

## ВЛИЯНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ НА СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК ВИСМУТ—СУРЬМА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

С. Ш. Ахмедов, К. Н. Каширин, Н. В. Тимофеева, Е. И. Шведков

Тонкопленочные системы типа металл—диэлектрик, полуметалл (полупроводник)—диэлектрик представляют повышенный интерес как с фундаментальной точки зрения, так и в плане их практического применения (сверхрешетки, логические элементы и т. д.). Свойства тонких пленок сплавов  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$  [<sup>1-4</sup>] заметно отличаются от свойств массивных кристаллов [<sup>5</sup>]. Полупроводниковое покрытие, нанесенное на исследуемую пленку, оказывает существенное влияние на свойства электронной системы, как это показано авторами [<sup>6</sup>]. Наличие второго слоя [<sup>6, 7</sup>] приводит к изменению граничных условий на поверхности металлической пленки. Электрон во втором слое отражается от границы с вакуумом, и это отражение носит когерентный характер. В результате в тонкой пленке на поверхности металла сохраняется квантовая связь между границами и произвольная волновая функция на границе зависит от толщины покрытия и осциллирует с ее ростом, что вызывает осцилляции граничных условий и усредненной плотности состояния в металле. Важным условием реализации такой модели [<sup>6</sup>] является наличие в качестве второго слоя полупроводника, пусть и широкозонного, но никак не диэлектрика.

Исследования [<sup>7-9</sup>] показали осциллирующие изменения параметров металлической и полуметаллической тонких пленок с изменением толщины диэлектрического покрытия.

В настоящей работе исследованы системы  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x\text{—SiO}_2(\text{LiF})$ .

Изготовленные образцы представляли собой тонкие эпитаксиальные слои сплава  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$  ( $x = 0.115$ ) определенной толщины (от 300 до 1500 Å) с нанесенным поверх диэлектрическим покрытием  $\text{SiO}_2$  или  $\text{LiF}$  (от 20 до 100 Å) с интервалом 20 Å. Пленки были получены конденсацией в безмасляном вакууме  $>10^{-6}$  мм рт. ст. на кварцевые подложки. Структура пленок  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$  представляла собой крупноблочный ориентированный монокристалл с тригональной осью по нормали к поверхности пленки. Электронная микроскопия подтверждает эпитаксиальность исследуемых пленок, которая определяется набором скорости напыления, температурой подложки и др. [<sup>10</sup>]. Измерения электрических свойств производились по четырехзондовой методике, причем для холловских измерений предусматривался дополнительный отвод с коэффициентом неэквивалентности не хуже 2%. Магнитосопротивление и эффект Холла измерялись в поперечном магнитном поле до 9 Т при температуре 4.2 К.

Зависимости магнитосопротивления и эдс Холла от толщины диэлектрического покрытия представлены на рис. 1, 2. Как видно из рис. 1, зависимость магнитосопротивления от толщины нанесенного диэлектрика имеет осциллирующий характер, причем амплитуда осцилляций увеличивается с ростом магнитного поля. Характер диэлектрического материала ( $\text{SiO}_2$  либо  $\text{LiF}$ ) не оказывает заметного влияния на зависимость  $\Delta\rho$  ( $d$ ). Наблюдается аналогичный рост амплитуды и в зависимости эдс Холла от толщины диэлектрика (рис. 2), а экстремумы зависимости  $\Delta\rho$  ( $d$ ) не совпадают по фазе с экстремумами зависимости  $U_x$  ( $d$ ).

Период осцилляций (рис. 1, 2) составляет 80—120 Å и практически сохраняется в исследуемом диапазоне толщин диэлектрического покрытия. Проведенный нами Фурье-анализ осцилляций (рис. 1, 2) показал, что данные осцилляции монохроматические, а вторая гармоника имеет период осцилляций порядка 2000 Å.

