

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 №22

Виконавець:

Студент 3-го курсу

\_\_\_\_\_

(підпис)

Б. В. Лищенко

Превірів:

\_\_\_\_\_

(підпис)

Л. М. Королевич

# Зміст

1	ВСТУП	1
2	ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ НА ПРОЕКТУВАННЯ	2
3	АНАЛІЗ СХЕМИ	3
4	РОЗРАХУНОК ПОРОГОВОЇ НАПРУГИ ІНТЕГРАЛЬНИХ КОМПОНЕНТІВ СХЕМИ	9
5	РОЗРАХУНОК РОЗМІРІВ ІНТЕГРАЛЬНИХ КОМПОНЕНТІВ СХЕМИ	13
6	РОЗРАХУНОК РОЗМІРІВ ПРИСТРОЮ ЗАХИСТУ ІНТЕГРАЛЬНИХ КОМПОНЕНТІВ СХЕМИ	16
7	ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ МДН ІС	20
8	ВИСНОВОК	22
9	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	23
10	ДОДАТОК А	24
11	ДОДАТОК Б	25

# Розділ 1

## ВСТУП

## Розділ 2

# ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ НА ПРОЕКТУВАННЯ

## Розділ 3

# АНАЛІЗ СХЕМИ

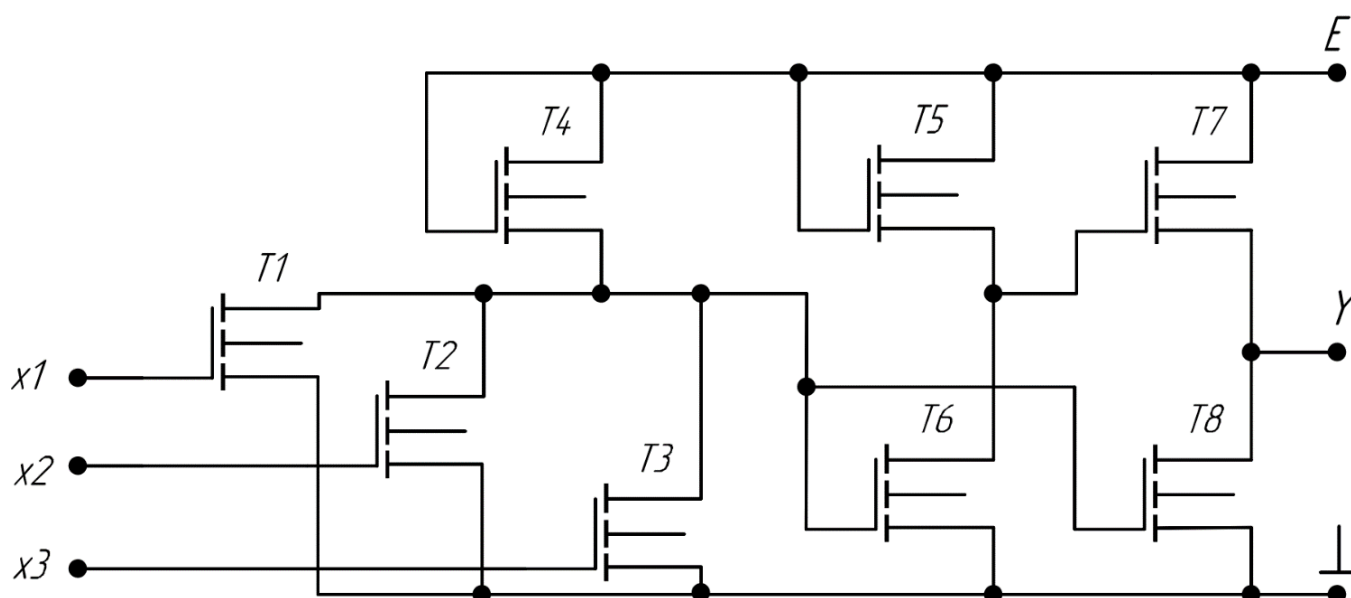


Рис. 3.1: Прототип схеми.

У мене за варіантом тип підкладки КЕФ, тобто п-тип підкладки, тоді і р-канал у транзисторах.

Тоді, можемо побудувати уже електричну схему на основі прототипу: Так як у нас інтегральна мікросхема, то треба аби всі підклади були підключені до спільного виводу.

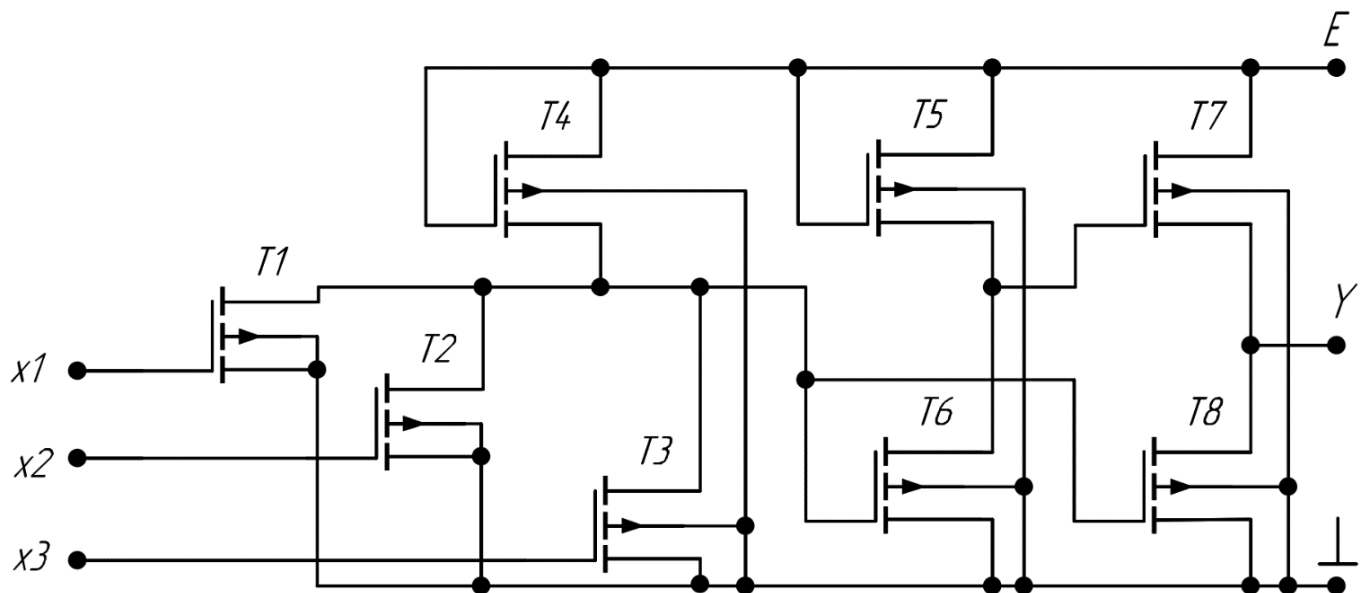


Рис. 3.2: Електрична схема на основі прототипу.

