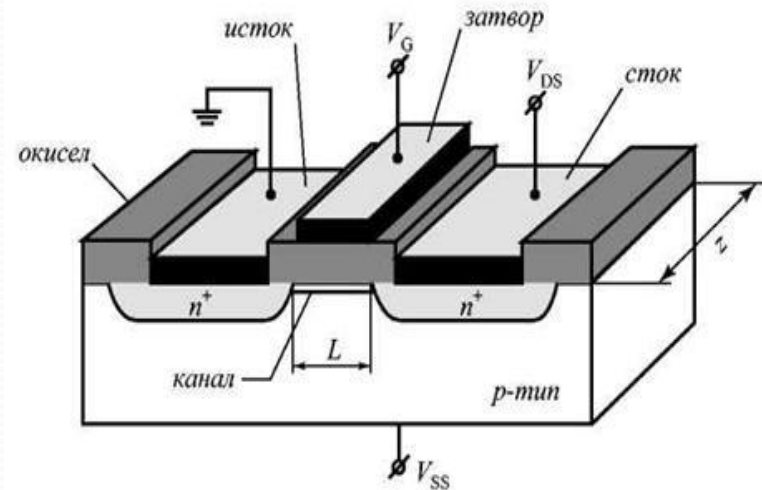


Расчет параметров кремниевое интегрального N- канального МДП-транзистора

МДП-транзистор

Физической основой работы МДП-транзистора является эффект поля, который состоит в изменении концентрации свободных носителей заряда в приповерхностной области полупроводника под действием внешнего электрического поля. В структурах МДП внешнее поле обусловлено приложенным напряжением на металлический электрод (затвор) относительно полупроводниковой подложки.



Преимущества МДП-транзистора

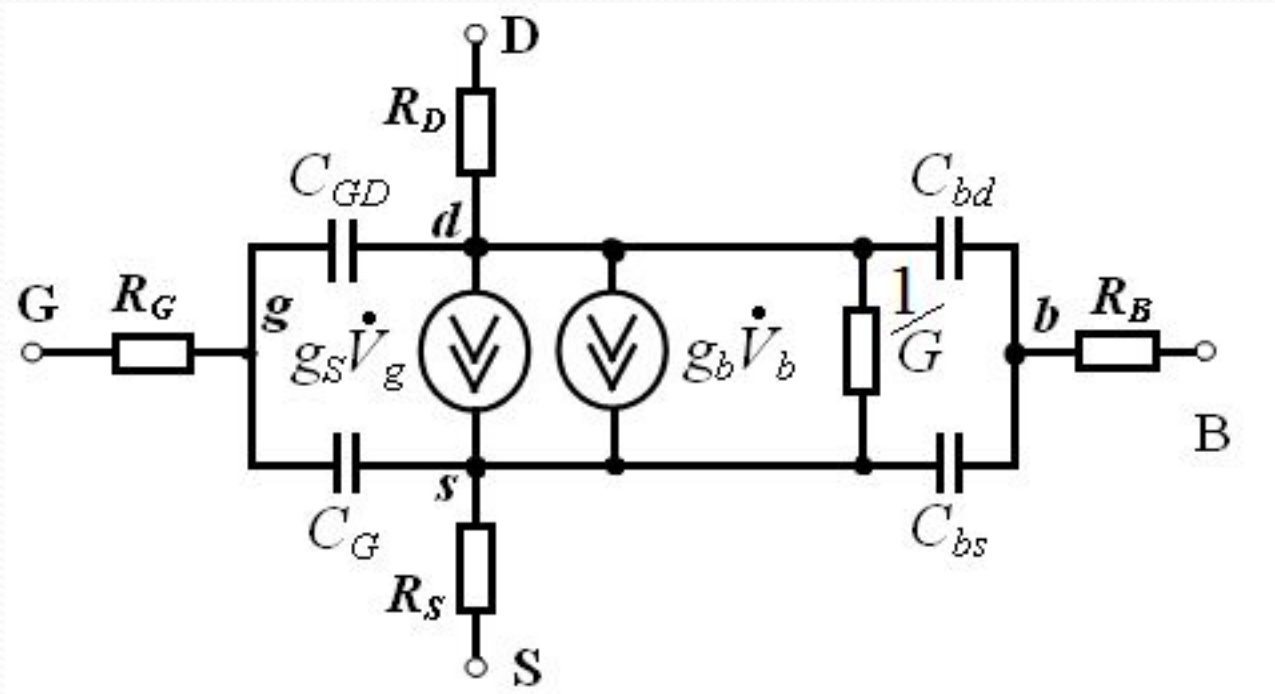
По сравнению с другими полупроводниковыми приборами, такими как биполярные транзисторы или тиристоры, МОП-транзисторы обладают следующими преимуществами:

