

СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МДП ТРАНЗИСТОРОВ НА ОСНОВЕ $Cd_xHg_{1-x}Te$

Пономаренко В. П., Шиманский И. В., Стафеев В. И.

Описаны основные свойства МДП транзисторов с индуцированным каналом на основе твердых растворов $p-Cd_xHg_{1-x}Te$ ($x \approx 0.3$), работающих в режиме обогащения.

В последние годы за рубежом появился ряд работ, посвященных исследованию МДП транзисторов на основе $Cd_xHg_{1-x}Te$ (КРТ) различного состава [1-4]. Опубликованные сведения относятся в основном к n -канальным транзисторам с изолированным затвором на основе материала p -типа. В работе [5] предложена структура биполярного транзистора из КРТ с гетеропереходом и приведен численный расчет его возможных характеристик. В отечественной литературе данных по транзисторам из КРТ не приводилось.

Настоящая работа посвящена исследованию свойств n -канальных МДП транзисторов с изолированным затвором на основе p -КРТ с $x \approx 0.3$.

Образцы. Схема МДП транзистора приведена на рис. 1. В качестве подложки использовался объемный материал $Cd_xHg_{1-x}Te$ с $x=0.28$ p -типа проводимости. Концентрация и подвижность основных носителей при температуре жидкого азота в объеме $p_0=3 \cdot 10^{15}$ см⁻³ и $\mu_p=500$ см²/В·с соответственно. n^+ -Области стока и истока получены ионной имплантацией бериллия. Подзатворный диэлектрик — слой Al_2O_3 толщиной 180 нм. Электрод затвора и контакты к n^+ -областям изготовлены из никеля.

Канал транзистора имеет длину и ширину $L=60$ мкм и $Z=280$ мкм соответственно. Геометрические площади и периметры переходов стока и истока одинаковы и составляют $S=2.3 \cdot 10^{-4}$ см² и $B=817$ мкм. Для гарантированного управления всей областью канала затвор транзистора несколько перекрывает области стока и истока.

C—V-характеристики затвора. На рис. 2 представлены экспериментальная и теоретическая вольффарядные характеристики МДП структуры затвора транзистора. Из этих данных следует, что напряжение плоских зон $U_{FB}=-0.7$ В, плотность быстрых поверхностных состояний вблизи середины запрещенной зоны $N_{SS} \approx 5 \cdot 10^{11}$ см⁻²·эВ⁻¹. Плотность положительного встроенного заряда $Q_{FC} \approx 10^{11}$ см⁻², т. е. в 2—20 раз ниже, чем в [1-4].

В подложке p -типа с концентрацией дырок $p_0 \approx 3 \cdot 10^{15}$ см⁻³ такой встроенный заряд на границе раздела Al_2O_3 —КРТ инверсии типа проводимости не вызывает, и при нулевом напряжении на затворе проводящий канал между стоком и истоком транзистора отсутствует. Канал проводимости образуется лишь при положительном смещении на затворе. Тем самым в n -канальном МДП транзисторе обеспечивается работа в режиме обогащения.

Вольтамперные характеристики. Характеристики n^+ — p -переходов стока и истока в исследованных образцах практически не отличаются друг от друга. При обратных смещениях на n^+ — p -переходе в диапазоне $0.1 \leq U_D \leq 0.7$ В дифференциальное сопротивление стока $r_d \approx 3.5$ МОм. При этом ток через переход не превышает 1.5 мкА и практически не зависит от смещения до напряжений $U_D \sim 1$ В. Для $U_D > 1$ В наблюдается увеличение тока с ростом смещения, что может быть связано с эффектом междозонного туннелирования

в $n^+ - p$ -переходах на основе КРТ с $E_g \approx 0.3$ эВ [6]. Ток прямо смещенных переходов обращается в нуль при $U_b = -40$ мВ, что обусловлено влиянием фонового освещения. Дифференциальное сопротивление $n^+ - p$ -переходов при нулевом смещении $r_0 \approx 70$ кОм.

Выходные характеристики. Зависимости тока стока от напряжения на стоке $I_D(U_D)$ для нескольких значений положительного напряжения на затворе МДП транзистора U_G представлены на рис. 3. На всех выходных характеристиках имеются два явно выраженных участка. На начальном, линейном, участке ток стока прямо пропорционален напряжению на стоке и может быть описан выражением [7]

$$I_D = \frac{Z}{L} \mu^* C_i U_D (U_G - U_T), \quad (1)$$

где Z и L — ширина и длина канала соответственно, μ^* — эффективная подвижность неосновных носителей заряда в подзатворной области, C_i — удельная емкость слоя диэлектрика, U_T — пороговое напряжение.