Далі переходимо до наступного завдання. Треба скласти таблицю істинності, але легше зробити розбивши схему на каскади. Розглядати будемо спрощену модель схеми, замінивши усі транзистори змінними резисторами, окрім  $T4$  і  $T5$ . Так як у них затвор під'єднаний до стоку, то ці транзистори будуть грати роль навантаження, тобто заміняємо їх звичайним резистором. Тоді, спрощена модель:

Бачимо, що у цій схемі всього три каскади. Розпочнемо з першого. У нас три змінних резистори, які можна об'єднати в один ( $R_1, R_2$  і  $R_3$ , так як паралельно підключені). Це виглядатиме так:

$$\frac{1}{R_{123}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}; \quad (3.1)$$

$$R_{123} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}; \quad (3.2)$$

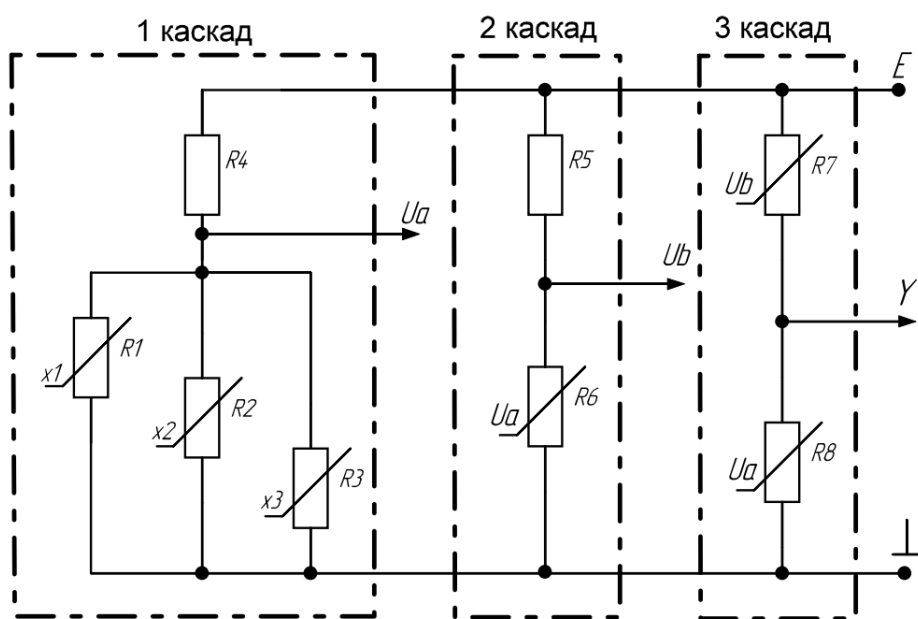
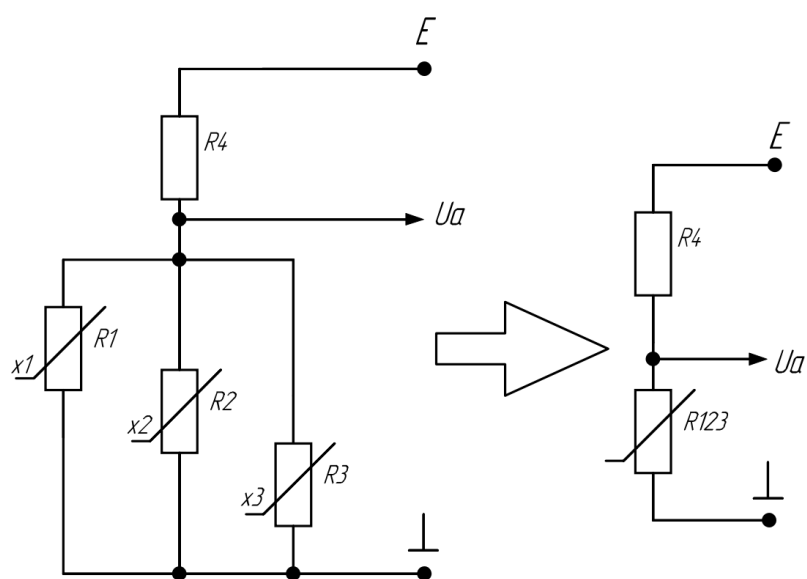


Рис. 3.3: Спрощена модель.



По нашому скороченню, у нас вийшов резистивний дільник напруги (по резисторам  $R_4$  і  $R_{123}$ ). Знаходимо напругу  $U_a$ .

$$U_a = \frac{R_{123}}{R_4 + R_{123}} \cdot E \quad (3.3)$$

По цих формулах уже можемо складати таблицю істинності для першого каскаду. Так як функція не є складною, можна одразу підставляти числа і шукати опір  $R_{123}$ .

Табл. 3.1: Таблиця опорів

$R_1$	1	1	1	1	0	0	0	0
$R_2$	1	1	0	0	1	1	0	0
$R_3$	1	0	1	0	1	0	1	0
$R_{123}$	1	0	0	0	0	0	0	0

1 – Це коли опір у нас наближається до нескінченності (якщо говорити за опори), а для напруг – коли вона більша за порогову напругу (коли транзистор відкритий), а 0 – це звичайний нуль, коли опір = 0, а напруга менша за порогову напругу. І підставляємо значення резисторів аби знайти  $U_a$ .

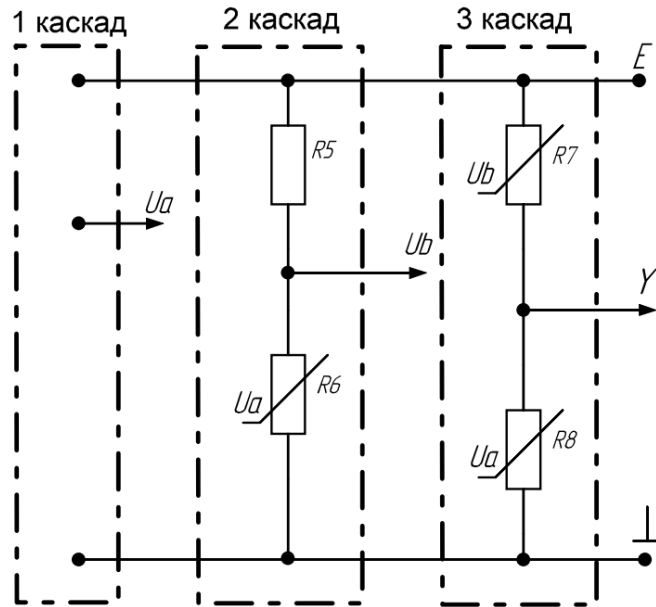
Тоді, загальна таблиця разом з  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  матиме вигляд:

Табл. 3.2: Загальна таблиця опорів

$R_1$	0	0	0	0	1	1	1	1
$R_2$	0	0	1	1	0	0	1	1
$R_3$	0	1	0	1	0	1	0	1
$U_a$	1	0	0	0	0	0	0	0

Усе, таблиця істинності 1 каскаду зроблена. Далі переходимо до 2 і 3 каскаду:





Тут два ділянки напруги (2 і 3 каскад відповідно). Можемо одразу скласти формули напруги для  $U_b$  та  $Y$ :

$$U_b = E \cdot \frac{R_6}{R_5 + R_6}$$

$$y = E \cdot \frac{R_8}{R_7 + R_8}$$

Складаємо таблицю істинності одразу для двох каскадів:

$U_a$	1	0
$R_6$	0	1
$U_b$	0	1
$R_7$	1	0
$R_8$	0	1
$Y$	0	1

Таблиця істинності 2 і 3 каскаду є. Тепер об'єднаємо таблиці істинності першого і другого – третього каскадів:

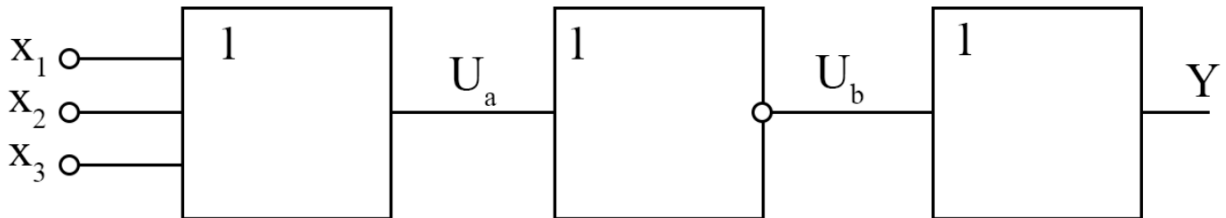
Ми побачили, що другий каскад інвертуючий, через що  $U_b$  має протилежні знаки відносно  $U_a$ , а третій каскад не є інвертуючим, тому і має те саме, що  $U_b$ .

X1	0	0	0	0	1	1	1	1
X2	0	0	1	1	0	0	1	1
X3	0	1	0	1	0	1	0	1
Ua	1	0	0	0	0	0	0	0
Ub	0	1	1	1	1	1	1	1
Y	0	1	1	1	1	1	1	1

Далі складаємо логічну функцію по отриманій таблиці:

$$\begin{aligned}
 Y &= \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_3 + \bar{x}_1 \cdot x_2 \cdot \bar{x}_3 + \bar{x}_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + x_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3 + \\
 &\quad + x_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_3 + x_1 \cdot x_2 \cdot \bar{x}_3 + \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3 = \\
 &= \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot (x_3 + \bar{x}_3) + \bar{x}_1 \cdot x_2 \cdot (\bar{x}_3 + x_3) + x_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot (\bar{x}_3 + x_3) + x_1 \cdot x_2 \cdot \bar{x}_3 = \\
 &= \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 + \bar{x}_1 \cdot x_2 + x_1 \cdot \bar{x}_2 + x_1 \cdot x_2 \cdot \bar{x}_3 = \\
 &\quad \bar{x}_1 \cdot (\bar{x}_2 + x_2) + x_1 \cdot (\bar{x}_2 + x_2 \cdot \bar{x}_3) = \\
 &= \bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \bar{x}_3 = \overline{x_1 \cdot x_2 \cdot x_3}
 \end{aligned} \tag{3.4}$$

І далі, останній крок, малюємо логічну схему по формулі:



## Розділ 4

# РОЗРАХУНОК ПОРОГОВОЇ НАПРУГИ ІНТЕГРАЛЬНИХ КОМПОНЕНТІВ СХЕМИ

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

$$U_{nor}^0 = \phi_{MS} - \frac{q \cdot N_{SS}}{C_{ox}} - 2 \cdot \phi_F - \frac{\sqrt{2 \cdot q \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_S \cdot N_B}}{C_{ox}} \cdot \sqrt{|2 \cdot \phi_F + U_n|} \quad (4.1)$$

У цій формулі дано майже все, а точніше:  $N_{SS} = 5,6 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$   $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-14} \text{ Ф/см}$   $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$   $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$   $T = 300 \text{ К}$   $n_i = 1,45 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$   $\varepsilon_S = 11,8$   $\rho = 3 \text{ Ом}\cdot\text{м}$   $U_0 = -0,6 \text{ В}$   $U_1 = -0,6 \text{ В}$   $\mu_n = 1500 \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$

Питома ємність шукається як

$$C_{ox} = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{ox} / d_{ox} = \frac{8,85 \cdot 10^{-14} \cdot 3,9}{0,5 \cdot 10^{-5}} = 6,903 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Ф}}{\text{см}^2} \quad (4.2)$$

Рівень Фермі у об'ємі кремнію:

$$\phi_F = \left( \frac{k_B \cdot T}{q} \right) \cdot \ln \left( \frac{N_B}{n_i} \right) \quad (4.3)$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = q \cdot N_B \cdot \mu_n \Rightarrow N_B = \frac{1}{\rho \cdot q \cdot \mu_n} = \frac{1}{3 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1500} = 1,39 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$$

Рівень Фермі тоді буде:

$$\phi_F = \left( \frac{k_B \cdot T}{q} \right) \cdot \ln \left( \frac{N_B}{n_i} \right) = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{1,6 \cdot 10^{-19}} \cdot \ln \left( \frac{1,39 \cdot 10^{15}}{1,45 \cdot 10^{10}} \right) = 0,297 \text{ В}$$

Напруги між витоком і підкладкою для кожного транзистора, маємо за умовою, що  $U_0 = -0,6 \text{ В}$   $U_1 = -6 \text{ В}$  За умовою з +, але так як підкладка КЕФ, то беремо з мінусом.

$$\text{Для } T_1, T_2, T_3, T_6, T_8 : U_n = 0; U_{\text{пор}} = -2,14 \text{ В}$$

$$\text{Для } T_4, T_5, T_7 : U_n = -0,6 \text{ В}; U_{\text{пор}} = -2,19 \text{ В}$$

Далі порахуємо «ідеальну» порогову напругу:

$$U_{\text{ідеал пор}} = (U^1 + U^0) / 2 = (-6 - 0,6) / 2 = -3,3 \text{ В}$$

Шукаємо абсолютні похибки:

$$U_n = 0$$

$$\Delta U_{\text{пор}} = -3,3 + 2,41 = -0,89 \text{ В}$$

$$\delta = 100 \cdot |0,89 / 2,41| = 37\%$$

$$U_n = -0,6$$

$$\Delta U_{\text{пор}} = - - 3,3 + 2,19 = -1,1 \text{ В}$$

$$\delta = 100 \cdot |-1,1 / 2,19| = 50\%$$

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

$$U_n = 0$$

$$D = 0,89 \cdot 6,903 \cdot 10^{-8} \approx 0,06 \text{ мкКл/см}^2$$

$$U_n = -0,6$$

$$D = 1,11 \cdot 6,903 \cdot 10^{-8} \approx 0,08 \text{ мкКл/см}^2$$

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

$$U_n = 0$$

$$U'_{\text{нор}} = U_{\text{нор}} + \frac{D}{C_{ox}} = -2,41 - \frac{0,06}{6,9 \cdot 10^{-8}} = -3,28 \text{ В}$$

$$U_n = -0,6$$

$$U'_{\text{нор}} = U_{\text{нор}} + \frac{D}{C_{ox}} = -2,19 - \frac{0,08}{6,9 \cdot 10^{-8}} = -3,35 \text{ В}$$

Для того аби зекономити на процесі виготовлення, замість того аби робити два підлегування (з 0.06 і 0.08), можемо зробити одне, для чого візьмемо дозу 0.07, і знову порахуємо напруги (якщо похибка буде менше 10%, то тоді так і залишаємо, якщо більше, то тоді робимо два підлегування).

$$U_n = 0 :$$

$$U'_{\text{нор}} = U_{\text{нор}} + \frac{D_{\text{сер}}}{C_{ox}} = -2,41 - \frac{0,07}{6,903 \cdot 10^{-8}} = -3,43 \text{ В};$$

$$\delta = 100 \cdot |(-3,3 + 3,43)/(-3,43)| \approx 3,7\%;$$

$$U_n = -0,6 :$$

$$U'_{\text{нор}} = U_{\text{нор}} + \frac{D_{\text{сер}}}{C_{ox}} = -2,19 - \frac{0,07}{6,903 \cdot 10^{-8}} = -3,21 \text{ В};$$

$$\delta = 100 \cdot |(-3,3 + 3,21)/(-3,21)| \approx 2,9\%.$$

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 данному випадку 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 п-тип. Поширеними є фосфор і миш'як, але в данному випадку обираю фосфор, оскільки він більш поширений.