1. Малое время переключения и, вследствие этого, малые потери при переключении;
2. Малая мощность, затрачиваемая на переключение;
3. Возможность использования хорошо отработанных технологий производства МОП-интегральных схем.

Применение и перспективы

- Благодаря своим уникальным свойствам, МДП-транзистор нашел широкое применение в различной электронной аппаратуре. Инновационным направлением в современной электронике является использование силовых IGBT-модулей для работы в различных цепях, в том числе, и индукционных.
- Технология их производства постоянно совершенствуется. Ведутся разработки по масштабированию (уменьшению) длины затвора. Это позволит улучшить и эксплуатационные параметры прибора.

Малосигнальная эквивалентная схема



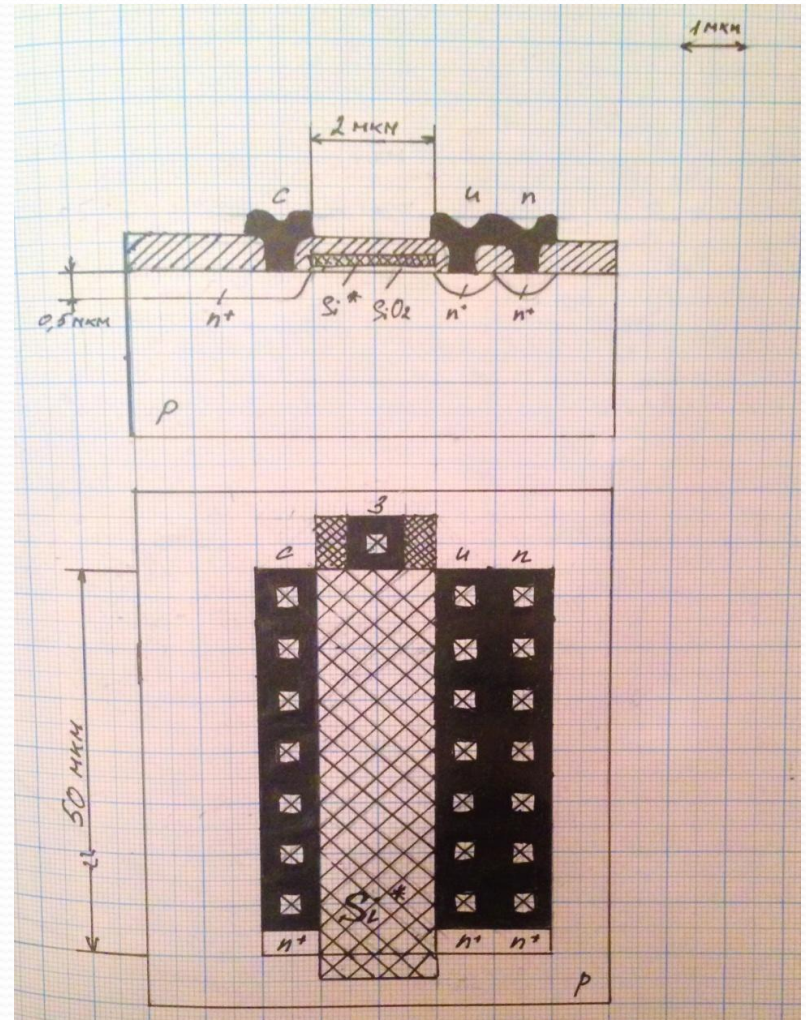
Топология n-канального МДП транзистора

Данные из варианта:

$$L = 2, \text{ мкм}$$

$$W = 50, \text{ мкм}$$

$$x_j = 0.5, \text{ мкм}$$



Обеспечение порогового напряжения $V_t = +1$ В.

