

Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"
Факультет Електроніки
Кафедра мікроелектроніки

ЗВІТ
Про виконання курсової роботи
з дисципліни: «Твердотільна електроніка-2»

Варіант №50

Виконавець:
Студент 3-го курсу

(підпис)

А. С. Мнацаканов

Перевірив:

(підпис)

Л. М. Королевич

Завдання

розрахувати порогові напруги транзисторів мікросхеми

Виконання завдання

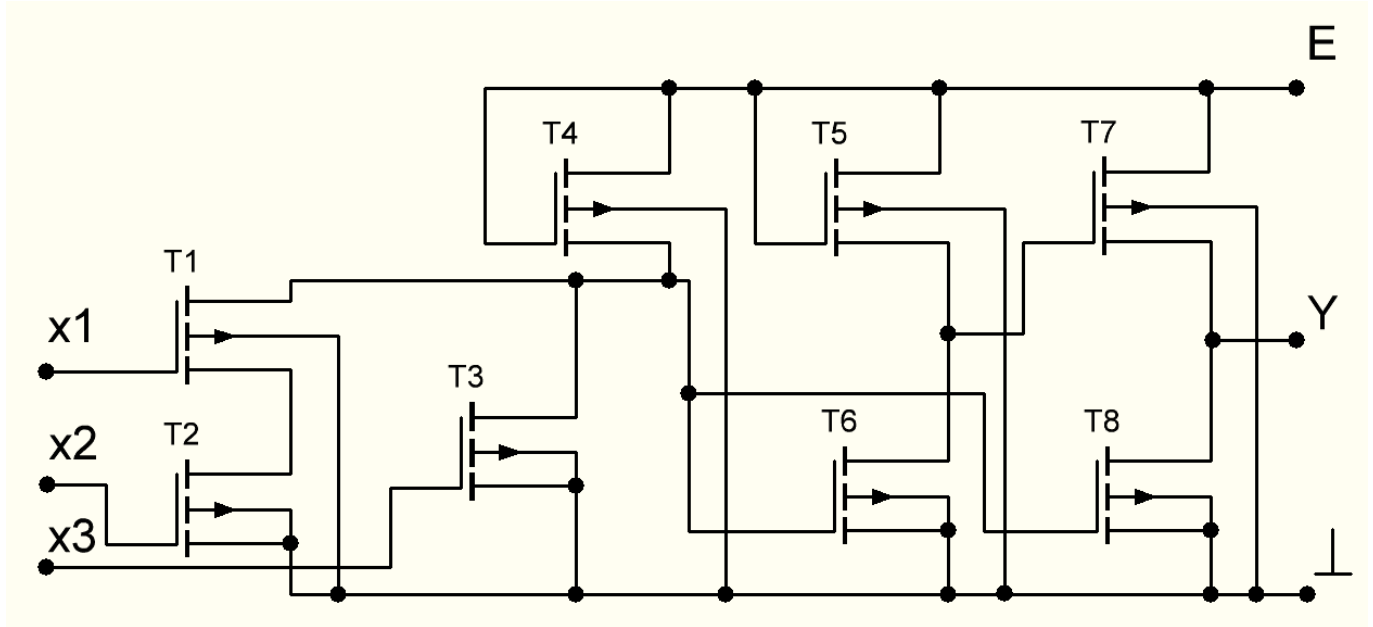


Рис. 1: Прототип схеми.

Треба записати формулу для пошуку порогової напруги. За варіантом у мене КЕФ, тому формула буде наступною:

$$U_{nop}^0 = \phi_{MS} - \frac{q \cdot N_{SS}}{C_{ox}} - 2 \cdot \phi_F - \frac{\sqrt{2 \cdot q \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_S \cdot N_B}}{C_{ox}} \cdot \sqrt{|2 \cdot \phi_F + U_n|} \quad (1)$$

У цій формулі дано майже все, а точніше: $N_{SS} = 7,3 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$, $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-14} \text{ Ф/см}$, $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$, $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$, $T = 300 \text{ К}$, $n_i = 1,45 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$, $\varepsilon_S = 11,8$ Питома ємність шукається як

$$C_{ox} = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{ox} / d_{ox} = \frac{8,85 \cdot 10^{-14} \cdot 3,9}{10^{-5}} = 3,45 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Ф}}{\text{см}^2} \quad (2)$$

Рівень Фермі у об'ємі кремнію:

$$\phi_F = \left(\frac{k_B \cdot T}{q} \right) \cdot \ln \left(\frac{N_B}{n_i} \right) \quad (3)$$

І невідома сама концентрація N_B , тому користуємось наступною ф-ю:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = q \cdot n \cdot \mu_n|_{n=N_B} \Rightarrow n = \frac{1}{\rho \cdot q \cdot \mu_n} = \frac{1}{5,1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1500} \approx 8,3 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$$

у формулі бело взято, що $\rho = 5 \text{ Ом}\cdot\text{см}$, $N_B = 8,3 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$

Тобто, рівень Фермі тоді буде:

$$\phi_F = \left(\frac{k_B \cdot T}{q} \right) \cdot \ln \left(\frac{N_B}{n_i} \right) = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{1,6 \cdot 10^{-19}} \cdot \ln \left(\frac{8,3 \cdot 10^{14}}{1,45 \cdot 10^{10}} \right) = 0,283 \text{ В}$$