Транзистор	Порогова напруга, [В]	D(фосфор), мкКл / см <sup>2</sup>
T1	-3,43	0,07
T2	-3,43	0,07
T3	-3,43	0,07
T4	-3,21	0,07
T5	-3,21	0,07
T6	-3,43	0,07
T7	-3,21	0,07
T8	-3,43	0,07

## Розділ 5

# РОЗРАХУНОК РОЗМІРІВ ІНТЕГРАЛЬНИХ КОМПОНЕНТІВ СХЕМИ

Перш за все треба записати всі константи, які порібні:

$$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-14} \frac{\Phi}{\text{см}}$$

$$\varepsilon_{ox} = 3,9$$

$$\varepsilon_S = 11,8$$

$$d_{ox} = 50 \text{ нм}$$

$$N_B = 1,39 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$$

$$U_{\text{пор.}}^0 = -3,43 \text{ В}$$

$$U_n = -10 \text{ В}$$

$$U^0 = -0,6 \text{ В}$$

$$U^1 = -6 \text{ В}$$

$$\phi_F = 0,297 \text{ В}$$

$$C_{ox} = 6,903 \cdot 10^{-8} \frac{\Phi}{\text{см}^2}$$

$$\mu_p = 225 \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$$

$$t_{\text{вкл.}} = 790 \text{ нс}$$

$$t_{\text{вкл.}} = 100 \text{ нс}$$

$$I_{\text{load}} = 310 \text{ мкА}$$

$$C_H = 37 \text{ пФ}$$

Розгляд данної задачі починється з першого каскаду, там 4 транзистори, які можна поділити на дві підгрупки: верхній транзистор, який грає роль навантаження, та нижній, який керує транзистором. Оскільки є 2 паралельно з'єднаних

транзистора T1 і T2 об'єднуючи в один ТЕ, вийде, що ширина кожного буде відноситися як  $W_{T_E} = \frac{W_{T_1}}{2} = \frac{W_{T_2}}{2} = W_{T_3}$ . Тому, використовуючи відношення через струм колектора з методички для мого випадку:

$$i_C = \frac{\mu \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{ox}}{d_{ox}} \cdot \frac{W}{L} \cdot \left[ (U_3 - U_{nop}) \cdot U_C - \frac{U_C^2}{2} \right] \Rightarrow \frac{W_E}{L_E} = \frac{i_C \cdot d_{ox}}{\mu \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{ox}} \cdot \frac{1}{\left[ (U_3 - U_{nop}) \cdot U_C - \frac{U_C^2}{2} \right]}$$

$$\frac{W_E}{L_E} = \frac{i_C \cdot d_{ox}}{\mu \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{ox}} \cdot \frac{1}{\left[ (U_{вх} - U_{пор}^0) \cdot U_{вих} - \frac{U_{вих}^2}{2} \right]} = 14,65$$

Замість виходу напруга логічного гуля, а замість входу напруга логічної одиниці. Так як зразок КЕФ, всі напруги від'ємні, але для спрощення обчислень беруться абсолютні значення. Далі, треба обрати довжину каналу 5 мкм, аби фінальні значення не перевищували 500 мкм.

Тоді,  $L_{T_E} = 5$  мкм,  $W_{T_1} = W_{T_2} = W_{T_3} = W_{T_{БКЛ}} = L_{T_{БКЛ}} \cdot 14,65$ . Тоді, маємо:  $W_{T_1} = W_{T_2} = W_{T_3} = 75$  мкм,  $L_{T_1} = L_{T_2} = L_{T_3} = 5$  мкм

Тепер рахунки для навантажувального транзистора T4.

$$\frac{\mu \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{ox}}{2 \cdot d_{ox}} \cdot \frac{W_{T_H}}{L_{T_H}} \cdot ((U_n - U_{вих}) - U_{nop})^2 = \frac{\mu \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{ox}}{d_{ox}} \cdot \frac{W_{T_E}}{L_{T_E}} \cdot \left( (U_{вх} - U_{nop,0}) \cdot U_{вих} - \frac{U_{вих}^2}{2} \right)$$

$$K = d_{ox} \cdot \frac{\sqrt{2\varepsilon_s\varepsilon_0qN_B}}{\varepsilon_0\varepsilon_{ox}} = 0,312 \sqrt{B}$$

$$U_{nop} = U_{nop}^0 + K\sqrt{2\phi_F + U_n} - K\sqrt{2\phi_F} = 3,531 \text{ В}$$

$$\frac{W_{T_H}}{L_{T_H}} = \frac{2 \frac{W_{T_E}}{L_{T_E}} \cdot \left( (U_{вх} - U_{пор,0}) \cdot U_{вих} - \frac{U_{вих}^2}{2} \right)}{((U_n - U_{вих}) - U_{пор})^2} = 1,159$$

Довжина канада буде однією для всіх транзисторів.

Тоді  $W_{T_4} = L_{T_4} \cdot 5,8 \approx 10$  мкм.

Другий каскад такий ж, як і перший, тому можна перенести розміри з першого каскаду

$$W_{T_5} = W_{T_4} = 10 \text{ мкм}$$

$$W_{T_6} = W_{T_E} = 75 \text{ мкм}$$



Третій каскад розраховується по динамічним характеристикам, верхній по часу вимикання, а нижній по часу вмикання.

$$U_{max} = U_{вих} - U_{nop}^0 - K \cdot \sqrt{U_{вих} - U_{nop}^0} = 2,07 \text{ В}$$

$$\bar{U}_{nop} = U_{nop}^0 + K \cdot \sqrt{2 \cdot \phi_F + \frac{1}{2} \cdot (U_{max} - U_{исх})} - K \cdot \sqrt{\phi_F} = 3,55 \text{ В}$$

$$t_{викл} = \frac{2 \cdot C_H \cdot d_{ox} \cdot L_{T_7}}{\mu \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{ox} \cdot W_{T_7}} \cdot \frac{U_{max} - U_{исх}}{(U_{вих} - \bar{U}_{пор} - U_{max}) \cdot (U_{вих} - \bar{U}_{пор} - U_{исх})} \Rightarrow$$

$$\frac{W_{T_7}}{L_{T_7}} = \frac{2 \cdot C_H \cdot d_{ox}}{\mu \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{ox} \cdot \mu} \cdot \frac{U_{max} - U_{исх}}{(U_{вих} - \bar{U}_{пор} - U_{max}) \cdot (U_{вих} - \bar{U}_{пор} - U_{исх})} = 12,549,$$

$$\text{де } U_{исх} = U_{вих}$$

Оскільки  $U_{исх}$  – напруга на виході, то  $W_{T_6} = L_{T_6} \cdot 12,549 = 65 \text{ мкм}$ .