$$V_{t0} = \varphi_{GB} + 2\varphi_B - \frac{Q_{SS} + Q_{sB0}}{C_S} =$$

$$= -0,885 + 2 \cdot 0,325 - \frac{-2,98 \cdot 10^{-8} + 0,648 \cdot 10^{-8}}{4,3 \cdot 10^{-8}} = 0,307 \text{ В}$$

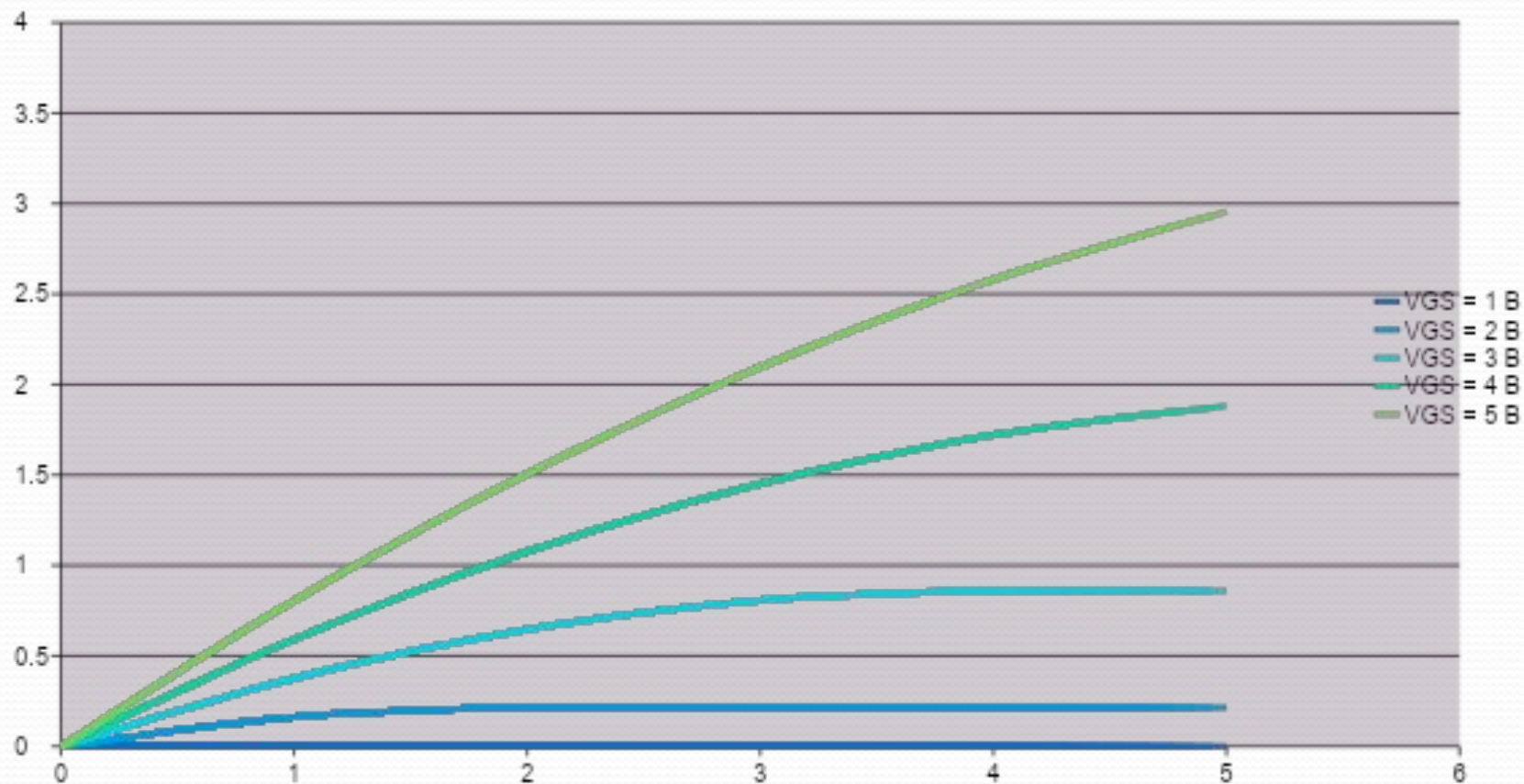
Для обеспечения величины порогового напряжения +1 В необходимо увеличить его на $\Delta V_{t0} = +1 - 0,307 = 0,693$

