

Изменение электронной плотности за счет поляризации составляет  $\sim 2\%$ , что оправдывает использование теории возмущений.

Таким образом, удалось провести последовательный неэмпирический расчет эффектов поляризации, оказавшихся в данном случае существенными. Разработанный в работе подход может оказаться полезным для первопринципных расчетов энергетических зон, диэлектрических свойств, динамики решетки этих кристаллов.

Авторы благодарят К. Б. Толпыго за полезное обсуждение работы.

### Л и т е р а т у р а

- [1] Толпыго К. Б. — ФТТ, 1975, т. 17, в. 6, с. 1769—1778.
- [2] Резник И. М. — ФТТ, 1977, т. 19, в. 2, с. 463—468.
- [3] Резник И. М., Толпыго К. Б. — ФТТ, 1979, т. 21, в. 5, с. 968—972.
- [4] Толпыго К. Б., Шаталов В. М. — УФЖ, 1975, т. 20, в. 9, с. 1476—1483.
- [5] Dalgarno A., Lewis J. T. — Proc. Roy. Soc. A, 1955, v. 233, N 1192, p. 70—74.
- [6] Гусев А. А. — ФТП, 1987, т. 21, в. 7, с. 1332—1334.
- [7] Бутько В. Г., Гусев А. А. — ФТТ, 1982, т. 24, в. 8, с. 2242—2248.
- [8] Толпыго К. Б. — УФЖ, 1957, т. 2, в. 3, с. 242—260.
- [9] Толпыго К. Б. — ФТТ, 1961, т. 2, в. 10, с. 2655—2665.
- [10] Chadi D. J., Cohen M. L. — Phys. Rev. B, 1973, v. 8, N 12, p. 5747—5753.
- [11] Philipp H. R., Ehrenreich H. — Phys. Rev., 1963, v. 129, N 4, p. 1550—1560.

Донецкий физико-технический  
институт АН УССР

Получено 4.05.1987  
Принято к печати 14.01.1988

*ФТП, том 22, вып. 6, 1988*

## ПОЛЕВОЙ ТРАНЗИСТОР СО СТРУКТУРОЙ МТДП НА ОСНОВЕ $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$

Салмин Е. А., Пономаренко В. П., Стафеев В. И.

Твердые растворы теллуридов кадмия—ртути широко используются для создания фотоприемников ИК диапазона. Однако имеется всего лишь несколько сообщений о создании активных элементов на этом материале. Сообщается о создании полевых [1—5] и биполярных [6, 7] транзисторов, в которых  $p-n$ -переходы образовывались методами ионной имплантации в  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$   $p$ -типа проводимости.

В настоящей работе сообщаются результаты исследования свойств диодов Шоттки с прослойкой туннельно-прозрачного диэлектрика (МТДП диоды) и полевых транзисторов с МТДП диодами в качестве стока и истока.

Для изготовления МТДП диодов и транзисторов был использован  $p\text{-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  ( $x=0.32$ ) с концентрацией дырок  $8 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$  и подвижностью  $400 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$  (77 К). Слой туннельно-прозрачного диэлектрика создавался напылением  $\text{Al}_2\text{O}_3$  толщиной 3—5 нм. В качестве контактного металла использовался хром.

В транзисторах подзатворный и «периферийный» слои диэлектриков также создавались напылением  $\text{Al}_2\text{O}_3$  толщиной 0.1 мкм. Вне затвора наносилось дополнительное защитное покрытие из  $\text{SiO}_2$  толщиной 0.2 мкм.

Поперечное сечение МТДП транзистора показано на вставке к рис. 1. Длина канала  $L=60$  мкм, ширина  $Z=280$  мкм, площади стока и истока  $S=2.3 \times 10^{-4} \text{ см}^2$ . Для обеспечения эффективной модуляции проводимости канала затвор частично перекрывает области стока и истока.

МТДП диоды при 85 К и нулевом смещении имели сопротивление  $R_0 \approx 1 \text{ МОм}$ , в пропускном направлении это сопротивление 150—200 Ом, в обратном направлении ток насыщения менее 0.1 мкА. Вольтамперная характеристика

при 85 К хорошо описывается теоретической зависимостью для МТДП диодов [8]

$$I = SA^*T^2P \exp(-\varphi_b/kT) [\exp(qU/nkT) - 1] \quad (1)$$

при следующих значениях основных параметров: высота барьера металл—полупроводник  $\varphi_b=72$  мВ, вероятность туннелирования через диэлектрик  $P=10^{-6}$ , коэффициент неидеальности  $n=2.6$ , площадь  $S=2.3 \cdot 10^{-4}$  см<sup>2</sup>,  $A^*$  — постоянная Ричардсона.

