

ОСЦИЛЛЯЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЩЕЛИ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ СЭНДВИЧЕЙ ВАНАДИЙ – УГЛЕРОД¹⁾

М.Б.Цетлин, М.Н.Михеева

Методом туннельной спектроскопии была измерена энергетическая щель сверхпроводящих сэндвичей ванадий – углерод. Оказалось, что щель осциллирует в фазе с критической температурой и, кроме того, есть основания полагать, что аналогичным образом ведет себя и отношение $2\Delta/kT_K$.

¹⁾ Известно, что начиная с толщины 1000Å и выше, углерод в пленках, приготовленных методом, описанным в [1], представляет собой искусственный алмаз см. [1]. Однако поскольку данных о состоянии углерода в более тонких слоях нет, мы будем употреблять термин "пленка углерода".

Осцилляции критической температуры в сложных тонкопленочных системах наблюдались уже во многих случаях [1, 2]. Существует и теоретическая модель [3], которая показывает, каким образом такие осцилляции могут возникать, однако полной ясности в этом вопросе до сих пор нет. В работе [1] показано, что одновременно с T_K , в сэндвичах ванадий – углерод изменяется и ряд других параметров. Для понимания существа явления, значительный интерес представляет исследование поведения энергетической щели в таких системах и сопоставление его с поведением величин, измеренных ранее.

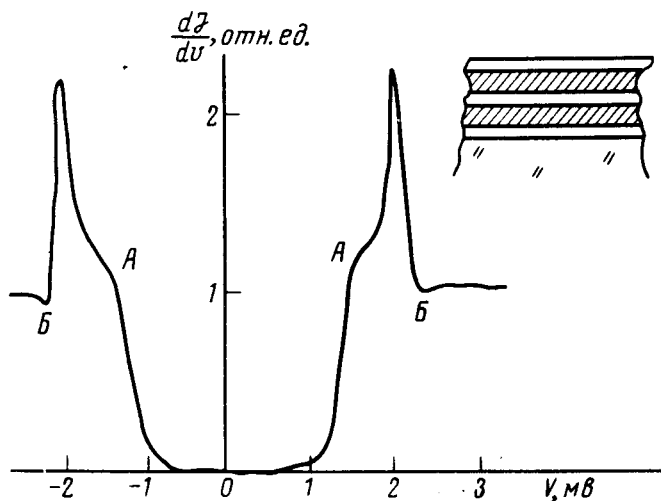


Рис. 1. Типичные характеристики для туннельных переходов С–V–С–V–Рь. На вставке: схематичный разрез исследуемой структуры С–V–С–V–С. Слои ванадия заштрихованы

Сэндвичи готовились так же, как и в работе [1] и представляли собой пятислойную структуру С–V–С–V–С, нанесенную на силиконовую подложку (см. вставку на рис. 1). Толщина обоих ванадиевых слоев составляла 100 \AA , верхнего и нижнего углеродных слоев – 15 \AA для всех образцов. Толщина внутреннего слоя углерода d_c менялась от образца к образцу. Ошибка в определении толщины каждого слоя не превышала 5%. Все образцы были приготовлены в одном эксперименте по напылению, изготовление и измерение туннельных переходов длилось около двух месяцев. Проверка показала, что ни критическая температура, ни величина щели за это время не изменились. Была разработана простая и надежная технология приготовления туннельных переходов. Она состояла в том, что подложки с напыленной многослойной структурой извлекались из установки, на каждом образце вытраивалась узкая дорожка, поверх которой затем напылялись поперечные полоски свинца. Одновременно снимались характеристики четырех переходов. Как правило, два – три из них, а часто и все четыре были пригодны для определения величины щели. Площадь таких переходов варьировалась от $0,003$ до $0,2 \text{ мм}^2$, удельное сопротивление от $0,04$ до $10 \text{ ом} \cdot \text{мм}^2$, отношение омического сопротивления при гелиевой температуре – от 1,4 до 7. Измерения характеристик проводились с по-

мощью обычной модуляционной техники, амплитуда модуляций составляла 10 мкв . На рис. 1 показана типичная зависимость дифференциальной проводимости от напряжения, приложенного к переходу. Острые пики, возникающие при напряжениях $v_{1,2} = \pm(\Delta_{\text{РЬ}} + \Delta)$, где Δ — энергетическая щель исследуемого образца, и малая проводимость $\sigma(0)$ при $v = 0$ говорят о хорошем качестве переходов, расстояние между пиками проводимости $v_1 - v_2$ определялось с точностью до 20 мкв , $\sigma(0)$ составляла от 0,5 до 3% от омической проводимости для различных переходов. Удвоенная величина щели 2Δ определялась нами как $(v_1 - v_2) - 2\Delta_{\text{РЬ}}$, причем бралось значение щели свинца $2\Delta_{\text{РЬ}} = 2,8 \text{ мв}$. Это значение, совпадающее с общепринятым в литературе, было получено нами ранее при измерении переходов $\text{Al} - \text{РЬ}$. Температура $1,15\text{К}$, при которой производились измерения, составляла около 0,3 от критической температуры образцов. При этой температуре значение щели отличается от $\Delta(0)$ всего на 0,3%, и мы этой разницей пренебрегли. Следует отметить, что характеристики переходов, несмотря на хорошее качество, заметно отличаются от классических. Об этом говорят особенности, обозначенные на рис. 1 буквами *A* и *B*, а также тот факт, что отношение $2\Delta/kT_K < 3,52$ — значения которое дает теория БКШ. Как показывают наши эксперименты с пленками чистого ванадия, эти особенности на характеристиках и заниженная величина щели, определяемая из туннельных измерений, присущи вообще туннельным переходам на основе ванадия. Об этом сообщают и авторы работы [4]. Они связывают наблюдаемые аномалии с влиянием поверхностных слоев ванадия, примыкающих к туннельному контакту и имеющих свойства, по видимому, резко отличающиеся от свойств металла в глубине пленки.

