

©1994 г.

## ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЕРЕХОДА МЕТАЛЛ-[ЛЕНГМЮРОВСКАЯ ПЛЕНКА ФТОРИРОВАННОГО ПОЛИМЕРА]-СУЛЬФИД КАДМИЯ

*П.А.Тодуа, Д.В.Роде*

Научно-исследовательский центр по изучению свойств поверхности и вакуума,  
117331, Москва, Россия  
(Получена 24 ноября 1993 г. Принята к печати 10 мая 1994 г.)

Изучены электрофизические свойства структур Ag-[пленка сополимера 1,1-дигидроперфторгептилхакрилата с акриловой кислотой]-CdS, в которых изолирующие слои сформированы по методу Ленгмюра-Блоджетт. Установлен туннельно-инжекционный механизм протекания тока.

Исследования структур типа металл-[изолирующая пленка Ленгмюра-Блоджетт]-[широкозонный полупроводник] приобретают особую значимость в связи с новой возможностью создания источников и приемников коротковолнового излучения, полевых транзисторов, би-стабильных элементов и других полупроводниковых приборов, основанных на переходах металл-диэлектрик-полупроводник. Настоящая работа является непосредственным продолжением работ [1-6], в которых рассмотрены процессы токопереноса и излучательные свойства МДП-структур на основе сульфида кадмия и изолирующих пленок стеариновой кислоты и стеарата кадмия, сформированных по методу Ленгмюра-Блоджетт.

Переход к фторированному полимеру обусловлен необходимостью создания на поверхности полупроводникового материала изолирующего ленгмюровского слоя, обладающего большей стабильностью физико-химических свойств до температур 300 °С и выше, нежели слоев, выполненных из поверхностно-активных веществ, традиционно используемых в ленгмюровской технологии.

### Методика приготовления структур

Для создания структур металл-[пленка Ленгмюра-Блоджетт]-полупроводник использовался монокристаллический сульфид кадмия  $\eta$ -типа с удельным сопротивлением  $\rho \approx 10$  Ом·см и подвижностью носителей заряда  $\mu = 210$  см<sup>2</sup>/В·с. В качестве органического поверхностно-активного вещества для формирования изолирующих ленгмюровских

слоев выбран сополимер 1,1-дигидроперфторгептилакрилата с акриловой кислотой (ПФГА-АК). — гребнеобразный фторированный полимер, толщина монослоя которого составляет  $16.5 \text{ \AA}$  [7]. В процессе нанесения изолирующих слоев толщина последних варьировалась в пределах 3–30 монослоев ( $50\text{--}500 \text{ \AA}$ ). Металлические контакты толщиной  $150\text{--}300 \text{ \AA}$  и площадью  $0.1 \text{ см}^2$  к ленгрюровским пленкам наносились путем испарения серебра в вакууме не хуже  $10^{-6}$  мм рт.ст со средней скоростью напыления  $10 \text{ \AA}/\text{мин}$ . Омический контакт к сульфиду кадмия образовывался путем вжигания индия непосредственно перед формированием пленки Ленгмюра-Блоджетт.

Перед началом процесса формирования пленок Ленгмюра-Блоджетт сополимер 1,1-дигидроперфторгептилакрилата с акриловой кислотой (ПФГА-АК) в течение нескольких часов растворялся в ацетоне до концентрации  $2 \text{ мг/мл}$ . Далее в полученный раствор добавлялся 1,1,2-трифтортрихлорэтан в соотношении 1:3 с целью обеспечения необходимой для растекания по поверхности воды гидрофобности. С учетом смачиваемости CdS процесс нанесения первого монослоя начинался при вертикальном прохождении подложкой границы раздела (вода-слой поверхностно-активного вещества) в направлении снизу вверх со скоростью  $2 \text{ мм/мин}$ . Последующие слои формировались путем последовательного чередования прохождения подложкой границы раздела до достижения требуемой толщины пленки. Скорость перемещения кристалла при формировании второго и последующего монослоев составляла  $5 \text{ мм/мин}$ .

Для надежной идентификации электрофизических свойств полученных структур Ag-[пленка Ленгмюра-Блоджетт]-CdS на тех же подложках были изготовлены диоды Шоттки Ag-CgS (контрольные образцы), полученные путем напыления серебра на свежепротравленную поверхность сульфида кадмия.

