

ОСОБЕННОСТИ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛЕНОК ВИСМУТА В УСЛОВИЯХ КВАНТОВОГО РАЗМЕРНОГО ЭФФЕКТА

В.Н.Луцкий, Л.А.Кулик

Относительно недавно начавшиеся исследования квантового размерного эффекта [1 – 3] охватывают, главным образом, особенности кинетических и гальваномагнитных характеристик пленок Bi и Sb [4 – 8].

Оптические свойства полуметаллов в условиях квантового размерного эффекта не исследовались¹⁾.

В настоящем сообщении представлены результаты измерения спектральной зависимости пропускания пленок висмута, полученных вакуумным испарением на подложки из KBr .

Основные результаты, обсуждаемые ниже, сводятся к следующему:

- 1) наблюдается сдвиг красной границы оптического поглощения (изменение ширины запрещенной зоны) при изменении толщины пленки;
- 2) индицируется момент перехода металл-полупроводник; 3) отмечается немонотонный характер спектральной зависимости оптического пропускания; 4) вблизи края поглощения наблюдается максимум пропускания, закономерно сдвигающийся при изменении толщины пленки.

1. Одним из следствий эффекта размерного квантования в полупроводниках является изменение ширины запрещенной зоны в зависимости от размера образца [10].

В висмуте экстремумы зоны проводимости и валентной зоны, соответствующие одному значению волнового вектора, разделены запрещенным энергетическим зазором. Изменение этого зазора при изменении толщины пленок d должно проявляться в виде сдвига красной границы оптического поглощения $h\nu_{\text{кр}}$ для прямых оптических переходов.

На рис. 1 представлены результаты измерений зависимости $h\nu_{\text{кр}} = f(d)$ при температурах $T = 300^\circ\text{K}$. Значение $h\nu_{\text{кр}}$ определялось путем экстраполяции наблюдаемых линейных отрезков зависимости $k(\nu)$ (k – коэффициент поглощения, ν – волновое число; неквадратичный закон дисперсии) до пересечения с осью абсцисс. Значения оптических констант пленок висмута различной толщины использовались по данным

¹⁾В работе [9] наблюдались осцилляции оптического пропускания тонких пленок алюминия при изменении толщины.

работы [13]. Рисунок отчетливо демонстрирует наличие существенного (до $\sim 0,5$ эв) сдвига $h\nu_{кр}$, связанного, по всей видимости, с увеличением ширины запрещенной зоны при уменьшении толщины пленки (до $\sim 200 \text{ \AA}$). В области больших толщин кривая стремится к значению оптической ширины запрещенной зоны, близкому к значению для массивного висмута ($0,07$ эв) [11].

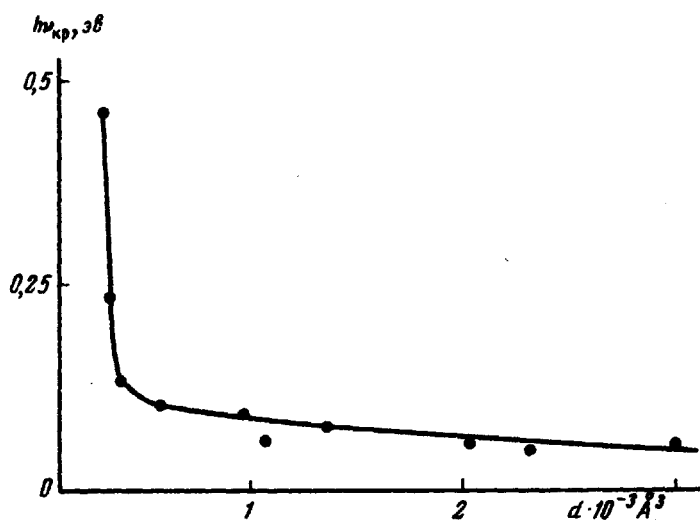


Рис.1

2. Важным проявлением квантового размерного эффекта в полуметаллах является переход металлической пленки в полупроводниковое состояние в области малых толщин, где снимается перекрытие зон – валентной и зоны проводимости. Это обстоятельство было отмечено одним из авторов настоящего сообщения в [12]. Там же ([12]) был предложен способ обнаружения перехода металл-полупроводник с помощью измерений зависимости красной границы оптического поглощения от толщины пленки полуметалла.

Суть дела состоит в том, что при снятии перекрытия зон должна наблюдаться особенность в ходе зависимости $h\nu_{кр}(d)$. Эта особенность наиболее отчетливо проявляется в виде излома зависимости $h\nu_{кр} = f(d^{-2})$. Физически появление особенности связано с тем, что при наличии перекрытия зон изменение оптической ширины запрещенной зоны с толщиной связано с движением дна одной (валентной) зоны, а после снятия перекрытия – с движением обеих зон.

На рис. 2 представлена экспериментальная зависимость $h\nu_{кр} = f(d^{-2})$. На приведенном графике отчетливо наблюдается излом в точке $d_0 \approx 300 \text{ \AA}$, иллюстрирующий, на наш взгляд, толщину, при которой снимается перекрытие зон.

