

Практическая часть

Часть 1. Базовые технологические процессы изготовления активных элементов твердотельной электроники

Часть 2. Активные элементы интегральных микросхем

1. Рассчитать пороговое напряжение $U_{\text{пор}}$ и сдвиг $U_{\text{пор}}$ в короткоканальном МОПТ $\Delta U_{\text{пор}}$. Задано: материал – кремний; толщина подзатворного диэлектрика SiO_2 $d = 40$ нм; подложка p -типа с концентрацией примеси $N_a(N_p) = 10^{16} \text{ см}^{-3}$; плотность поверхностных состояний $N_{\text{пс}} = 10^{10} \text{ см}^{-2}$; длина канала $L = 1,5$ мкм; концентрация примеси в истоке и стоке $N_d = 10^{21} \text{ см}^{-3}$; глубина переходов истока и стока $X_{d_i} = 1,5$ мкм; поверхностный потенциал $\phi_s = 0,02$ В; напряжение подложка – исток $U_{\text{пи}} = 0$ В; затвор поликремниевый p -типа; температура $T = 300$ К; напряжение на стоке $U_{\text{си}} = 5$ В.

2. Рассчитать сплавной выпрямительный диод. Задано: прямое падение напряжения $U_{\text{пр}} = 0,8$ В; максимальное обратное напряжение $U_{\text{обратн}} = 150$ В; прямой допустимый ток $I_{\text{прдоп}} = 5$ А; диапазон температур окружающей среды составляет от минус 70 до плюс 140 °С. Определить или выбрать: исходный полупроводниковый материал; концентрацию примесей в n -базе; марку полупроводникового материала; ток генерации при $U = 0$; тепловое сопротивление переход – корпус R_t при температуре $T = 300$ К.

3. Рассчитать крутизну S n -канального МОПТ для пологой части выходной ВАХ при напряжении затвор – исток $U_{\text{зи}} = 3U_{\text{пор}}$. Задано: материал – кремний; толщина подзатворного диэлектрика SiO_2 $d = 40$ нм; концентрация примеси в подложке $N_p = 10^{16} \text{ см}^{-3}$; плотность поверхностных состояний $N_{\text{пс}} = 10^{10} \text{ см}^{-2}$; эффективная подвижность электронов в канале $\mu_{\text{эф}} = 400 \text{ см}^2 / \text{В} \cdot \text{с}$; длина канала $L = 3$ мкм; ширина канала $Z = 10$ мкм; температура $T = 300$ К; затвор – алюминий.

4. Рассчитать коэффициент инжекции эмиттера биполярного транзистора с учетом эффектов высокого уровня легирования. Задано: концентрация донорной примеси в эмиттере $N_{d\text{Э}} = 10^{21} \text{ см}^{-3}$; концентрация примеси в базе $N_{a\text{Б}} = 10^{17} \text{ см}^{-3}$; ширина базы и эмиттера $W_{\text{Э}} = W_{\text{Б}} = 1$ мкм; температура $T = 300$ К.

5. Рассчитать пороговое напряжение $U_{\text{пор}}$ p -канального МОПТ с затвором из n -поликремния. Задано: материал – кремний; концентрация примеси в подложке $N_p = 10^{16} \text{ см}^{-3}$; плотность поверхностных состояний $N_{\text{пс}} = 10^{10} \text{ см}^{-2}$; толщина подзатворного диэлектрика SiO_2 $d = 40$ нм; температура $T = 300$ К.

6. Рассчитать частоту отсечки f_T n -канального МОПТ с алюминиевым затвором при напряжении затвор – исток $U_{зи} = 2U_{пор}$. Задано: материал – кремний; концентрация примеси в подложке $N_{\pi} = 10^{16} \text{ см}^{-3}$; плотность поверхностных состояний $N_{\text{пс}} = 10^{10} \text{ см}^{-2}$; толщина подзатворного диэлектрика SiO_2 $d = 40 \text{ нм}$; подвижность носителей в канале $\mu = 500 \text{ см}^2 / \text{В} \cdot \text{с}$; длина канала $L_k = 1,5 \text{ мкм}$; температура $T = 300 \text{ К}$.

7. Рассчитать пороговое напряжение узкоканального n -МОПТ с алюминиевым затвором. Задано: материал – кремний; концентрация примеси в подложке $N_{\pi} = 10^{16} \text{ см}^{-3}$; плотность поверхностных состояний $N_{\text{пс}} = 10^{10} \text{ см}^{-2}$; толщина подзатворного диэлектрика SiO_2 $d = 40 \text{ нм}$; длина канала $L_k = 1 \text{ мкм}$; ширина канала $Z = 0,5 \text{ мкм}$; температура $T = 300 \text{ К}$.