Для нижнього транзистора, керуючого, шукаю по часу включення.

$$t_{вкл} = \frac{C_H \cdot d_{ox} \cdot L_{T_8}}{\mu \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{ox} \cdot W_{T_8}} \cdot \frac{1}{(U_{вих} - U_{nop}^0)} \cdot \left\{ \frac{U_{max} - (U_{ex} - U_{nop}^0)}{U_{вих} - U_{nop}^0} + \frac{1}{2} \ln \left[ \frac{2(U_{вих} - U_{nop}^0) - U_{осм}}{U_{осм}} \right] \right\} \Rightarrow$$

$$\frac{W_{T_8}}{L_{T_8}} = 6,06 \Rightarrow W_{T_8} = 7,573 \cdot 5 = 40 \text{ мкм}$$

Табл. 5.1: Відношення W/L та розміри для кожного транзистора.

	W/L	W	L
T1	14,65	75	5
T2	14,65	75	5
T3	14,65	75	5
T4	1,159	10	5
T5	1,159	10	5
T6	14,65	75	5
T7	12,549	65	5
T8	7,573	40	5

## Розділ 6

# РОЗРАХУНОК РОЗМІРІВ ПРИСТРОЮ ЗАХИСТУ ІНТЕГРАЛЬНИХ КОМПОНЕНТІВ СХЕМИ

Перш за все запишу всі константи, які знадобляться:

$$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-14} \frac{\Phi}{\text{см}}$$

$$\varepsilon_{ox} = 3,9$$

$$\varepsilon_S = 11,8$$

$$d_{ox} = 50 \text{ нм}$$

$$U_{\text{пор.}}^0 = -3,43 \text{ В}$$

$$\rho_s = 100 \text{ Ом}$$

$U_{33} = 0 \text{ В}$  – напруга на затворі пристрою захисту.

$$W_{T_1} = W_{T_2} = W_{T_3} = 75 \text{ мкм}$$

$$L_{T_1} = L_{T_2} = L_{T_3} = 5 \text{ мкм}$$

$$t_{\text{ВИКЛ}} = 790 \text{ нм}$$

$$t_{\text{ВКЛ}} = 100 \text{ нм}$$

$$C_{ox} = 6,9 \cdot 10^{-8} \text{ Ф/см}^2$$

$$E_{\text{кр}} = 1,2 \cdot 10^6 \text{ нм}$$

Спочатку знайдемо напругу пробою:

$$U_{\text{проб}} = 3 \cdot d_{ox} \cdot E_{\text{кр}} \cdot U_{\text{ЗЗ}} - |U_{\text{пор зах}}|, \quad (6.1)$$

де  $U_{\text{пор зах}} = U_{\text{пор}}^0$ , тому  $U_{\text{проб}} = 14,75 \text{ В}$

Далі шукаємо робочу частоту:

$$f = \frac{2}{t_{\text{ВИМК}} + t_{\text{ВКЛ}}} = 2,247 \cdot 10^6 \text{ Гц} \quad (6.2)$$

Далі треба знайти струмообмежуючий опір.

$$R_6 \leq 0,01 \cdot C_{\text{ВХ}}^{-1} \cdot f_{\text{роб}}^{-1},$$

де  $C_{\text{ВХ}} = C_{ox} \cdot W_T \cdot L_T = 2,589 \cdot 10^{-13} \text{ Ф}$ ,

де  $W_T$  — ширина вхідного транзистора,  $L_T$  — довжина вхідного транзистора.

Тоді маємо, що:

$$R_6 \leq \frac{0,01}{C_{\text{ВХ}} \cdot f_{\text{роб}}} = 17,9 \text{ кОм} \Rightarrow R_6 = 15 \text{ кОм}$$

Потім шукаємо динамічний опір за формулою:

$$U_{\text{затв}} = U_{\text{проб}} + (U_{\text{ВХ}} - U_{\text{проб}}) \cdot \frac{R_{\partial}}{R_{\partial} + R_6} \quad (6.3)$$

де  $U_{\text{затв}} \leq \frac{2}{3} \cdot U_{\text{проб.SiO}_2}$  — максимально допустима напруга на затворі вхідного транзистора;  $U_{\text{проб.SiO}_2} = E_{\text{проб}} \cdot d_{ox}$  — напруга пробою діелектрика;  $U_{\text{ВХ}} = 7000 \text{ В}$  напруга, від якої наш пристрій захищає.

$$E_{\text{проб}} = 10 \cdot 10^7 \frac{\text{В}}{\text{см}}.$$

$$\text{Тоді: } U_{\text{проб.SiO}_2} = 10^7 \cdot 50 \cdot 10^{-7} = 50 \text{ В, } U_{\text{затв}} \leq 33,3 \text{ В} \Rightarrow U_{\text{затв}} = 33 \text{ В.}$$

Виразивши  $R_d$ , отримаємо, що:

$$R_d \approx 40 \text{ Ом}$$

Тепер графічно треба знайти ширину.

$$W_{\text{зак.}T_1, T_2, T_3} \approx 630 \text{ мкм}$$

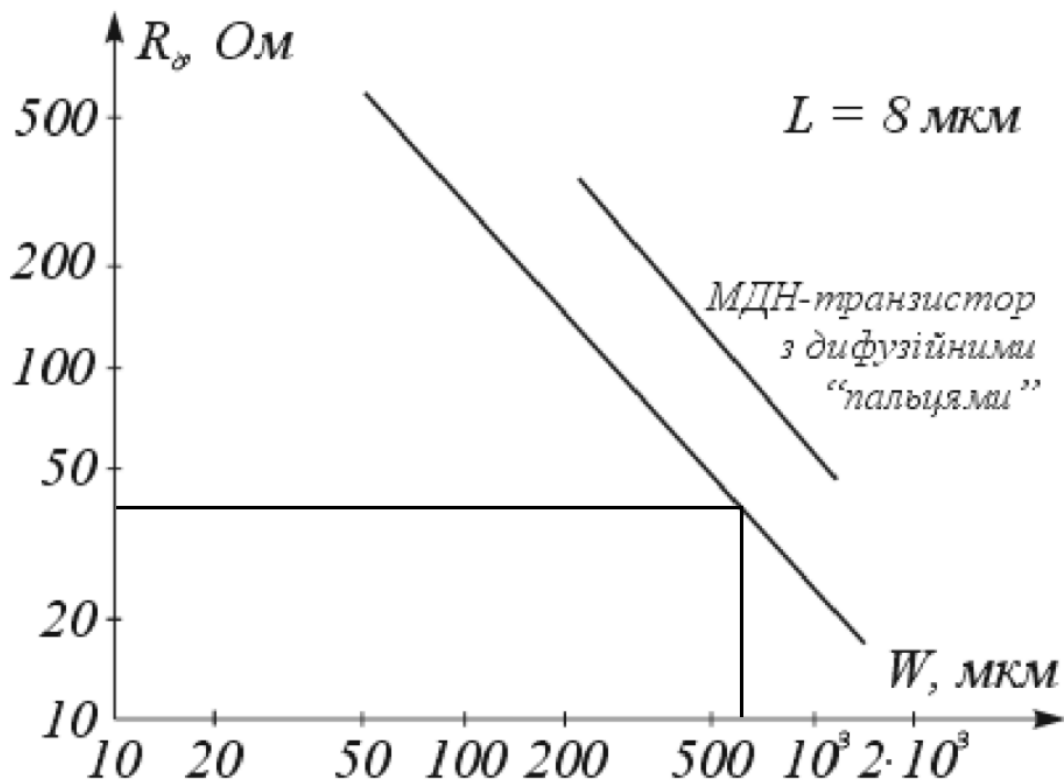


Рис. 6.1: Графік для знаходження ширини

І треба знайти довжину струмообмежуючого опору:  $L_R = \frac{R_0 \cdot W_R}{\rho_S}$ , де  $W_R = 5 \text{ мкм}$  - ширина дифузійної шини,  $\rho_S = 100 \text{ Ом}$ — питомий опір дифузійної шини.

