

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Кафедра мікроелектроніки

Лабораторна робота №3
з дисципліни «Технологія інтегральних мікросхем»
тема: «Дослідження дифузійних резисторів інтегральних мікросхем»

Виконав:
Студент 3-го курсу, групи ДП-91
Ремез Сергій Олександрович

Перевірив:
Королевич Любомир Миколайович

1. МЕТА РОБОТИ

Дослідження величини, природи та стабільності заряду поверхневих станів напівпровідника з допомогою вольт-фарадних характеристик ємності структури метал-діелектрик-напівпровідник (МДН)

2. ЗАВДАННЯ

1. Скласти схему для вимірювання ємності МДН-структури.
2. Виконати вимірювання вольт-фарадної характеристики – залежності ємності конденсатора МДН-структури від напруги зміщення. Діапазон напруг від -20 В до +20 В. Частота вимірювального сигналу 1...2 МГц.
3. Провести вольт-температурні (В-Т) випробування МДН-структури при додатній та (або) при від'ємній полярностях постійної напруги., прикладеної під час витримки при високій температурі.
4. Побудувати зняті графіки вольт-фарадних (В-Ф) характеристик на одному малюнку.
5. Визначити за видом знятої вольт-фарадної характеристики тип провідності напівпровідникової основи мікросхеми.
6. Розрахувати із первинної В-Ф-характеристики величину, густину та полярність заряду поверхневих станів.
7. Розрахувати зміну заряду після В-Т-випробувань і пояснити природу походження та причину нестабільності заряду поверхневих станів в дослідженій МДН-структури.

3. СХЕМА ВИМІРЮВАННЯ

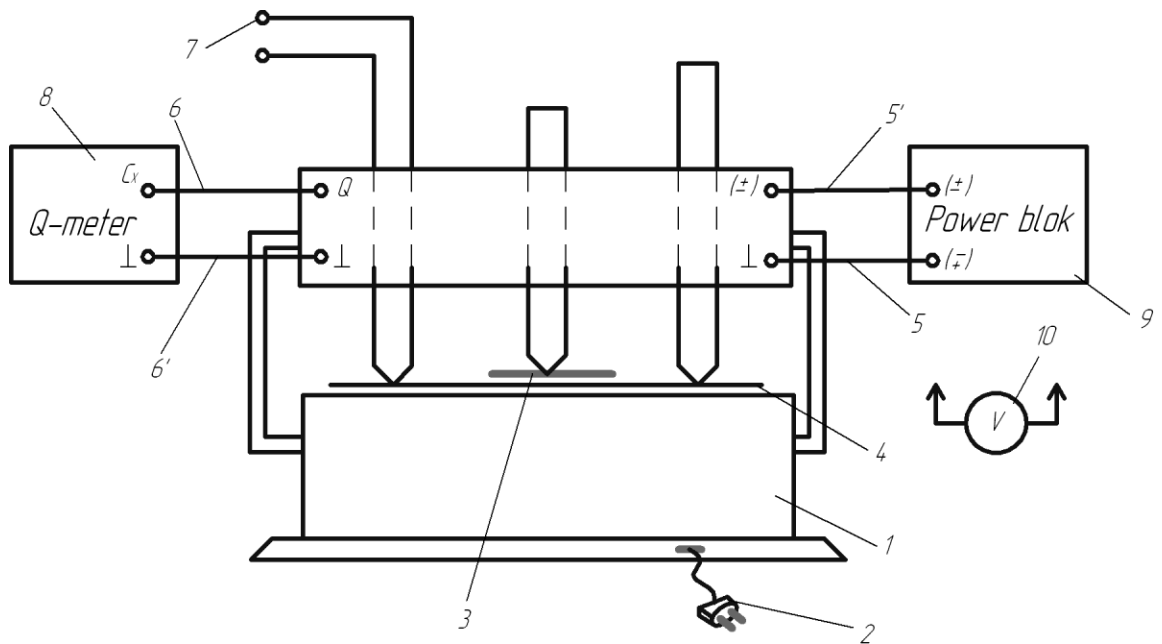


Рис.1. Установка для дослідження вольт-фарадних характеристик МДН-структур.