Если затвор сделать из p^+ -Si, то получим $\Delta V_{t0} = 0,307 + 1,12 = 1,427$ В

Остается добавить $\Delta V_t = +1 - 1,427 = -0,427$

Так как эта величина отрицательная, то под затвором необходимо выполнить подлегирование поверхности примесью n-типа (мелкими донорами) на глубину $\Delta x = 0,1 \cdot x_j = 0,1 \cdot 0,5 = 0,05$ мкм $< l_{t0}$

Выходные характеристики при $V_{BS} = 0$ В
в диапазоне напряжений: $V_{DS} = 0 - 5$ В;



Расчет ВАХ с учетом неоднородности ОПЗ под затвором

● Крутая область ВАХ:

Расчет для: $V_{BS} = 0$ $V_{GS} = 4\text{В}$

$$K_B = \frac{\sqrt{2\varepsilon\varepsilon_0 e N_B}}{C_S} = \frac{\sqrt{2 \cdot 11,9 \cdot 8,85 \cdot 10^{-14} \cdot 1,62 \cdot 10^{-19} \cdot 4 \cdot 10^{15}}}{4,3 \cdot 10^{-8}} = 0,859 \text{ В}^{1/2}$$

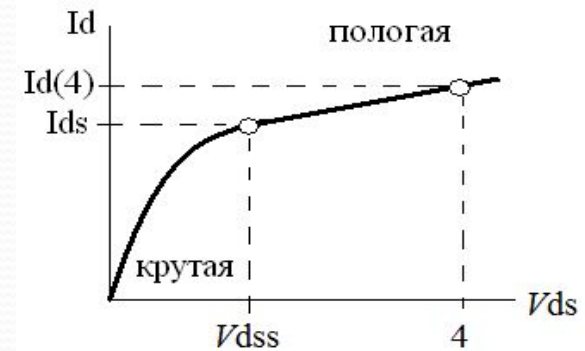
$$V_{DSS} = V_{GS} - V_t - \xi K_B^2 \left[\sqrt{1 + \frac{V_{GS} - V_t}{\xi^2 K_B^2}} - 1 \right] = 2,234\text{В}$$

$$I_D = \beta V_{DS} \left(V_{GS} - V_t - \frac{V_{DS}}{2} \right) - \beta K_B \left[\frac{2}{3} \left[(2\varphi_B - V_{BS} + V_{DS})^{\frac{3}{2}} - (2\varphi_B - V_{BS})^{\frac{3}{2}} \right] - V_{DS} \sqrt{2\varphi_B - V_{BS}} \right] = 1,397\text{мА}$$

Расчет ВАХ с учетом неоднородности ОПЗ под затвором

● Пологая область ВАХ:

- Рассчитывается эффективная длина канала с учетом насыщения дрейфовой скорости носителей в канале и модуляции длины канала
- Рассчитывается ток стока с учетом предыдущего пункта при $V_{DS}=4B$
- Пологая область ВАХ строится как линия, проходящая через точки (V_{DSS}, I_{DS}) и $(4, I_D(4))$



$$L_{ef} = 2 \cdot 10^{-4} - \sqrt{\frac{1,01 \cdot 10^{-4} \cdot 0,07 \cdot 10^{-4} \cdot 11,9}{3,4}} \operatorname{arsh} \left(\frac{4 - 2,234}{1,5 \cdot 10^4} \sqrt{\frac{3,4}{1,01 \cdot 10^{-4} \cdot 0,07 \cdot 10^{-4} \cdot 11,9}} \right) = 1,21 \cdot 10^{-4} \text{ см}$$

Ток стока при $V_{DS}=4B$:

$$I_D = \frac{I_{DS} L}{L_{ef}} = \frac{1,397 \cdot 2 \cdot 10^{-4}}{1,21 \cdot 10^{-4}} = 2,309 \text{ мА}$$

Расчет и корректировка порогового напряжения с учетом эффектов короткого и узкого канала

С учетом эффекта короткого канала изменение порогового напряжения рассчитывается по формуле :

$$\Delta V_T = -\frac{eN_B l_T}{2LC_S} \left(\sqrt{(x_j + l_s)^2 - l_T^2} + \sqrt{(x_j + l_D)^2 - l_T^2} - 2x_j \right) = -0,238 \text{ В}$$