За допомогою таблички з методички (сторінка 9, таблиця 1) визначив різниця робіт виходу металу затвору і напівпровідникової підкладки, що для моєї концентрації цей параметр буде близько $\phi_{MS} = -0,31 \text{ В}$ (якщо $10^{14} = -0,36$, а $10^{15} = -0,30$, то $8,3 \cdot 10^{14}$ приблизно буде $-0,31$) Тепер треба вказати напруги між витком і підкладкою для кожного транзистора, маючи за умовою, що $U^0 = -1,1 \text{ В}$ та $U^1 = -10 \text{ В}$. За умовою у мене з +, але так як підкладка КЕФ, то беремо з мінусом. Якщо витік і підкладка виведені на спільний вивід, то напруга дорівнюватиме нулю. Якщо НЕ підключені до спільного виводу, то там буде логічний нуль (-1.1 В). Але, у мене в схемі транзистор Т1 і Т2 послідовно з'єднані, через що напруга буде розбиватися на два транзистора, і тоді на транзисторі Т1 буде половина напруги логічного нуля. Тобто:

$$\text{Для Т2, Т3, Т6, Т8 : } U_n = 0 \text{ В, } U_{\text{нор}} = -4,63 \text{ В}$$

$$\text{Для Т4, Т5, Т7 : } U_n = -1,1 \text{ В, } U_{\text{нор}} = -4,33 \text{ В}$$

$$\text{Для Т1: } U_n = -1,1/2 = -0,55 \text{ В, } U_{\text{нор}} = -4,62 \text{ В}$$

Далі порахуємо «ідеальну» порогову напругу:

$$U_{\text{ідеал пор}} = (U^1 + U^0) / 2 = (-10 - 1,1) / 2 = -5,55 \text{ В}$$

Тепер треба проаналізувати, чи можна такі порогові напруги мати, чи їх треба змінювати (в ідеалі, похибка мусить бути в районі менше 10%, тоді можна спокійно подавати таку напругу). Шукаємо абсолютні похибки:

$$U_n = 0$$

$$\Delta U_{\text{нор}} = -5,55 + 4,63 = -0,92 \text{ В}$$

$$\delta = 100 \cdot |0,92/4,63| = 20\%$$

$$U_n = -1,1$$

$$\Delta U_{\text{нор}} = -5,55 + 4,33 = -1,22 \text{ В}$$

$$\delta = 100 \cdot |1,22/4,33| = 28\%$$

$$U_n = -0,55$$

$$\Delta U_{\text{нор}} = -5,55 + 4,62 = -0,93 \text{ В}$$

$$\Delta U_{\text{нор}} = -5,55 + 4,62 = -0,93 \text{ В}$$

$$\delta = 100 \cdot |0,93/4,62| \approx 20\%$$

Підлеговування треба, тому шукаємо дозу легування за ф-ю $D = \Delta U_{\text{нор}} \cdot C_{\text{ox}}$
 $U_n = 0$

$$D = 0,92 \cdot 3,45 \cdot 10^{-8} \approx 0,03 \text{ мкКл/см}^2$$

$$U_n = -1,1$$

$$D = 1,22 \cdot 3,45 \cdot 10^{-8} \approx 0,04 \text{ мкКл/см}^2$$

$$U_n = -0,55$$

$$D = 0,93 \cdot 3,45 \cdot 10^{-8} \approx 0,03 \text{ мкКл/см}^2$$

Ну і далі підлеговуємо. Для цього додаємо до обрахованої порогової доданок:

$$U_n = 0$$

$$U'_{\text{пор}} = U_{\text{пор}} + \frac{D}{C_{ox}} = -4,63 - \frac{0,03}{3,45 \cdot 10^{-8}} = -5,5 \text{ В}$$

$$U_n = -1,1$$

$$U'_{\text{пор}} = U_{\text{пор}} + \frac{D}{C_{ox}} = -4,33 - \frac{0,04}{3,45 \cdot 10^{-8}} = -5,49 \text{ В}$$

$$U_n = -0,55$$

$$U'_{\text{пор}} = U_{\text{пор}} + \frac{D}{C_{ox}} = -4,62 - \frac{0,03}{3,45 \cdot 10^{-8}} = -5,49 \text{ В}$$

Тут треба ще раз порахувати похибки, побачити, що все входить у межі 10%. А далі треба сказати, що для того аби зекономити на процесі виготовлення, замість того аби робити два підлегування (з 0.03 і 0.04), можемо зробити одне, для чого візьмемо дозу 0.03, і знову порахуємо напруги (якщо похибка буде менше 10%, то тоді так і залишаємо, якщо більше, то тоді робимо два підлегування). Перераховувати для всього не обов'язково, оскільки для першого і третього я і так брав 0.03, тому перерахуємо тільки для 2.

$$U_n = -1,1$$

$$U'_{\text{пор}} = U_{\text{пор}} + \frac{D}{C_{ox}} = -4,33 - \frac{0,03}{3,45 \cdot 10^{-8}} = -5,2 \text{ В}$$

$$\delta = 100 \cdot |(-5,55 + 5,2)/(-5,2)| = 6,7\%$$

Похибка менше 10% для всіх трьох напруг, тобто достатньо і одного підлегування, що значно спростить технологію виготовлення.

Висновок

Стосовно легування, то доза легування не може бути від'ємною, але знак напруги визначатиметься від того, якою домішкою я буду підлеговувати. Тобто, у мене напруги були менші за «ідеальну» порогову напругу, тобто вони були недостатньо «електронні», якщо так можна сказати. Якби у мене порогова напруга була менша за ту, яка вийшла, тоді я мав би підлеговувати акцепторними домішками (р-тип), а оскільки навпаки, то треба n-тип. Поширеними є фосфор і миш'як, але я обираю фосфор, оскільки він більш поширений (але, усе залежить від того, хто буде проводити цю операцію).

№ Транзистора	U_{nop} , [В]	D, мкКл / см ²
T1	-4,62	0,03
T2	-4,68	0,03
T3	-4,68	0,03
T4	-4,33	0,03
T5	-4,33	0,03
T6	-4,68	0,03
T7	-4,33	0,03
T8	-4,68	0,03