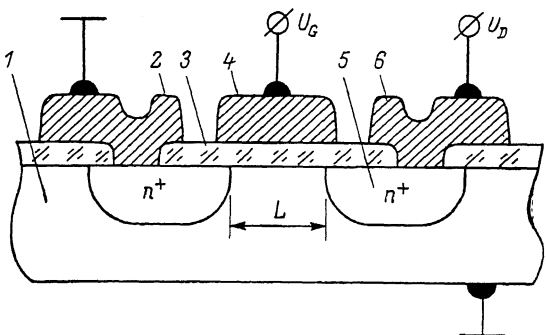


Рис. 1. Схема МДП транзистора.

1 — подложка, 2 — вывод истока, 3 — слой Al_2O_3 , 4 — вывод затвора, 5 — n^+ -область стока, 6 — вывод стока.

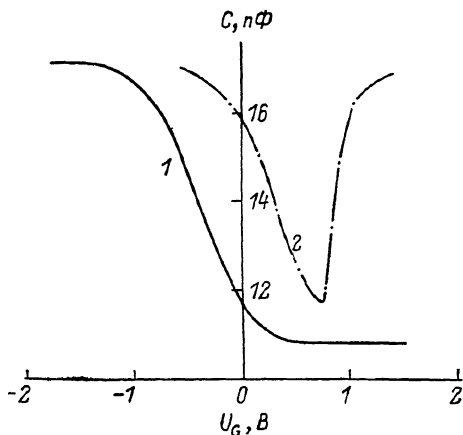


Рис. 2. Экспериментальная (1) и теоретическая (2) вольтфарадные характеристики МДП структуры затвора.

Удельная крутизна $g^* = Z \mu^* C_i / L$ на линейном участке выходных характеристик транзистора 1.15 мА/В².

При дальнейшем увеличении напряжения на стоке наблюдается участок насыщения, на котором ток стока практически не зависит от напряжения. Выходные характеристики транзистора на участке насыщения удовлетворительно описываются классической теорией [7]

$$I_{D \text{ sat}} = g^* \left\{ (U_G - U_{FB} - \varphi_{\text{inv}} - 0.5 U_{D \text{ sat}}) U_{D \text{ sat}} - \frac{\sqrt{\epsilon_0 \epsilon_s q p_0}}{3 C_i} [(U_{D \text{ sat}} + \varphi_{\text{inv}})^{1.5} - (\varphi_{\text{inv}})^{1.5}] \right\}, \quad (2)$$

где $I_{D \text{ sat}}$ — ток стока на участке насыщения, $U_{D \text{ sat}} = U_G - U_{FB} - \varphi_{\text{inv}} + \frac{(\epsilon_0 \epsilon_s q p_0 / C_i^2) (1 - \sqrt{1 + 2(U_G - U_{FB}) C_i^2 / \epsilon_0 \epsilon_s q p_0})}{2}$ — напряжение отсечки, ϵ_s — диэлектрическая проницаемость полупроводника, φ_{inv} — поверхностный потенциал инверсии.

Отношение токов стока на участке насыщения в открытом и закрытом состояниях ~ 60 дБ.

Передаточные характеристики. На рис. 4 представлена передаточная характеристика $I_D(U_G)$ при напряжении на стоке $U_D = 0.02$ В. Для любых напряжений на затворе это соответствует линейному участку выходных характеристик. В области $0 < U_G < 0.5$ В зависимость $I_D(U_G)$ нелинейна. При напряжениях $U_G > 0.5$ В ток стока возрастает пропорционально напряжению на затворе.

Передачная характеристика, измеренная для напряжения $U_D=0.7$ В при отрицательных смещениях на затворе, показана на рис. 5. В области $|U_G| \leq 0.4$ В ток стока уменьшается с ростом $|U_G|$, а при $|U_G| > 0.4$ В практически не зависит от напряжения на затворе. При $U_G < 0$ ток стока достигает своего минимального значения, равного $9 \cdot 10^{-7}$ А, для $U_G = -0.7$ В. Это напряжение

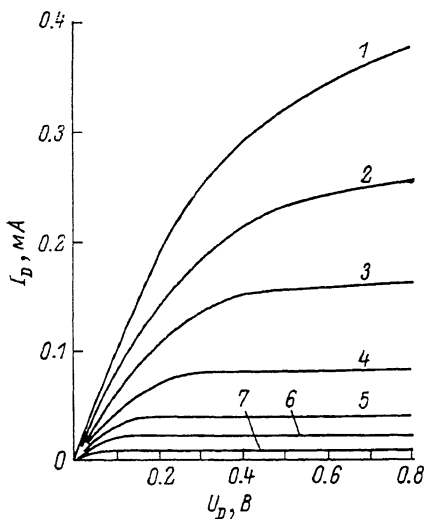


Рис. 3. Семейство выходных характеристик. Напряжения на затворе, В: 1 — 1.775, 2 — 1.575, 3 — 1.375, 4 — 1.175, 5 — 0.975, 6 — 0.775, 7 — 0.575.