Выходные и передаточные характеристики при 85 К измерялись по схеме с заземленным истоком при напряжениях исток—сток в пределах от 0 до —150 мВ.

Семейство выходных характеристик  $I_D(U_D)$  при  $U_{BS}=0$  представлено на рис. 1. Напряжение на затворе изменялось с шагом 0.5 В от 3.5 (кривая 1) до

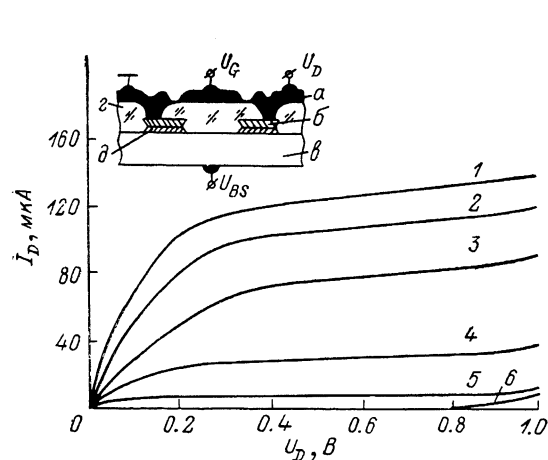


Рис. 1. Поперечное сечение и выходные характеристики МТДП транзистора.

$a$  — Al—Mo,  $\delta$  — Cr,  $\epsilon$  — КРТ  $p$ -типа,  $z$  — Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—SiO<sub>2</sub>,  $\delta$  — туннельно-прозрачный слой Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.  $U_G$ , В: 1 — 3.5, 2 — 3.0, 3 — 2.5, 4 — 2.0, 5 — 1.5, 6 — 1.0.  $T=85$  К,  $U_{BS}=0$ .

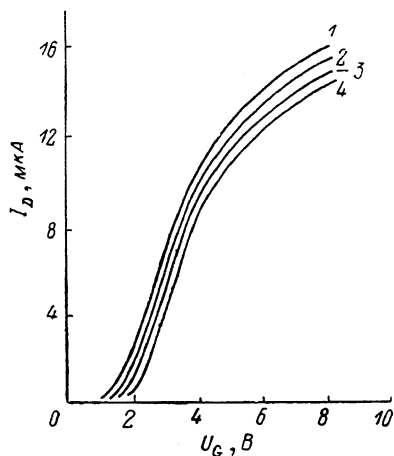


Рис. 2. Передаточные характеристики МТДП транзистора.

$U_{BS}$ , мВ: 1 — 0, 2 — -50, 3 — -100, 4 — -150.  $T=85$  К,  $U_D=10$  мВ.

1.0 В (кривая 6). Дифференциальное выходное сопротивление на участке насыщения около 1 МОм, отношение токов стока в открытом и закрытом состояниях более 40 дБ.

Начальный участок всех характеристик подчиняется линейному закону [8]

$$I_D = \frac{Z}{L} \mu_n^* (U_G - U_T) U_D C_i, \quad (2)$$

где  $\mu_n^*$  — эффективная подвижность неосновных носителей в приповерхностной области затвора,  $C_i$  — удельная емкость диэлектрика,  $U_T$  — пороговое напряжение.

При больших напряжениях в зависимости тока от напряжения наблюдается насыщение в соответствии с теорией МДП транзисторов.

Зависимость тока стока от напряжения на затворе  $U_G$  приведена на рис. 2 для нескольких значений  $U_{BS}$  в пределах от 0 (кривая 1) до —150 мВ (кривая 4) с шагом 50 мВ при напряжении на стоке 10 мВ. При таком напряжении на стоке на выходных характеристиках наблюдается линейный участок при всех напряжениях на затворе. Обратное смещение подложки увеличивает значение порогового напряжения. Для  $U_{BS}=-150$  мВ (кривая 4) сдвиг порогового напряжения  $\Delta U_T \approx 0.4$  В. Зависимость  $\Delta U_T$  от  $U_{BS}$  описывается выражением [8]

$$\Delta U_T = \frac{(2\epsilon_0\epsilon_s q N_A)^{1/2}}{C_i} [(\varphi_{inv} + U_{BS})^{1/2} - \varphi_{inv}^{1/2}], \quad (3)$$

где  $\epsilon_s$  — диэлектрическая проницаемость полупроводника,  $\varphi_{inv}$  — потенциал инверсии приповерхностной области.