Тоді

$$L_R = \frac{R_0 \cdot W_R}{\rho_S} = 750 \text{ мкм}$$

Табл. 6.1: Таблиця розмірів ПЗ для кожного входу

	T1	T2	T3	Діод	Резистор
$W, \text{ мкм}$	75	75	75	630	5
$L, \text{ мкм}$	5	5	5	5	750
$W/L$	6,13	6,13	6,13		

## Розділ 7

# ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ МДН ІС

- 1) Підготовка пластини. Використовується кремній з орієнтацією пластини 111.
- 2) Перше термічне окиснення кремнієвої пластини товщиною 0,5 мкм.
- 3) Перша фотолітографія. Розкриття вікон в оксиді в області стоку і витоку. Тип фоторезисту: позитивний, фотошаблон №1, див. Додаток, ДП82.8211.022.001.ФШ, аркуш 1.
- 4) Дифузія бора, проводиться у дві стадії. Локальна загонка домішки у області стоку і витоку на глибину 1 мкм. Другу стадію виконують в окислювальній атмосфері (друге окиснення).
- 5) Друга фотолітографія. Розкриття вікон під тонкий оксид. Тип фоторезисту: позитивний, фотошаблон №2, див. Додаток, ДП82.8211.022.001.ФШ, аркуш 2.
- 6) Окиснення областей. Вирощення тонкого шару діоксиду силіцію товщиною 50 нм.
- 7) Підлегкування. Іонне підлегкування дозою  $0,07 \text{ мкКл/см}^2$  домішкою фосфору.
- 8) Третя фотолітографія. Відкриття вікон до областей стоку і витоку. Тип фоторезисту: негативний, фотошаблон №3, див. Додаток, ДП82.8211.022.001.ФШ, аркуш 3.

- 9) Металізація. Нанесення напиленням плівки алюмінію, товщиною 1,2 мкм, після чого відбувається травлення металу.
- 10) Четверта фотолітографія. Створення рисунку металізації схеми. Тип фоторезисту: позитивний, фотошаблон №4, див. Додаток, ДП82.8211.022.001.ФШ, аркуш 4.
- 11) Планаризація і пасивація. Осадження шару фосфорсилікатного скла.
- 12) П'ята фотолітографія. Відкриття вікна над контактними площадками. Тип фоторезисту: негативний, фотошаблон №5, див. Додаток, ДП82.8211.022.001.ФШ, аркуш 5.

## Розділ 8

# ВИСНОВОК



## Розділ 9

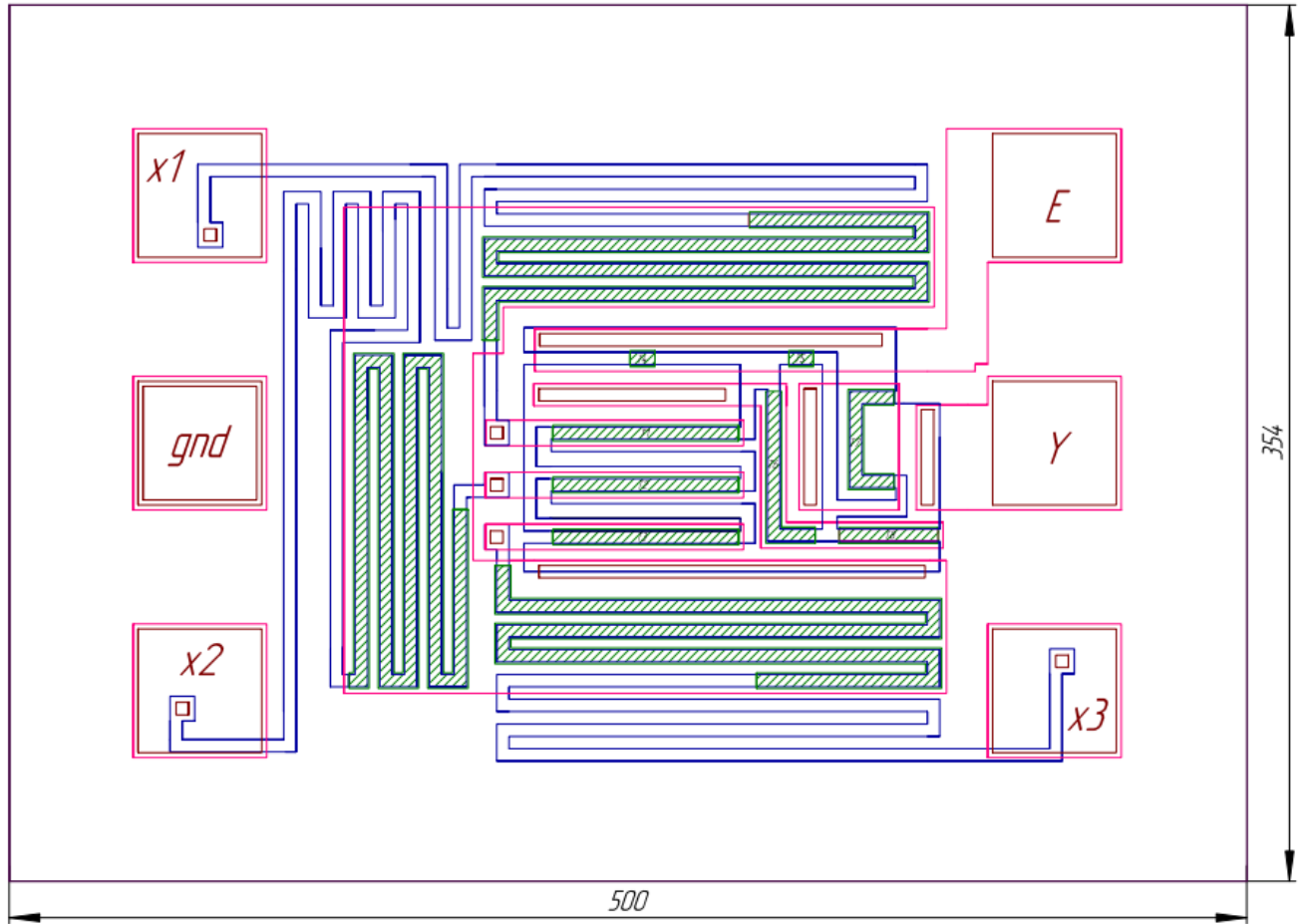
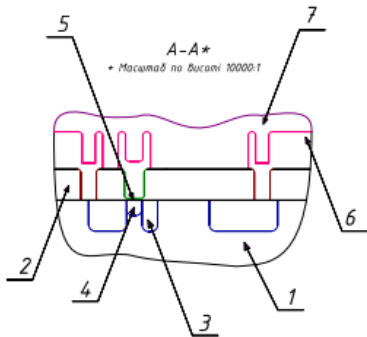
# СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