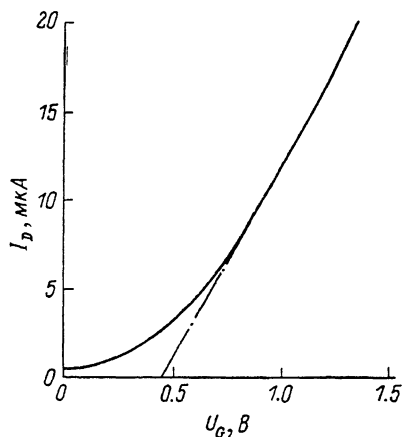


Рис. 4. Передачная характеристика. Напряжение на стоке $U_D=0.02$ В.

соответствует напряжению плоских зон U_{FB} , рассчитанному из вольтфарадной характеристики МДП структуры затвора.

Другие характеристики. Пороговое напряжение U_T , определенное экстраполяцией линейного участка передачной характеристики $I_D(U_G)$ к току $I_D=0$, составляет 0.44 В.

Удельная емкость диэлектрика $C_i=2.43 \cdot 10^{-8}$ Ф/см². Отсюда эффективная поверхностная подвижность электронов μ^* , рассчитанная по формуле (1), равна 10^4 см²/В·с.

Для несимметричного резкого $n^+ - p$ -перехода ширина области пространственного заряда [7]

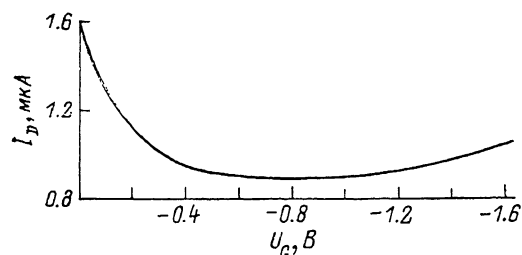


Рис. 5. Передачная характеристика при отрицательных напряжениях на затворе.

$$d_{\text{ОПЗ}} = \left[\frac{2\epsilon_0\epsilon_s (U_{bi} + U_D)}{q\rho_0} \right]^{1/2}, \quad (3)$$

где U_{bi} — контактная разность потенциалов между n - и p -областями, q — заряд электрона.

В КРТ с $E_g=0.25$ эВ ($x \approx 0.3$) значение U_{bi} порядка 0.25 В, поэтому при $U_D \sim 1$ В, принимая $\epsilon_s \sim 17$ [8], получим $d_{\text{ОПЗ}}=10^{-4}$ см.

Таким образом, ширина области пространственного заряда в $n^+ - p$ -переходах исследованных транзисторов много меньше длины канала. Поэтому описанные в настоящей работе МДП транзисторы с индуцированным n -каналом обогащенного типа следует отнести к длинноканальным [7].

Л и т е р а т у р а

- [1] Kolodny A., Shacham-Diamand Y. J., Kidron I. — IEEE Trans. Electron. Dev., 1980, v. ED-27, N 3, p. 591—595.
- [2] Nemirovsky Y., Margalit S., Kidron I. — Appl. Phys. Lett., 1980, v. 36, N 6, p. 466—468.
- [3] Williams G. M., Gertner E. R. — Electron. Lett., 1980, v. 16, N 22, p. 839—842.
- [4] Schiebel R. A. — Proc. IEDM (Washington), 1983, p. 711—714.
- [5] Sacamoto K., Okabe Y. — Japan. J. Appl. Phys., 1986, v. 25, N 3, p. 444—449.
- [6] Anderson W. W. — Appl. Phys. Lett., 1982, v. 41, N 11, p. 1080—1083.
- [7] Зи С. М. Физика полупроводниковых приборов. М., 1984. 455 с.
- [8] Dornhaus R., Nimtz G. Springer Tracts in Modern Physics, № 98. Berlin, 1983. 211 p.

Получена 24.03.1987
Принята к печати 30.04.1987

