

# О НАБЛЮДЕНИИ КВАНТОВЫХ РАЗМЕРНЫХ ЭФФЕКТОВ В ПЛЕНКАХ ВИСМУТА МЕТОДОМ ТУННЕЛЬНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

В.Н.Луцкий, Д.Н.Корнеев, М.И.Елинсон

В предыдущей работе Огрива и др. [1] сообщалось о наблюдении квантовых размерных эффектов в пленках висмута, толщина которых была соизмерима с эффективной де-бройлевской длиной волны носителей тока. В [1] квантование энергетического спектра носителей тока проявлялось в осциллирующей зависимости кинетических и гальваномагнитных коэффициентов от толщины пленки.

В настоящем сообщении излагаются результаты экспериментального исследования туннельных систем, содержащих размерно-квантованные пленки висмута. Теоретические работы [2-4] показывают, что вольтамперные характеристики такой системы должны обладать рядом специфических особенностей, позволяющих получить сведения о структуре энергетического спектра носителей тока.

Измерения проводились на системах  $Bi$  (тонкая пленка) - диэлектрик -  $Bi$  (толстая пленка),  $Bi$  (тонкая пленка)-диэлектрик -  $Ag$  и  $Bi$  (тонкая пленка) - диэлектрик -  $Bi$  (тонкая пленка). Мы стремились использовать в качестве изолирующей прослойки вакуумный

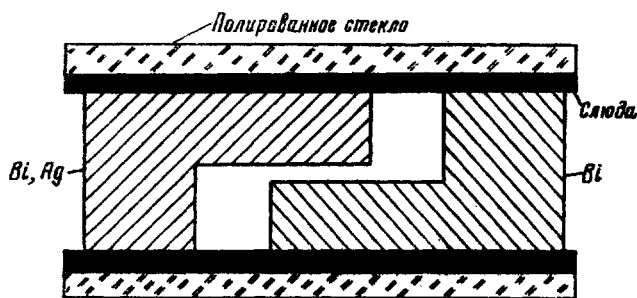


Рис. I

промежуток, а не твердый диэлектрик, чтобы по возможности исключить паразитные эффекты, связанные, например, с туннелированием через уровни "ловушек" в диэлектрике. В качестве диэлектрика использовался зазор между электродами, образовавшийся при складывании двух неза-

висимо изготовленных образцов при наличии соответствующей разности толщин напыленных слоев (рис. 1).

Туннельная система в процессе измерений находилась в жидком азоте, поэтому пока неясно, являлся ли туннельный зазор "вакуумным" промежутком или он заполнялся азотом. Ввиду весьма малой величины зазора (десятки ангстрем) в силу явлений капиллярности можно ожидать, что мы имеем дело с "вакуумным" промежутком.

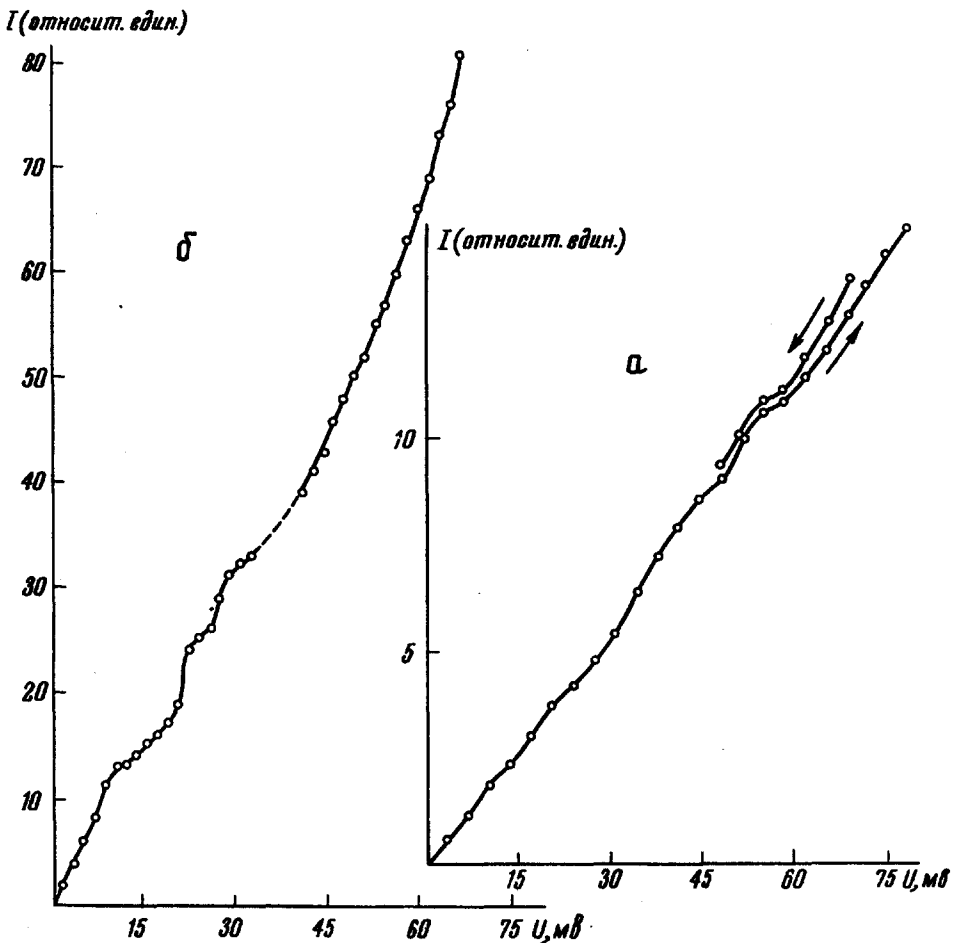


Рис. 2

Пленки висмута получались испарением в вакууме на горячей слюду. Электронографическое исследование показало, что пленки по своей структуре приближаются к мозаичному монокристаллу. Тригональная ось

направлена перпендикулярно плоскости пленки. Толщина исследуемых образцов находилась в пределах  $800 \pm 1300 \text{ \AA}$ .