8. Рассчитать напряжение лавинного пробоя короткоканального МОПТ. Задано: материал – кремний; подложка p -типа с концентрацией примеси $N_{\pi} = 10^{16} \text{ см}^{-3}$; длина канала $L = 1,5 \text{ мкм}$; время жизни дырок в канале $\tau = 10^{-7} \text{ с}$; коэффициент $n = 4$; температура $T = 300 \text{ К}$.

9. Рассчитать частоту отсечки f_T кремниевого биполярного n - p - n транзистора. Задано: концентрации примесей в эмиттере, базе и коллекторе $N_{d\text{э}} = 10^{20} \text{ см}^{-3}$; $N_{a\text{б}} = 10^{17} \text{ см}^{-3}$; $N_{d\text{к}} = 10^{20} \text{ см}^{-3}$, соответственно; площадь эмиттера и коллектора $S_{\text{э}} = S_{\text{к}} = 10^{-3} \text{ см}^2$; ширина базы $W_{\text{б}} = 1 \text{ мкм}$; время жизни электронов в базе $\tau_n = 10^{-7} \text{ с}$; сопротивление базы $R_{\text{б}} = 300 \text{ Ом}$; ток эмиттера $I_{\text{э}} = 1 \text{ мА}$; температура $T = 300 \text{ К}$.

10. Рассчитать время пролета через базу n^+ - p - n^+ с учетом эффекта Кирка. Задано: материал – кремний; плотность тока коллектора $J_{\text{к}} = 2 \cdot 10^5 \text{ А/см}^2$; ширина базы $W_{\text{б}} = 1 \text{ мкм}$; концентрация примеси в базе $N_{a\text{б}} = 10^{17} \text{ см}^{-2}$; время жизни электронов в базе $\tau_{\pi} = 10^{-7} \text{ с}$; концентрация примеси в коллекторе $N_{d\text{к}} = 10^{20} \text{ см}^{-3}$; напряжение коллектор – база $U_{\text{кб}} = 20 \text{ В}$. Температура $T = 300 \text{ К}$.

11. Рассчитать величину приращения электронейтральной базы $W_{\text{б-к}}$ при больших плотностях коллекторного тока $J_{\text{к}}$ кремниевого n^+ - p - n^- - n^+ -транзистора. Задано: концентрация примеси в ν -области $N_d = 10^{15} \text{ см}^{-3}$; ширина ν -области $W_{\nu} = 10 \text{ мкм}$; плотность тока коллектора $J_{\text{к}} = 5 \cdot 10^4 \text{ А/см}^2$; напряжение коллектор – база $U_{\text{кб}} = 20 \text{ В}$; температура $T = 300 \text{ К}$.

12. Рассчитать напряжение сквозного обеднения n -канального МОПТ. Задано: материал – кремний; толщина подзатворного диэлектрика SiO_2 $d = 40 \text{ нм}$; концентрация примеси в подложке $N_{\pi} = 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$; плотность поверхностных состояний $N_{\text{пс}} = 10^{10} \text{ см}^{-2}$; длина канала $L = 1,5 \text{ мкм}$; температура $T = 300 \text{ К}$.

13. Определить толщину высокоомного слоя $\Delta_{\text{хв}}$, концентрацию примеси N_d и удельное сопротивление ρ_n эпитаксиального слоя в МДП-транзисторе с вертикальным каналом. Задано: материал – кремний, напряжение источника

питания $E_c = 25$ В; напряжение на стоке открытого транзистора $U_{ост} = 3$ В; температура $T = 300$ К.

14. Определить величину тока стока n -канального МОПТ на крутом участке выходной ВАХ с учетом поперечного и продольного электрических полей. Задано: материал – кремний; толщина подзатворного диэлектрика SiO_2 $d = 40$ нм; длина канала $L = 2$ мкм; величина порогового напряжения $U_{пор} = 1$ В; напряжение затвора $U_{зи} = 2$ В; напряжение на стоке $U_{си} = 1,5$ В, концентрация примеси в подложке $N_a = 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$; температура $T = 300$ К.

15. Определить величину тока диода Шоттки при напряжении $U = 0,3$ В. Задано: диод Al -кремний n -типа; постоянная Ричардсона $A^+ = 7 \text{ А/см}^2 \cdot \text{К}^2$; площадь контакта металл – полупроводник $S = 10^{-3} \text{ см}^2$; высота барьера Шоттки $\phi_{\text{А}} = 0,8$ эВ; коэффициент неидеальности $n = 1,1$; температура $T = 300$ К.