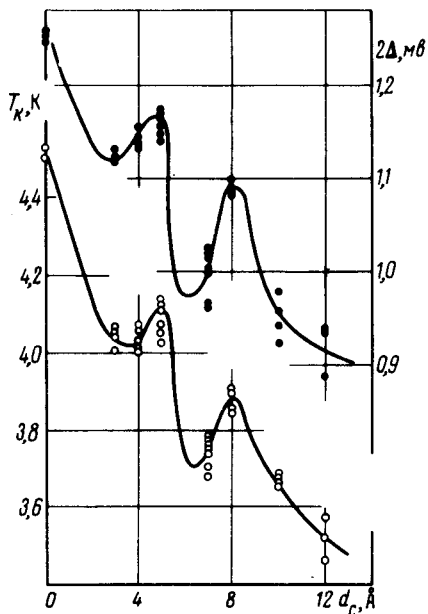


Рис. 2. Зависимость энергетической щели сэндвичей и их критической температуры от толщины внутреннего углеродного слоя

При нашей постановке эксперимента, когда условия на поверхности постоянны для всех образцов, их влияние сводится, очевидно, к внесению систематической ошибки в абсолютную величину щели и не искажает общий вид искомой зависимости $2\Delta(d_c)$. Для каждого перехода,

в одном эксперименте со снятием туннельных характеристик, резистивным методом измерялась критическая температура. Таким образом, на рис. 2, где представлены зависимости $T_K(d_c)$ и $2\Delta(d_c)$ каждому переходу соответствует точка на одном и на другом графике. Ошибка в определении T_K , состоящая из ошибки измерения, ошибки градуировки и ошибки, связанной с шириной перехода в сверхпроводящее состояние, не превышала 1,5%, ошибка в определении 2Δ составляла 2%. Кривые $2\Delta(d_c)$ и $T_K(d_c)$ на рис. 2 проведены через средние значения 2Δ и T_K при каждом значении d_c . Они показывают, что существуют осцилляции как критической температуры, так и величины щели, хотя и не дают информации о точном положении экстремумов. Осцилляции T_K совпадают с теми, которые описаны в работе [1]. Из рис. 2 видно, что величина щели изменяется в фазе с T_K , и амплитуда изменений имеет тот же порядок. Разброс точек на зависимости $T_K(d_c)$, по-видимому, связан с неоднородностью свойств образца на различных участках, что также сказывается и на разбросе точек для $2\Delta(d_c)$, куда, кроме того, вносят вклад и случайные изменения условий на поверхности. Следует отметить, что разброс точек и для T_K и для 2Δ значительно превосходит ошибки измерений, однако он существенно меньше, чем амплитуда осцилляций. Большой интерес, как известно, представляет отношение $2\Delta/kT_K$. Это отношение было вычислено для каждого перехода, и таким образом получены точки на рис. 3, где представлена зависимость $2\Delta/kT_K(d_c)$. Пунктирная линия, проведенная через средние значения $2\Delta/kT_K$, показывает, что эта величина меняется немонотонным образом в фазе с 2Δ и T_K , но амплитуда изменений меньше, и сравнима как с ошибкой определения $2\Delta/kT_K$, так и с разбросом точек. Поэтому утверждать с уверенностью, что осцилляции $2\Delta/kT_K$ существуют, мы не можем, хотя наши результаты и дают основания для такого предположения.

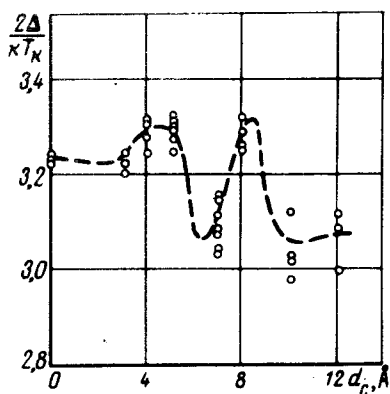


Рис. 3. Зависимость отношения $2\Delta/kT_K$ от толщины внутреннего углеродного слоя

Авторы благодарны В.М.Голякову за предоставленные образцы, Н.А.Черноплекову за интерес к работе, И.К.Янсону и В.С.Егорову за полезные дискуссии.

Поступила в редакцию
2 января 1978 г.

Литература

- [1] M.N.Mikheyeva, V.M.Golyanov, A.A.Teplov, M.B.Tsetlin. J. of Low Temp. Phys., 28, 29, 1977.
- [2] К.А.Осипов, А.Ф.Орлов, В.П.Дмитриев, А.К.Милай. ФТТ, 19, 1226, 1977.
- [3] Ю.Каган, Л.Б. Дубовский. ЖЭТФ, 72, 646, 1977.
- [4] И.К.Янсон, Л.Ф.Рыбальченко. ФНТ, 3, 44, 1977.
-