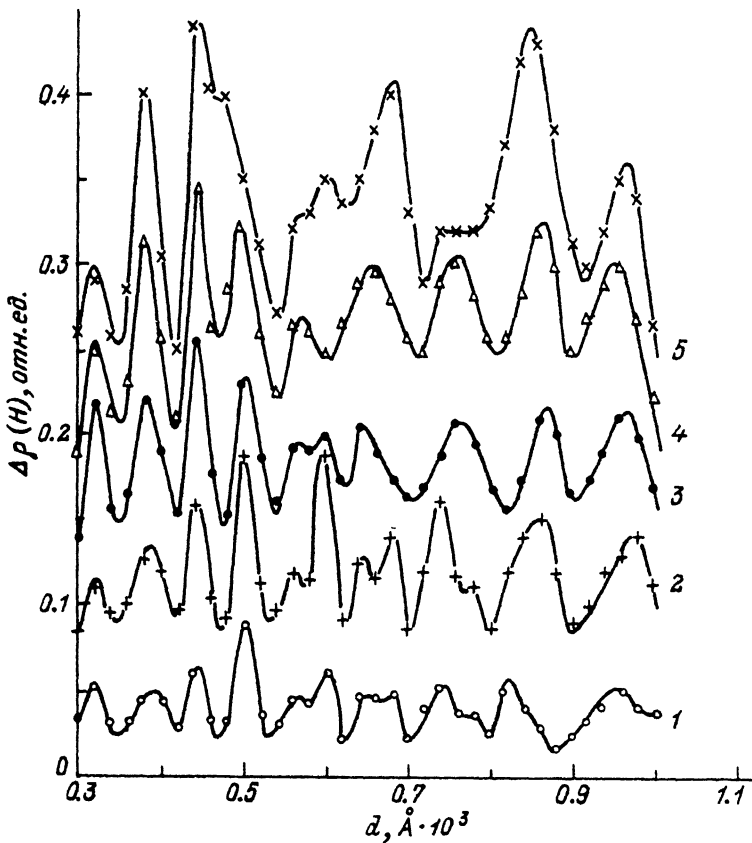


Рис. 1. Зависимость магнитосопротивления  $\Delta\rho(H)$  тонких пленок сплава  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$  толщиной 900 Å от толщины диэлектрического покрытия LiF в поперечном магнитном поле.

1 — 1.75, 2 — 3.5, 3 — 5.25, 4 — 7, 5 — 8.5 Т.

Мы вынуждены констатировать, что объяснить осциллирующую зависимость магнитосопротивления (рис. 1) и эдс Холла (рис. 2)  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x\text{—SiO}_2(\text{LiF})$  с изменением толщины диэлектрического покрытия, согласно модели [6], не представляется возможным.

Электронные свойства неоднородных систем типа «сэндвич» (полупроводник—металл, слоистые структуры и т. п.) исследовались в работе [11]. Был вычислен спектр электронов большого радиуса в слоистой среде; рассмотрено изменение спектра экситонов Ванье—Мотта в полупроводнике, граничащем с другой средой. Расчет спектра экситонов вблизи границы показывает, что при  $\epsilon_1 > \epsilon_2$  (где  $\epsilon_{1,2}$  — диэлектрические проницаемости полупроводника и другого слоя) возможна локализация экситона на поверхности силами электростатического изображения. Изменение толщины диэлектрического покрытия и связанное с этим изменение сил электростатического изображения может привести к осцилляциям кинетических параметров. Вместе с тем в слоистой структуре [11] электроны и дырки расположены в разных плоскостях и потому трудно предположить наличие достаточного числа носителей в диэлектрике.

Обсуждаемый в [8, 9] механизм рассеяния носителей заряда в системе полупроводник ( $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ )—диэлектрик ( $\text{SiO}_2$ ), связанный с включением фононов в диэлектрическом покрытии, представляется нам более вероятным.