### Электрофизические свойства

На рис. 1 приведены семейства прямых вольт-амперных характеристик структур Ag-[пленка Ленгмюра-Блоджетт]-CdS с различным количеством монослоев ПФГА-АК. Для сравнения там же приведена вольт-амперная характеристика контрольного образца — диода Шоттки Ag-CdS. Видно, что увеличение толщины изолирующего слоя приводит к смещению вольт-амперной характеристики в сторону больших напряжений. В то же время измерениями характеристик при двух значениях температуры  $80$  и  $300 \text{ К}$  установлено, что крутизна вольт-амперных характеристик перехода Ag-[пленка ПФГА-АК]-CdS слабо зависит от температуры. При этом результаты измерений можно аппроксимировать выражением

$$I = I_0(T) \exp(\alpha \cdot U),$$

где  $\alpha_{80} = 1.7 \text{ В}^{-1}$ , а  $\alpha_{300} = 2.5 \text{ В}^{-1}$ .

Столь слабая температурная зависимость, на наш взгляд, свидетельствует в первую очередь о туннельно-инжекционном механизме токопереноса.

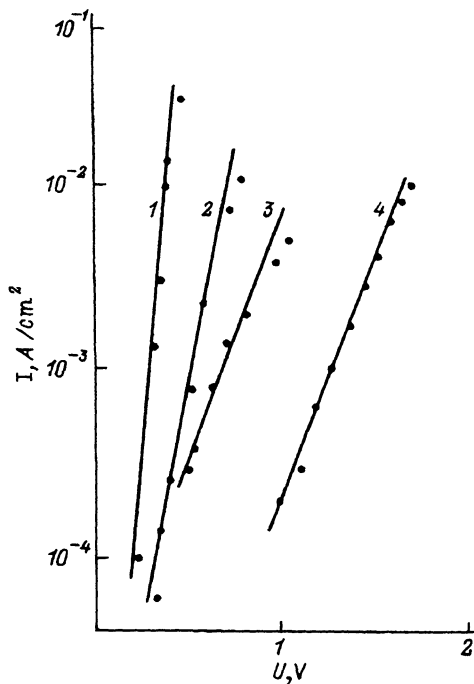


Рис. 1. Вольт-амперные характеристики диода Шоттки (1) и структур с различным количеством монослоев ПФГА-АК: 2 — 3, 3 — 10, 4 — 30.

При этом величина средней напряженности электрического поля, реализуемого в пленке, составляет значения порядка  $10^6$  В/см, что по порядку величины соответствует значениям поля, необходимым для развития процессов туннельной проводимости [8]. Этот факт свидетельствует о хорошем качестве и однородности сформированной ленточной пленки.

Дополнительная информация о характере токопереноса в исследуемых структурах может быть извлечена из вольт-фарядных характеристик.

На рис. 2 представлены высокочастотные ( $f = 1$  МГц) вольт-фарядные характеристики структур Ag-[пленка Ленгмюра-Блоджетт]-CdS с 3.5 и 10 монослоями ПФГА-АК и вольт-фарядные характеристики контрольного образца диода Ag-CdS (рис. 2, вставка). Вид этих зависимостей существенным образом различается. В случае диода Шоттки емкость структуры монотонно уменьшается при обратных смещениях. В случае образцов Ag-[пленка Ленгмюра-Блоджетт]-CdS вольт-фарядная зависимость имеет типичный ступенчатый вид, характерный для структур типа металл-диэлектрик-полупроводник.

В диапазоне больших положительных смещений результирующая емкость структуры определяется емкостью изолирующей пленки [9]:

$$C_{\max} \simeq C = \epsilon_i \cdot \epsilon_0 / d,$$

где  $\epsilon_0$  — диэлектрическая проницаемость вакуума ( $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$  Ф/М);  $\epsilon_i$  — диэлектрическая проницаемость изолирующей пленки ПФГА-АК, которая составляет  $\epsilon_i = 2.5$  [7],  $d$  — толщина пленки.

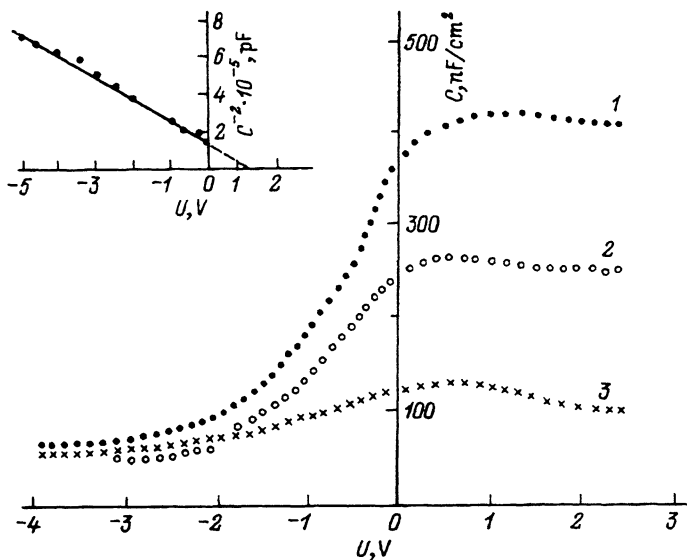


Рис. 2. Вольт-фарадные характеристики структур с тремя (1), пятью (2) и десятью (3) монослоями ПФГА-АК. На врезке вольт-фарадная характеристика диода Шоттки.