## Розділ 10

# ДОДАТОК А

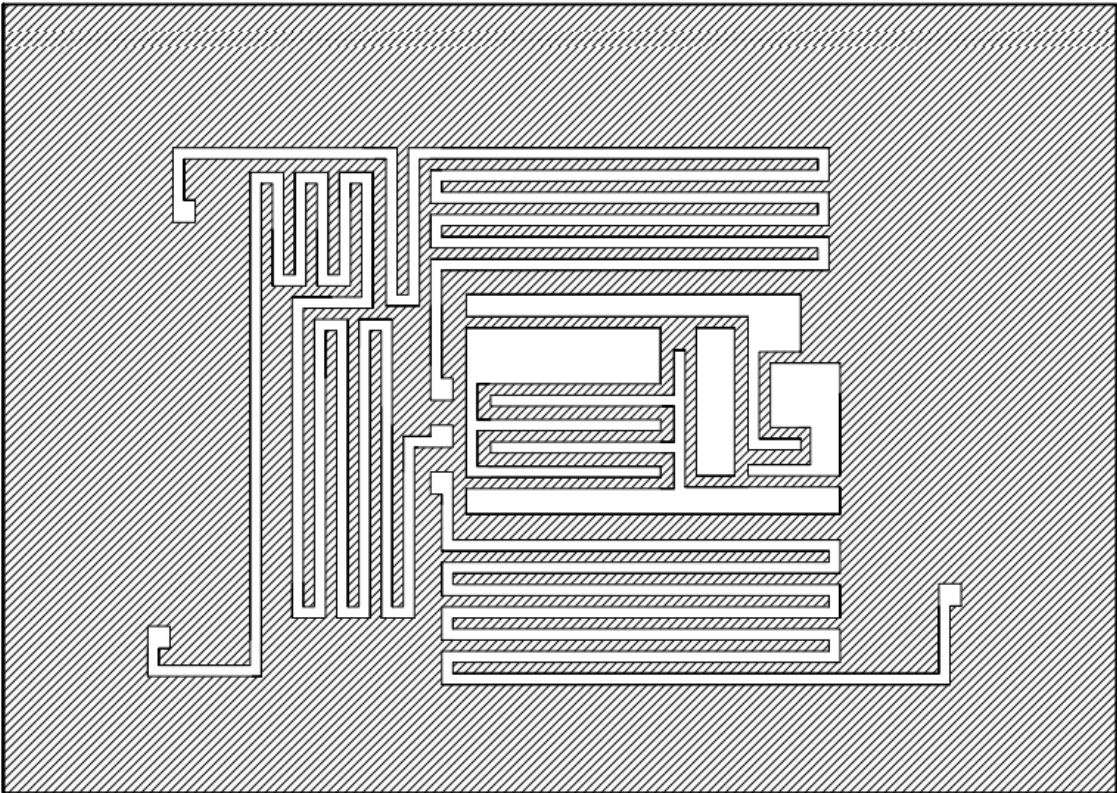
## Розділ 11

# ДОДАТОК Б

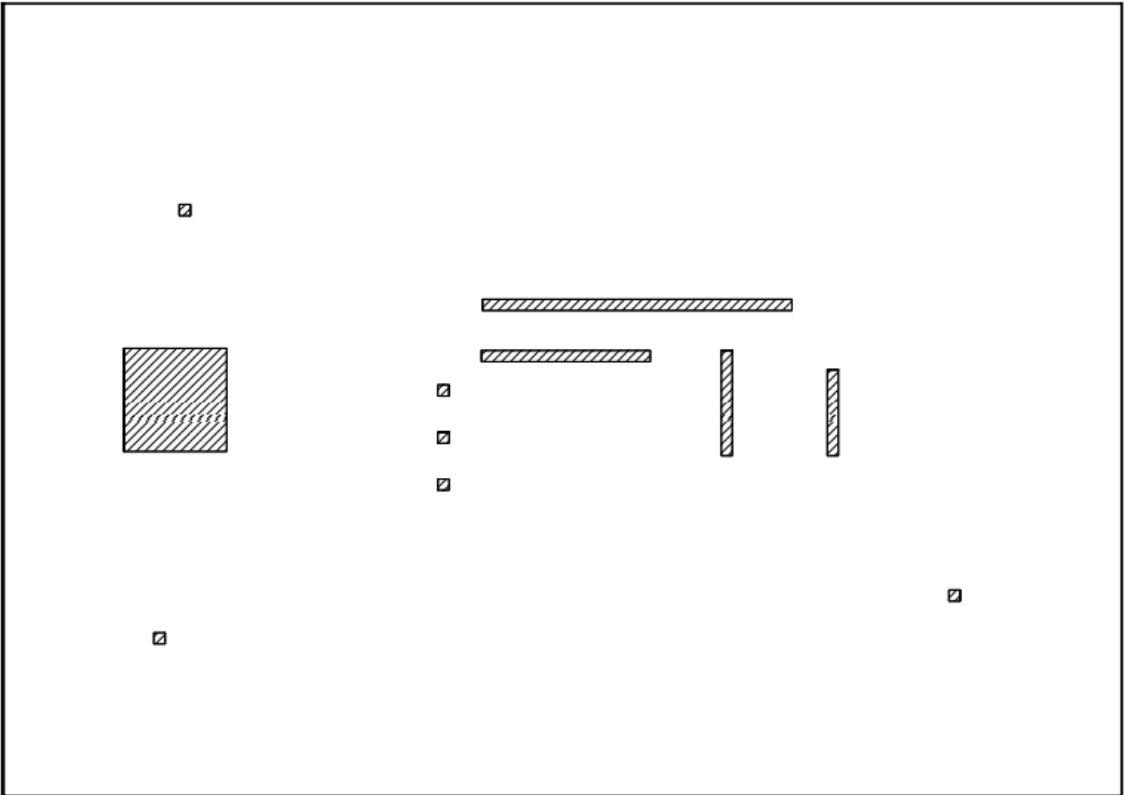


№	Шар	Матеріал	Товщина, мкм
1	Підкладка	КЕФ-3	120
2	Товстий діелектрик	SiO <sub>2</sub>	1,0
3	Дифузійні області	p <sup>+</sup> -Si	1,0
4	Область підлегування	n	0,5
5	Підзатворний діелектрик	SiO <sub>2</sub>	0,05
6	Металізація	Al	1,2
7	Пасивація	ФСС	1,0