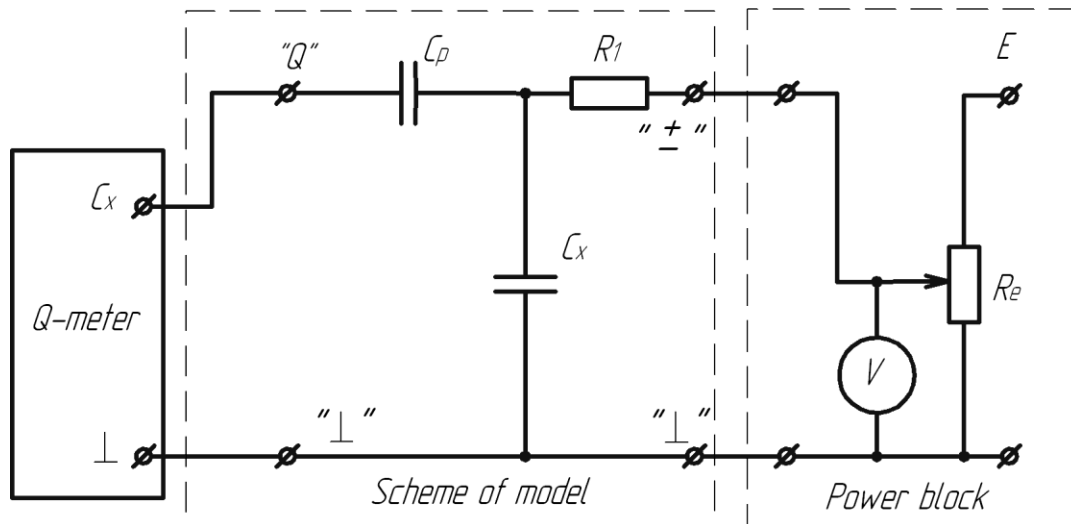


Рис.2. Електрична схема установки дослідження вольт-фарадних характеристик

ОБРОБКА ДАНИХ

1		2	
C1, пФ	Uz, В	C1, пФ	Uz, В
258,2	0	262,7	0
258,4	-0,982	262,9	-1,017
258,6	-1,978	263,5	-1,995
258,7	-2,311	263,6	-2,5
259	-2,699	265	-3
259,4	-3,102	264,7	-3,55
260,1	-3,402	265,2	-3,78
260,9	-3,613	266,1	-4
262,5	-3,902	266,9	-4,2
266,8	-4,302	270,5	-4,5
271,6	-4,709	273,2	-4,7
273,6	-4,9	274,5	-4,8
275,3	-5,19	275,2	-4,9
276,6	-5,41	277	-5,09
277	-5,6	277,6	-5,18
277,9	-6	278,4	-5,41
278,5	-6,5	279,2	-5,7
278,5	-6,7	279,9	-6
278,6	-7	280,1	-6,2
278,6	-7,3	280,1	-6,4
278,6	-7,6	280,1	-7,1