Исходя из значений  $C_{\max} = 430, 250$  и  $125$  нФ/см<sup>2</sup>, полученных для 3, 5 и 10 слоев ПФГА-АК, оценочные толщины изолирующих пленок составляют примерно  $d = 50, 83, 172$  Å. Полученные значения хорошо коррелируют с оценкой толщин 3, 5 и 10 монослоев ПФГА-АК, если принять толщину монослоя равной  $16.5$  Å.

При отрицательных смещениях результирующая емкость определяется емкостью обедненного слоя полупроводника:

$$C_{\min} \simeq C = \varepsilon_s \cdot \varepsilon_0 / W_m,$$

где  $W_m$  — максимальная толщина обедненного слоя.

Исходя из полученного значения  $C_{\min} = 70$  нФ/см<sup>2</sup> и диэлектрической проницаемости CdS, равной  $\varepsilon_s = 8.9$  [10,11], оценка глубины обедненного слоя приводит к значению  $W_m = 0.12 \pm 0.05$  мкм. С другой стороны, максимальная глубина обедненного слоя определяется [9] выражением

$$W_m = \left( \frac{4\varepsilon_s K T \ln N_d / n_i}{q^2 \cdot N_d} \right)^{1/2},$$

где  $q$  — заряд электрона,  $n_i$  — собственная концентрация носителей. Подстановка в это соотношение значения  $n_i = 4 \cdot 10^{-4}$  см<sup>-3</sup> для CdS при  $T = 300$  К и экспериментально определенного значения  $W_m$  приводит к значению  $N_d = 7.5 \cdot 10^{16}$  см<sup>-3</sup>. Полученное значение  $N_d$  коррелирует с концентрацией носителей в CdS, равной  $n_e = 4 \cdot 10^{16}$  см<sup>-3</sup>, определенной из холловских измерений при комнатной температуре.

## Выводы

Структуры Ag-[пленка Ленгмюра-Блоджетт]-CdS, в которых изолирующие слои сформированы на основе сополимера 1,1-дигидроперфторгептилкрилата с акриловой кислотой, представляют собой структуры типа металл-диэлектрик-полупроводник, характеризующиеся туннельно-инжекционным механизмом протекания тока. Высокая повторяемость электрофизических свойств структур подчеркивает целесообразность применения ПФГА-АК в методе Ленгмюра-Блоджетт для создания МДП структур на основе полупроводниковых соединений  $A^{II}B^{VI}$

### Список литературы

- [1] А.Н. Георгобиани, Н.Г. Рамбиди, П.А. Тодуа, Е.Ф. Шестакова, Б.Т. Эльтазаров. Кр. сообщ. по физике, № 9, 42 (1987).
- [2] А.Н. Георгобиани, Н.Г. Рамбиди, П.А. Тодуа, Е.Ф. Шестакова, Б.Т. Эльтазаров. Кр. сообщ. по физике, № 9, 46 (1987).
- [3] А.Н. Георгобиани, Н.Г. Рамбиди, П.А. Тодуа, А.С. Холманский, Е.Ф. Шестакова, Б.Т. Эльтазаров. Поверхность, № 5, 145 (1988).
- [4] С.И. Веденеев, А.Н. Георгобиани, А.Д. Левит, Н.Г. Рамбиди, П.А. Тодуа, Е.Ф. Шестакова, Б.Т. Эльтазаров. ФТП, 22, 936 (1988).
- [5] В.Т. El'tazarov, A.N. Georgobiani, N.G. Rambidi, P.A. Todua, J. Molecular Electron., 4, 49 (1988).
- [6] П.А. Тодуа. *Тр. координационного совещания специалистов социалистических стран по физическим проблемам оптоэлектроники (Баку, 1989)* с. 47.
- [7] Н. Исигава. *Соединения фтора: синтез и применение* (М.: Мир, 1990) с. 456.
- [8] В. Франц. *Пробой диэлектриков* (М., Иностран. лит., 1961) с. 347.
- [9] С. Зи. *Физика полупроводниковых приборов* (М., Мир, 1984) т. 1, с. 455.
- [10] Ж. Панков. *Оптические процессы в полупроводниках* (М., Мир, 1973) с. 456.
- [11] А.Н. Георгобиани, Б.Н. Леванович, П.А. Тодуа, Е.Ф. Шестакова, Б.Т. Эльтазаров. Поверхность. Физика, химия, механика, № 2, 34 (1992).

Редактор В.В. Чалдышев