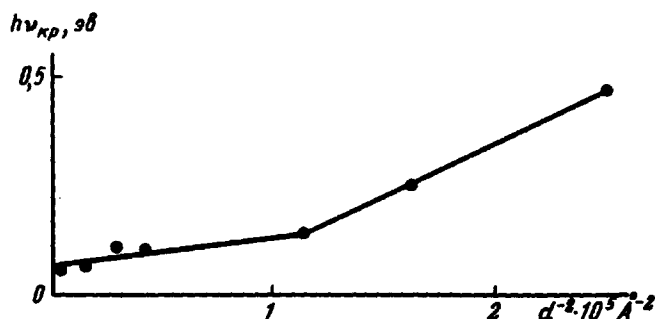


Рис.2

Отметим попутно, что попытка обнаружения перехода металл-диэлектрик содержится, по сути дела, уже в первой экспериментальной работе [1], где наблюдался квантовый размерный эффект.

Резкий рост удельного сопротивления в области $d < 400 \text{ \AA}$ интерпретировался там, в частности, возможным появлением энергетической щели. Дальнейшие поиски указанного перехода проводились затем по измерениям толщинной зависимости константы Холла и температурного коэффициента сопротивления [4] и удельной электропроводности [8].

Значение критической толщины d_0 , полученное в [8], совпадает с полученным нами оптическим методом значением d_0 .

3. Кривые спектральной зависимости оптического пропускания пленок Bi (рис. 3,а) вблизи края поглощения характеризуются: 1) немонотонным ходом; 2) наличием максимума пропускания, закономерно сдвигающимся в область малых энергий при увеличении толщины пленки (рис. 3,б). (По оси ординат кривые рис. 3,а расположены произвольно).

Однозначная интерпретация и установление непосредственной связи указанных особенностей с квантовым размерным эффектом требует

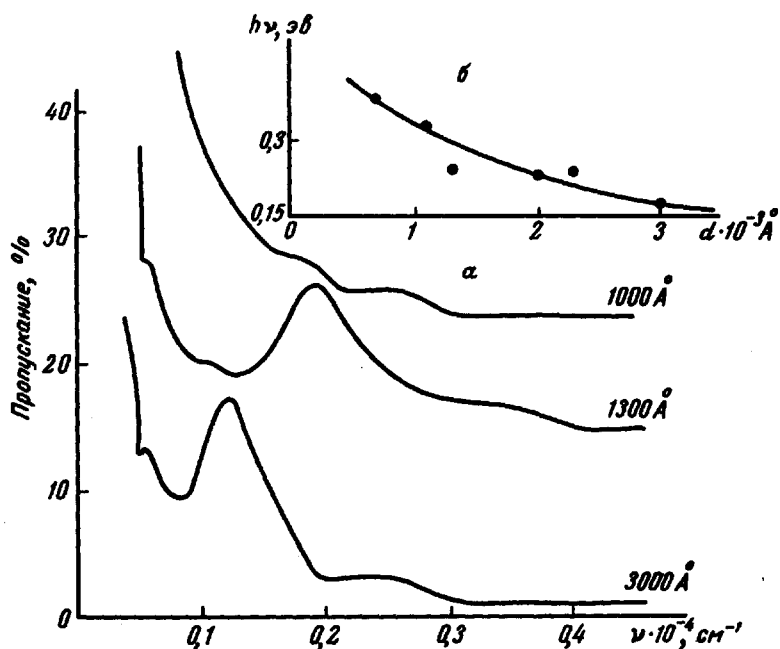


Рис.3

проведения измерений в более широком спектральном диапазоне. Такого рода измерения сейчас проводятся.

Авторы искренне признательны М.И.Елинсону за обсуждение работы и ряд важных замечаний, Р.Н.Шефталю – за проведение структурных исследований, Е.С.Барановой и В.Г.Рыбалко – за помощь в проведении экспериментов.

Институт радиотехники
и электроники
Академии наук СССР

Поступило в редакцию
30 мая 1968 г.

Литература

- [1] Ю.Ф.Огрин, В.Н.Луцкий, М.И.Елинсон. Письма ЖЭТФ, 3, 114, 1966.
- [2] В.Н.Луцкий, Д.Н.Корнеев, М.И.Елинсон. Письма ЖЭТФ, 4, 267, 1966.

- [3] Ю.Ф.Огрин, В.Н.Луцкий, Р.Н.Шефталъ, М.У.Арифова, М.И.Елисон. Радиотехника и электроника, 12, 748, 1967.
- [4] V. P. Duggal, R. Rup, P. Girathi. Appl. Phys. Lett., 9, 293, 1966.
- [5] Ю.Ф.Комник, Е.И.Бухштаб. Письма ЖЭТФ, 6, 536, 1967.
- [6] Ю.Ф.Комник, Е.И.Бухштаб. ЖЭТФ, 54, 163, 1968.
- [7] В.И.Ватаманюк, Ю.А.Кулюпин, О.Г.Сарбей Письма ЖЭТФ, 7, 23, 1968.
- [8] H. A. Combet, I. Y. Le Traon. Sol. Stat. Comm., 6, 85, 1968.
- [9] Н.Е.Алексеевский, С.А.Веденеев. Письма ЖЭТФ, 6, 865, 1967.
- [10] В.Б.Сандомирский. ЖЭТФ, 43, 2909, 1962.
- [11] W. S. Boyle, K. F. Rodgers. Phys. Rev. Lett., 2, 338, 1959.
- [12] В.Н.Луцкий. Письма ЖЭТФ, 2, 391, 1965.
- [13] L. Harris, I. Piper. J. of the optical Society of America, 53, № 11, 1963.