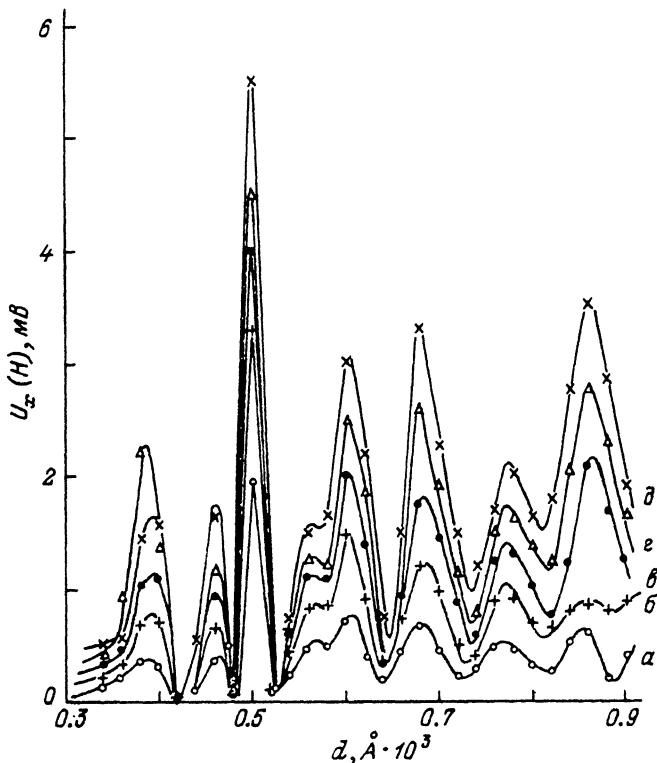


Рис. 2. Зависимость эдс Холла  $U_x (H)$  тонких пленок сплава  $Bi_{1-x}Sb_x$  от толщины диэлектрического покрытия LiF в магнитном поле.

$a - 1.75$ ,  $б - 3.5$ ,  $в - 5.25$ ,  $г - 7$ ,  $д - 8.5$  Т.

#### Список литературы

- [1] Бухштаб Е. И., Комник Ю. Ф., Никитин Ю. В. // ФНТ. 1978. Т. 4. № 8. С. 1007—1015.
- [2] Комник Ю. Ф., Никитин Ю. В., Бухштаб Е. И. // ФНТ. 1978. Т. 4. № 9. С. 1143—1155.
- [3] Комник Ю. Ф., Никитин Ю. В., Бухштаб Е. И. // ФНТ. 1978. Т. 4. № 10. С. 1257—1266.
- [4] Никитин Ю. В., Бухштаб Е. И., Комник Ю. В. // ФНТ. 1978. Т. 4. № 11. С. 1440—1452.
- [5] Ахмедов С. Ш., Геррманн Р., Каширин К. Н., Крайф А., Краак В., Пономарев Я. Г., Судакова М. В. // ЖЭТФ. 1990. Т. 97. № 2. С. 663—680.
- [6] Коган Ю., Дубовский Л. Б. // ЖЭТФ. 1977. Т. 72. № 1. С. 646—651.
- [7] Михеева М. Н., Цейтлин М. Б., Теплов А. А., Голянов В. М., Демидов А. П. // Письма в ЖЭТФ. 1972. Т. 15. № 3. С. 303—304.
- [8] Шведков Е. И., Тимофеева Н. В. // Тез. докл. XXIV Всесоюзного совещ. по физике низких температур. Тбилиси, 1986, Ч. 2. С. 30.
- [9] Шведков Е. И., Тимофеева Н. В., Каширин К. Н., Шукринов Ю. М., Дуброва Г. А., Аббосов Б. // Тез. докл. XXV Всесоюзного совещ. по физике низких температур. Л., 1988. Ч. 3. С. 132—133.
- [10] Бивол В. Г., Бургакова В. И. Пленочные структуры висмута и его аналогов. М.: Наука, 1978.
- [11] Лозовик Ю. Е., Нишанов В. Н. // ФНТ. 1976. Т. 18. № 11. С. 3267—3272.

Физико-технический институт  
им. С. У. Умарова  
Душанбе

Поступило в Редакцию  
11 октября 1991 г.  
В окончательной редакции  
13 марта 1992 г.