С учетом эффекта узкого канала изменение порогового напряжения рассчитывается по формуле :

$$\Delta V_T = \pm \frac{\pi \epsilon d}{\epsilon_d W} (2\phi_B + V_{BS}) = 0,01 \text{ В}$$

С учетом эффектов короткого и узкого канала получим изменение порогового напряжения : $\Delta V_T = 0,228 \text{ В}$

Расчет реальной ВАХ, при

$$V_{BS} = -2V$$

Крутая область ВАХ:

Расчет для: $V_{BS} = -2$ $V_{GS} = 4V$

$$K_B = \frac{\sqrt{2\varepsilon\varepsilon_0 e N_B}}{C_S} = 0,859 \text{ В}^{1/2}$$

$$V_{DSS} = 4 - 1 - 2,395 \cdot 0,859^2 \left[\sqrt{1 + \frac{4 - 1}{2,395^2 \cdot 0,859^2}} - 1 \right] = 2,457V$$

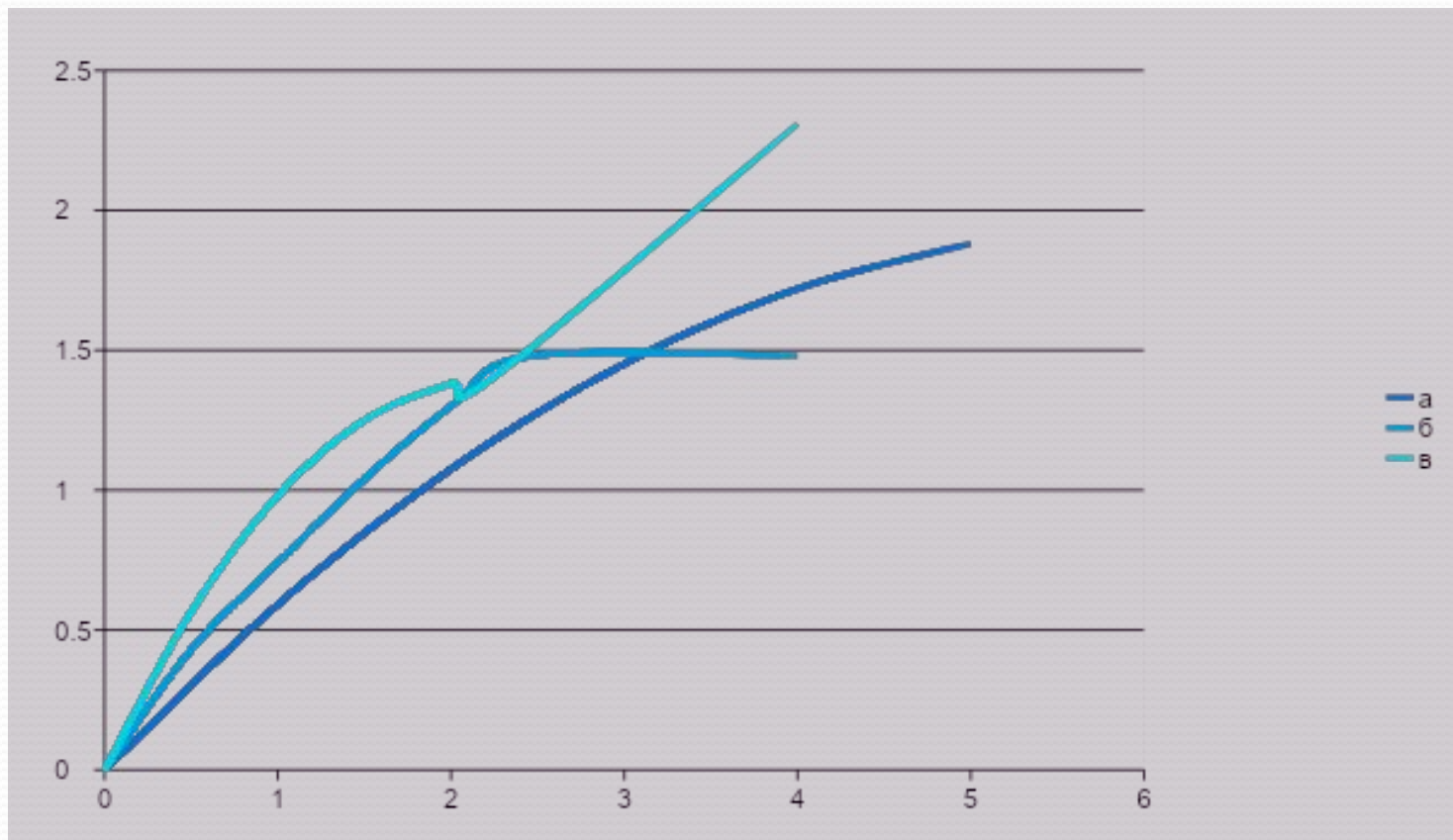
$$I_{DS} = 430 \cdot 10^{-6} \cdot 2,457 \left(4 - 1 - \frac{2,457}{2} \right) - 430 \cdot 10^{-6} \cdot 0,859 \left[\frac{2}{3} \left[(2 \cdot 0,325 + 2 + 2,457)^{\frac{3}{2}} - (2 \cdot 0,325 + 2)^{\frac{3}{2}} \right] - 2,457 \sqrt{2 \cdot 0,325 + 2} \right] = 1,48 \text{ mA}$$

