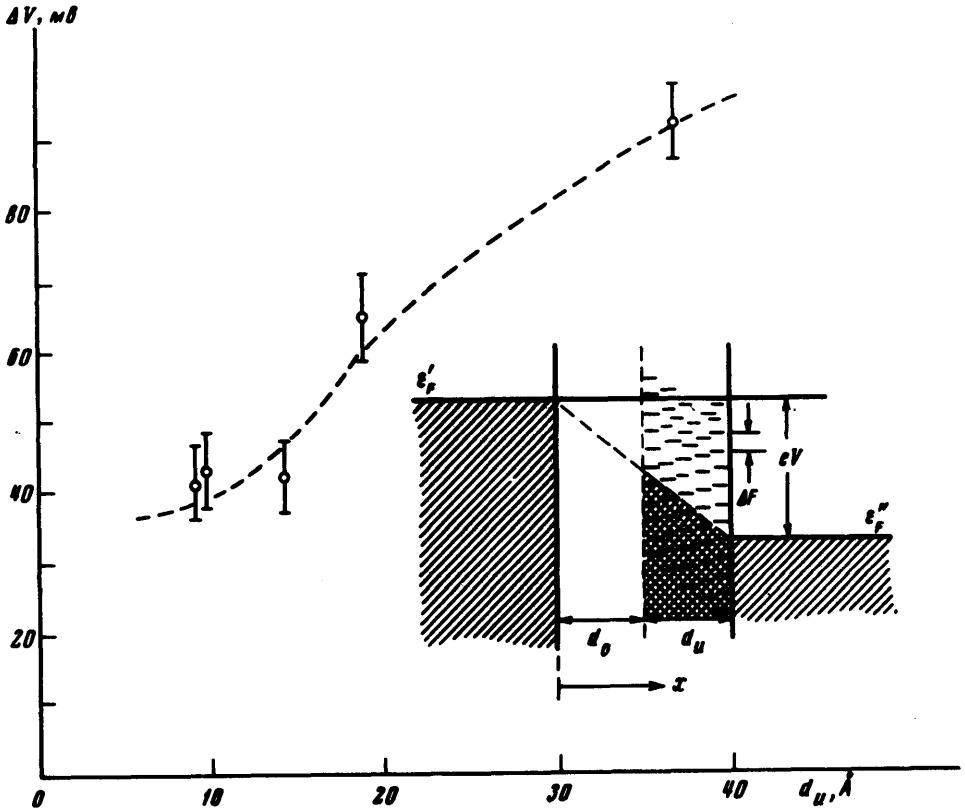


Рис.3. Зависимость периода осцилляций от толщины слоя U . На вставке показана предполагаемая энергетическая диаграмма контакта

приблизительно одинаково влияют на форму кривой, что видно из сравнения кривых при $T = 77^\circ\text{K}$ на рис.1 и кривой 2 на рис.2, относящихся к одному образцу. Из рис.1 видно, что форма по крайней мере некоторых линий ($V = 150, 225\text{ мВ}$, $T = 4,2^\circ\text{K}$) определенно соответствует всплескам проводимости dI/dV и скачкам тока на вольт-амперных характеристиках. Периодическая структура характеристик не связана со сверхпроводимостью свинца ($T_K = 7,2^\circ\text{K}$) и сохраняется даже при температурах жидкого азота (рис.1). На рис.2 показаны характеристики трех контактов с различной толщиной слоя U (см. таблицу). На характеристиках контактов, содержащих малое количество

во у (образец № 4), осцилляции отсутствуют. Важно отметить, что период осцилляций ΔV *возрастает* при увеличении толщины слоя у: d_u (рис.3). Это не позволяет связать наблюдаемые особенности с каким-либо размерным эффектом в пленках у, так как в этом случае увеличение размера должно приводить к *уменьшению* периода. Из рис.2 можно также заметить, что амплитуда осцилляций *возрастает* при увеличении d_u . Положение особенностей на оси V не зависит от полярности приложенного напряжения. Характеристики, показанные на рис.1 и 2, соответствуют отрицательной полярности нижней, окисленной пленки, так как в этой полярности фоновая проводимость почти постоянна в интервале напряжений 0 - 750 мВ.

№ контактов	1	2	3	4
$d_u, \text{Å}$	37	19	14	5
$R_N, \text{ком}$	140	81	25	0,73
площадь контакта, мм^2	0,56 $\times 0,58$	0,88 $\times 0,5$	0,87 $\times 0,5$	0,87 $\times 0,5$
толщины пленок, Å	870 1100	2000 1000	1100 1100	1500 1000
период $\Delta V, \text{мВ}$	90	64	41	нет осцилляций

Если предположить, что наблюдаемые осцилляции связаны с механизмом резонансного туннелирования, предложенным в начале статьи, то наблюдаемая зависимость $\Delta V(d_u)$ может быть легко понята. Действительно, пусть расстояние между локализованными уровнями энергии равно ΔE . Наблюдаемый период осцилляций ΔV будет функцией координаты x , определяющей положение уровней внутри барьера: $\Delta V = \Delta E(L/x)$, где $L = d_0 + d_u$ - ширина барьера (рис.3). Вероятность резонансного туннелирования максимальна для уровней расположенных в центре барьера, и экспоненциально убывает при их смещении к краям барьера [1]. Поэтому основной вклад в туннельный ток будут давать уровни, расположенные ближе к центру барьера. Следовательно, при малых количествах у $\Delta V = \Delta E$ и слабо зависит от d_u :

$$\Delta V = \Delta E(1 + d_u / d_0); \quad x = d_0,$$

а при возрастании d_u период должен приблизительно удвоится

$$\Delta V(x = L/2) = 2\Delta E,$$

что и наблюдается на опыте (рис.3). Картина будет симметричной по отношению к изменению знака напряжения, если учесть уровни,

расположенные как выше, так и ниже энергии Ферми. Наиболее интересный вопрос о происхождении такой системы уровней остается открытым. Вообще говоря, эти уровни могут быть связаны с энергетическим спектром а) – самого У, б) – его комплексов с металлом или окислом и в) – со свойствами барьера в целом. Исследование туннельных спектров У в контактах, состоящих из различных металлов и их окислов, а также спектров других оснований поможет ответить на этот вопрос.

Физико-технический институт
низких температур
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
31 мая 1971 г.

Литература

- [1] Л.В.Иогансен. ЖЭТФ, 45, 207, 1963.
 - [2] И.К.Янсон, Н.И.Богатина. ЖЭТФ, 59, 1509, 1970.
 - [3] J.M.Rowell, Y.Kopf. Phys. Rev., 137, A907, 1965.
 - [4] И.К.Янсон. ЖЭТФ, 60, 1759, 1971.
 - [5] J.G.Simmons, G.J.Unterkofler. J.Appl. Phys., 34, 1828, 1963.
 - [6] И.К.Янсон, А.А.Власенко. Письма в ЖЭТФ, 13, 415, 1971.
-