В области напряжений  $1.8 < U_G < 2.5$  В ток стока линейно зависит от напряжения на затворе. Этот участок описывается выражением [8]

$$g^* = \frac{\partial I_D}{\partial U_G} \Big|_{U_D = \text{const}} = \frac{Z}{L} \mu_n^* C_i U_D. \quad (4)$$

На линейном участке для данного образца крутизна  $g^* = 0.6$  мА/В<sup>2</sup>. При напряжениях  $U_G < 1.8$  В и  $U_G > 2.5$  В зависимость нелинейна.

Пороговое напряжение  $U_T$ , полученное экстраполяцией линейного участка передаточной характеристики к нулю тока стока, положительно и равно примерно 1.5 В. Таким образом, созданные МТДП транзисторы относятся к обогащенному типу.

При отрицательных смещениях на затворе и напряжении на стоке 10 мВ ток стока составляет около 30 нА.

Параметры границы раздела  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  определялись из вольт-фарадных характеристик. Напряжение плоских зон получено равным  $-0.25$  В, плотность поверхностных состояний вблизи середины запрещенной зоны  $(2\div 3) \times 10^{11}$  см<sup>-2</sup>·эВ<sup>-1</sup>, плотность медленных поверхностных состояний  $\sim 10^{10}$  см<sup>-2</sup>, плотность положительного встроенного заряда  $(3\div 5) \cdot 10^{10}$  см<sup>-2</sup>. При нулевом напряжении на затворе для такого встроенного заряда инверсный канал между стоком и истоком отсутствует.

Эффективная подвижность в приповерхностном слое вычислялась из значения крутизны. На линейном участке она оказалась равной  $7 \cdot 10^3$  см<sup>2</sup>/В·с. При больших напряжениях на стоке подвижность убывает. Это связано с тем, что с ростом поперечного электрического поля толщина слоя объемного заряда становится малой, образуется двумерный электронный газ и основным механизмом рассеяния становится рассеяние на приповерхностном потенциальном рельефе. При этом рассеяние возрастает с уменьшением толщины слоя. При поперечном поле  $8 \cdot 10^4$  В/см, соответствующем напряжению на затворе  $U_G \simeq 0.7$  В, подвижность падает до  $10^3$  см<sup>2</sup>/В·с.

#### Л и т е р а т у р а

- [1] Kolodny A., Shacham-Diamand Y., Kidron I. — IEEE Trans. Electron. Dev., 1980, v. ED-27, N 3, p. 591—595.
- [2] Nemirovsky Y., Margalit S., Kidron I. — J. Appl. Phys., 1980, N 6, p. 466—468.
- [3] Williams J. M., Gertner E. R. — Electron. Lett., 1980, v. 16, N 22, p. 839—840.
- [4] Schiebel R. A. — In: Proc. IEDM. Washington, 1983, p. 711—714.
- [5] Пономаренко В. П., Шиманский И. В., Стафеев В. И. — ФТП, 1988, т. 22, в. 1, с. 62—65.
- [6] Sakamoto K., Okabe Y. — Japan. J. Appl. Phys., 1986, v. 25, N 3, p. 444—463.
- [7] Ashley T., Crimes G., Elliot C. T., Harker A. T. — Electron. Lett., 1986, v. 22, N 11, p. 611—613.
- [8] Зп С. Физика полупроводниковых приборов, т. 1. М., 1984. 456 с.

Получено 12.08.1987  
Принято к печати 15.01.1988

ФТП, том 22, вып. 6, 1988

### ДВУХЭЛЕКТРОННЫЕ ЦЕНТРЫ ОЛОВА В $\text{In}_2\text{S}_3$

Регель А. Р., Серегин П. П., Насрединов Ф. С.,  
Агзамов А. А.

Впервые электрическая активность двухэлектронных центров была обнаружена для примесных атомов олова в халькогенидах свинца [1]. Попытки обнаружить аналогичные центры в  $\text{In}_2\text{Te}_3$  и  $\text{Ga}_2\text{Te}_3$  были безуспешными: олово в этих полупроводниках оказывалось электрически не активным [2, 3]. В данной