Пологая область ВАХ:

$L_{ef} = 2 \cdot 10^{-4}$ см — эффективная длина канала.

Ток стока при $V_{DS} = 4V$:
$$I_D = \frac{I_{DS} L}{L_{ef}} = \frac{1,48 \cdot 2 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 10^{-4}} = 1,48 \text{ mA}$$

ВАХ транзистора, рассчитанные при $V_{GS} = 4V$ с учетом различных приближений: а) идеальная модель, $V_{BS} = 0V$; б) реальная модель, $V_{BS} = 0V$; в) реальная модель, $V_{BS} = -2V$



Расчет параметров эквивалентной СХЕМЫ

Крутизна ВАХ:

$$g = \frac{\partial I_D}{\partial V_{gs}} = \frac{\beta \cdot \frac{(4 - V_t)^2}{2} - \beta \cdot \frac{(3 - V_t)^2}{2}}{4 - 3}$$

$$g = \frac{430 \cdot 10^{-6} \frac{(4 - 1)^2}{2} - 430 \cdot 10^{-6} \frac{(3 - 1)^2}{2}}{4 - 3} = 1,075 \text{ mA/V}$$

Выходная проводимость:

$$G = \frac{\partial I_D}{\partial V_{ds}} = \beta \cdot \frac{(3 - V_t)^2}{3 - 2 \cdot \varphi_B}$$

$$G = 430 \cdot 10^{-6} \frac{(3 - 1)^2}{3 - 2 \cdot 0,325} = 0,366 \text{ mA/V}$$

Собственный коэффициент усиления
по напряжению:

$$K = \frac{\partial V_{ds}}{\partial V_{gs}} = \frac{g}{G} = \frac{1,075}{0,366} = 2,94$$

Результаты

| | | |
|----|--|--|
| 1 | Потенциал подложки | $\varphi_B = 0,325B$ |
| 2 | Контактная разность потенциалов | $\varphi_{GB} = -0,885 B$ |
| 3 | Удельная емкость диэлектрика | $C_S = 4,3 \cdot 10^{-8} \text{ Ф/см}^2$ |
| 4 | Пороговое напряжение | $V_{t0} = 0,307B$ |
| 5 | Необходимая доза подлегирования | $D = 1,13 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$ |
| 6 | Крутизна | $\beta = 430 \cdot 10^{-6} A/B^2$ |
| 7 | Коэффициент влияния подложки | $K_B = 0,859 B^{1/2}$ |
| 8 | Толщина ОПЗ под затвором | $l_T = 0,46 \text{ мкм}$ |
| 9 | Толщина ОПЗ под истоком | $l_S = 0,543 \text{ мкм}$ |
| 10 | Толщина ОПЗ под стоком | $l_D = 1,01 \text{ мкм}$ |
| 11 | Пороговое напряжение с учетом эффектов короткого и узкого канала | $\Delta V_T = 0,01B$ |
| 12 | Крутизна ВАХ | $g = 1,075 \text{ мА/В}$ |
| 13 | Выходная проводимость | $G = 0,366 \text{ мА/В}$ |
| 14 | Коэффициент усиления по напряжению | $K = 2,94$ |