На рис. 2 приведены в качестве примера две вольтамперных характеристики. Кривая а относится к системе  $\text{Bi}-\text{Ag}$ , кривая б - к системе  $\text{Bi}$  (тонкая пленка) -  $\text{Bi}$  (толстая пленка). На характеристиках отчетливо видны осцилляции. Немонотонный характер изменения тока виден еще более отчетливо при дифференцировании полученных характеристик. На рис. 3 приведены результаты для системы  $\text{Bi}$  (тонкая пленка) -  $\text{Bi}$  (тонкая пленка).

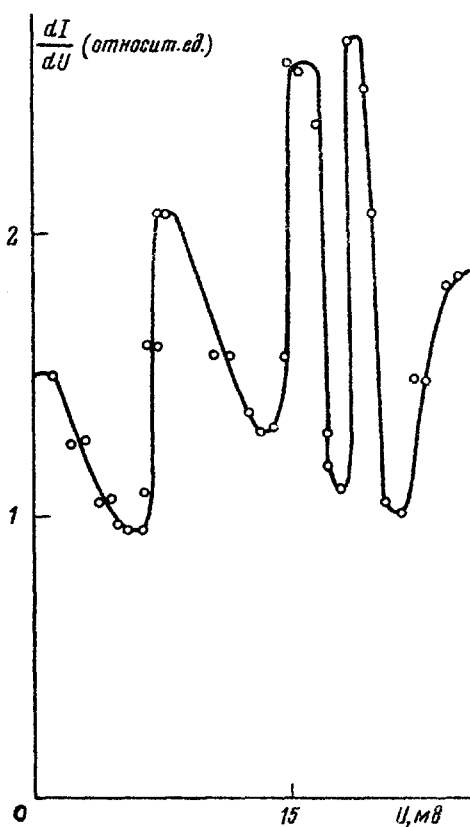


Рис. 3

В случае квадратичного закона дисперсии зависимость плотности состояний от энергии в квантованной пленке имеет вид ступенчатой функции, причем "длина" ступеньки растет с ростом энергии. В соответствии с этим расстояние между особенностями на вольтамперной характеристике при туннелировании электронов из квантованной пленки в массивный металл должно уменьшаться; при обратной полярности напряжения указанное расстояние должно увеличиваться. Далее, при напряжении, соответствующем смещению уровня Ферми массивного электрода ниже дна первой подзоны в тонкой пленке, немонотонная зависимость должна сменяться монотонным нарастанием тока. Отсюда

можно оценить положение уровня Ферми в пленке висмута.

Все перечисленные закономерности действительно наблюдаются на эксперименте. Значения энергии Ферми, полученные из опыта, нахо-

дятся в пределах  $0,02 \pm 0,027$  эв, т.е. оказываются близкими к известным значениям энергии Ферми в массивном висмуте (см. таблицу в [5]).

Расстояние между особенностями на вольтамперной характеристике позволяет оценить значение компоненты эффективной массы электронов в  $B_i$ , соответствующей направлению тригональной оси. Это значение оказалось равным  $\sim 0,012 m_0$ , что хорошо согласуется с известным из измерений эффекта де Гааза - ван Альфена значением этой величины [6].

В заключение отметим, что в работе Кирка [7] наблюдались немонотонные вольтамперные характеристики системы  $Al-Al_2O_3-Al$ . Однако ввиду того, что в  $Al$  условия реализации размерного квантования являются неблагоприятными, наблюдавшаяся немонотонность, на наш взгляд, связана, вероятно, с явлениями в слое  $Al_2O_3$ .

Авторы благодарны В.Б.Сандомирскому и Д.Ф.Огрину за обсуждение работы, В.А.Крупенниковой за помощь в проведении экспериментов.

Институт радиотехники  
и электроники  
Академии наук СССР

Поступило в редакцию  
9 июля 1966 г.

#### Литература

- [1] Д.Ф.Огрин, В.Н.Луцкий, М.И.Елинсон. Письма ЖЭТФ, 3, II4, 1966.
- [2] Л.В.Иогансен. Успехи физ.наук, 86, I74, 1965.
- [3] В.Я.Демиховский. Кандидатская диссертация, 1966, Горьковский Государственный университет.
- [4] Г.А.Гогодзе, И.О.Кулик. Физ.твёрдого тела, 7, 432, 1965.
- [5] L.Esaki, P.Stiles. Phys. Rev. Lett., 14 902, 1965.
- [6] Morrel, H. Cohen. Phys. Rev., 121, 387, 1961.
- [7] C.T.Kirk. Solid State Res. Lincoln. Mass. Inst. Technol. 55, 62, 1963.