16. Рассчитать пороговое напряжение полевого транзистора с управляющим p - n -переходом. Задано: материал арсенид-галлия; транзистор p -канальный; концентрации примеси в подложке и затворе $N_{\text{ап}} = 10^{16} \text{ см}^{-3}$ и $N_{\text{аз}} = 10^{21} \text{ см}^{-3}$, соответственно; толщина канала $d = 0,5$ мкм, температура $T = 300$ К.

17. Рассчитать величину концентрации примеси в подложке n -канального МОПТ. Задано: материал – кремний; толщина подзатворного диэлектрика SiO_2 $d = 40$ нм; плотность поверхностных состояний $N_{\text{пс}} = 10^{10} \text{ см}^{-2}$; материал затвора – алюминий; температура $T = 300$ К; напряжение плоских зон $U_{\text{пз}} = 1,3$ В.

18. Определить марку кремния для i -области СВЧ переключательного диода с p - i - n -структурой. Задано: полупроводниковый материал – кремний; барьерная емкость $C_{\text{бар}} = I_{\text{пф}}$; сопротивление i -области $R_i = 100$ Ом.

19. Рассчитать площадь и прямой допустимый ток СВЧ переключательного диода с p - i - n -структурой. Задано: полупроводниковый материал – кремний; обратное напряжение $U_{\text{обр}} = 60$ В; барьерная емкость $C_{\text{бар}} = 1$ пф; концентрация примеси в i -области. $N_d = 5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$; температура $T = 300$ К.

20. Рассчитать диффузионную емкость диода $C_{\text{диф}}$. Задано: материал – кремний; удельное сопротивление эмиттерной области $\rho_3 = 0,01$ Ом \cdot см; концентрация примеси в p -базе $N_a = 10^{16} \text{ см}^{-3}$; ширина эмиттера и базы $W = 1$ мкм, площадь $S = 10^{-3} \text{ см}^2$; температура $T = 300$ К.

21. Рассчитать постоянную перезаряда барьерной емкости диода Шоттки τ при тепловом равновесии $C_{\text{бар}}(0)$. Задано: материал – арсенид – галлия; концентрация примеси в полупроводнике $N_d = 10^{16} \text{ см}^{-3}$; площадь контакта $S = 10^{-4} \text{ см}^2$; высота барьера Шоттки $\phi_{\text{ФБ}} \rightarrow 0,8$ эВ; сопротивление базы $R_{\text{Б}} = 5$ Ом; температура $T = 300$ К.

22. Определить величину приращения электронейтральной базы ΔW_B мощных $n^+ - p - n^+$. Задано: материал – кремний; напряжение коллектор – база $W_{KB} = 30$ В; концентрация примеси в базе $N_{aB} = 10^{13} \text{ см}^{-3}$; плотность тока коллектора $J_k = 1,6 \cdot 10^6 \text{ А/см}^2$; температура $T = 300 \text{ К}$.

23. Определить добротность Q -варикапа. Задано: материал – арсенид-галлия; частота $f = 10 \text{ МГц}$; концентрация примеси в n -базе $N_d = 10^{16} \text{ см}^{-3}$; толщина базы $W_B = 10 \text{ мкм}$; площадь варикапа $S = 10^{-3} \text{ см}^2$; обратное напряжение $U_{обр} = 5 \text{ В}$; температура $T = 300 \text{ К}$.

24. Определить коэффициент перекрытия по емкости варикапа K . Задано: материал – кремний; концентрация примеси в эмиттере $N_a = 10^{20} \text{ см}^{-3}$; концентрация примеси в базе $N_d = 10^{16} \text{ см}^{-3}$; величины максимального и минимального обратных напряжений $U_{\max} = 10 \text{ В}$ и $U_{\min} = 1 \text{ В}$, соответственно; база легирована равномерно; температура $T = 300 \text{ К}$.

25. Определить минимальную площадь эмиттера мощного биполярного транзистора. Задано: материал – кремний; максимальный ток коллектора $I_k = 5 \text{ А}$; коэффициент передачи тока эмиттера $\alpha_N = 0,99$; концентрации примесей в эмиттере и базе $N_{dэ} = 10^{20} \text{ см}^{-3}$ и $N_{aБ} = 10^{17} \text{ см}^{-3}$; падение напряжения на переходе эмиттер – база $U_{эБ} = 0,7 \text{ В}$; температура $T = 300 \text{ К}$.