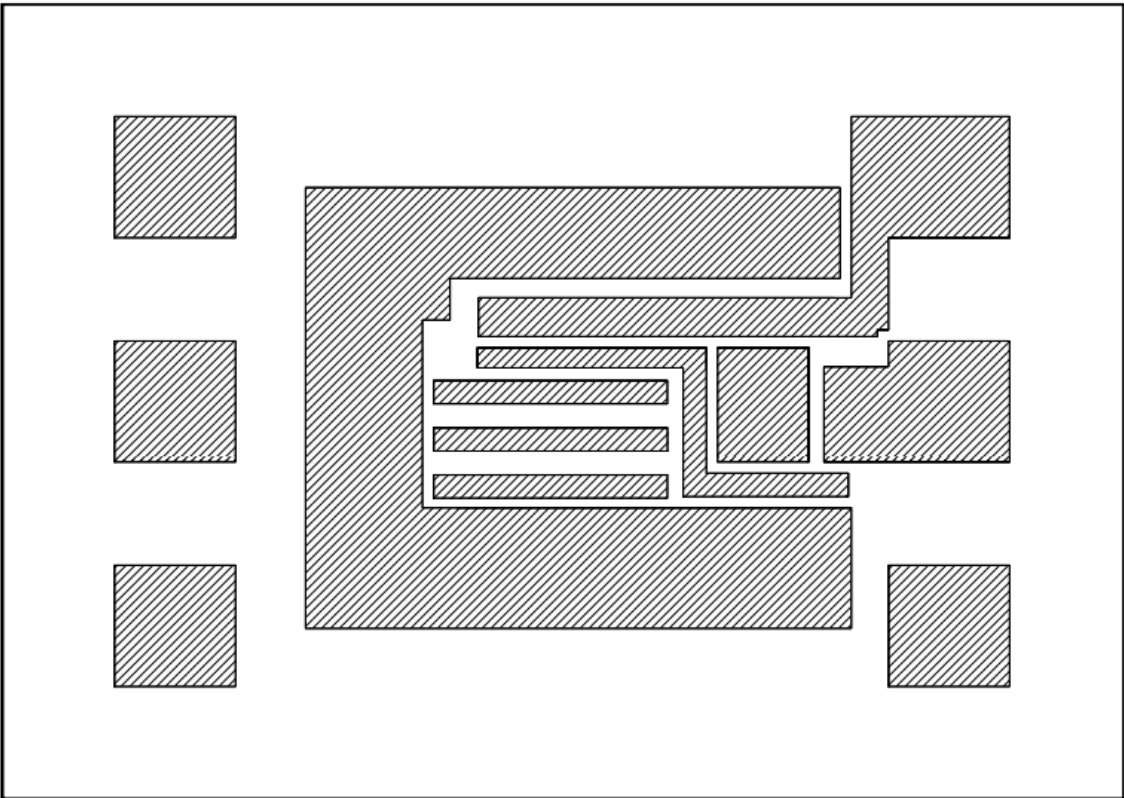
				ДП82.8211.022.001.ТК			
				Топологічне креслення			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	К	Маса	Масштаб
Розроб.	Лисенко						800:1
Перевір.	Королевич						
Технік							
Начальн.							
Затверд.							
				Архив 1 Архив 2			
				ІНТУУ "КПІ", кафедра мікроелектроніки			



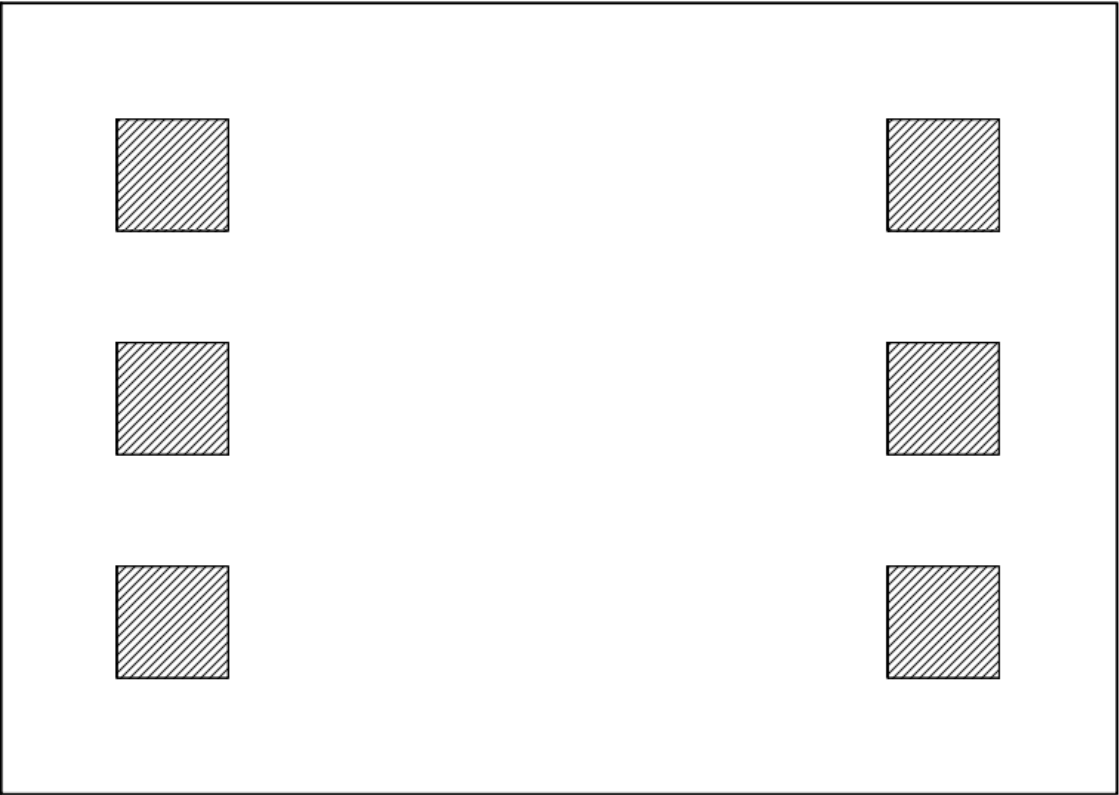
					ДП82.8211.022.001.ФШ				
					Фотошаблон	Лит.	Маса	Масштаб	
Зм.	Лит.	№ докум.	Підпис	Дата		К		500:1	
Розроб.		Лищенко							
Перевір.		Королевич							
Т.конт.						Аркуш	1	Аркушів	5
Н.конт.					фотолітографія №1	НТУУ "КПІ", кафедра мікроелектроніки			
Затверд.									



					ДП82.8211.022.001.ФШ			
					Фотошаблон	Літ.	Маса	Масштаб
Зм.	Літ.	№ док-м.	Підпис	Дата		К		500:1
Розроб.		Лищенко						
Перевір.		Каролевич						
Т.конт.					Аркуш 3		Аркушів	5
Н.конт.					фотолітографія №3	НТУУ "КПІ", кафедра мікроелектроніки		
Затверд.								



					ДП82.8211.022.001.ФШ			
					Фотошаблон	Літ.	Маса	Масштаб
Зм.	Літ.	№ докум.	Підпис	Дата		К		500:1
Розроб.		Лищенко						
Перевір.		Каролевич						
Т.конт.						Аркуш	4	Аркушів 5
Н.конт.					фотолітографія №4	НТУУ "КПІ", кафедра мікроелектроніки		
Затверд.								



					ДП82.8211.022.001.ФШ				
					Фотошаблон	Лит.		Маса	Масштаб
Зм.	Лит.	№ докум.	Підпис	Дата		К			500:1
Розроб.		Лищенко							
Перевір.		Королевич							
Т.конт.									
					Аркуш	5	Аркушів	5	
					фотолітографія №5	НТУУ "КПІ", кафедра мікроелектроніки			
Н.конт.									
Затверд.									