Sмдн, см^2	ΔC, пФ	F0, МГц	C0, пФ
0,01	0,1	1,44	370
	ΔUz, мВ		
	5		

Табл.1. Виміряні значення

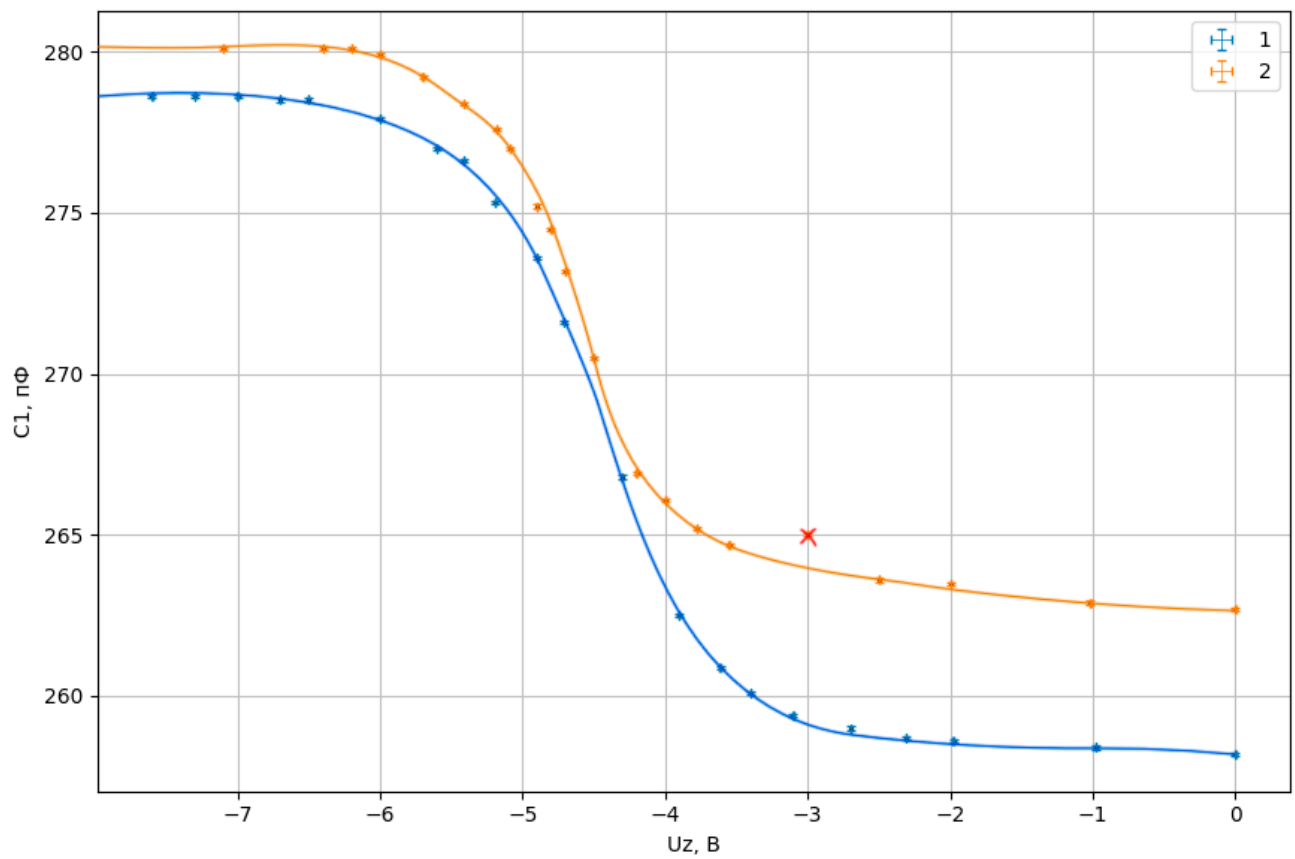


Рис. 3. Вольт-фарадна характеристика по даним з таблиці.

Характеристика зміщується в бік від'ємної напруги зміщення, тому у нас напівпровідники *p*-типу.

Знаходимо, що:

$$C_{\max 1} = 278,6 \pm 0,1 \text{ пФ};$$

$$C_{\min 1} = 258,2 \pm 0,1 \text{ пФ};$$

$$C_{\max 2} = 280,1 \pm 0,1 \text{ пФ};$$

$$C_{\min 2} = 262,7 \pm 0,1 \text{ пФ};$$

$$C_{d1} = C_{\max 1} = 278,6 \pm 0,1 \text{ пФ};$$

$$C_{d2} = C_{\max 2} = 280,1 \pm 0,1 \text{ пФ};$$

$$\frac{\Delta C_{\max}}{C_{\min}} = \sqrt{\left(\frac{\partial\left(\frac{C_{\max}}{C_{\min}}\right)}{\partial(C_{\max})} \cdot \Delta C_{\max}\right)^2 + \left(\frac{\partial\left(\frac{C_{\max}}{C_{\min}}\right)}{\partial(C_{\min})} \cdot \Delta C_{\min}\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{\Delta C_{\max}}{C_{\min}}\right)^2 + \left(-\frac{C_{\max}}{C_{\min}^2} \cdot \Delta C_{\min}\right)^2}$$

$$\frac{C_{\max 1}}{C_{\min 1}} = \frac{278,6}{258,2} = 1,079 \pm 0.001;$$

$$\frac{C_{\max 2}}{C_{\min 2}} = \frac{280,1}{262,7} = 1,066 \pm 0.001;$$

Обрахуємо концентрацію домішок:

$$\frac{N_A}{\ln(N_A/n_i)} = \frac{4 \cdot \varepsilon_s \cdot k \cdot T}{q^2 \cdot W_m^2}$$

Ширину області просторового заряду знайдемо наступним чином:

$$W_m = \left(\frac{C_{\max}}{C_{\min}} - 1\right) \cdot \frac{\varepsilon_s \cdot d}{\varepsilon_d},$$

$$d = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_d}{C_d} - \text{товщина діелектрика},$$

де $\varepsilon_d = 3,9$ - відносна діелектрична проникність діелектрика;

$\varepsilon_s = 11,8$ - відносна діелектрична провідність напівпровідника;

$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-14}$ Ф/см — діелектрична проникність вакууму;

Знаходимо товщину діелектрика:

$$\Delta d = \sqrt{\left(\frac{\partial d}{\partial C_d} \cdot \Delta C_d\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{\partial\left(\frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_d}{C_d}\right)}{\partial C_d} \cdot \Delta C_d\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_d}{C_d^2} \cdot \Delta C_d\right)^2};$$

$$d_1 = \frac{8,85 \cdot 10^{-14} \cdot 3,9}{278,6 \cdot 10^{-12}} = 12,4 \pm 0,45 \text{ мкм};$$

$$d_2 = \frac{8,85 \cdot 10^{-14} \cdot 3,9}{280,1 \cdot 10^{-12}} = 12,3 \pm 0,44 \text{ мкм};$$

$$\begin{aligned}
\Delta_{W_m} &= \sqrt{\left(\frac{\partial W_m}{\partial C_{\max}} \cdot \Delta_{C_{\max}}\right)^2 + \left(\frac{\partial W_m}{\partial C_{\min}} \cdot \Delta_{C_{\min}}\right)^2 + \left(\frac{\partial W_m}{\partial d} \cdot \Delta_d\right)^2} = \\
&= \sqrt{\left(\frac{\varepsilon_s \cdot d}{\varepsilon_d} \cdot \frac{\Delta_{C_{\max}}}{C_{\min}}\right)^2 + \left(-\frac{\varepsilon_s \cdot d}{\varepsilon_d} \cdot \frac{C_{\max}}{C_{\min}^2} \cdot \Delta_{C_{\min}}\right)^2 + \left(\left(\frac{C_{\max}}{C_{\min}} - 1\right) \cdot \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_d} \cdot \Delta_d\right)^2} = \\
&= \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_d} \cdot \sqrt{\left(d \cdot \frac{\Delta_{C_{\max}}}{C_{\min}}\right)^2 + \left(d \cdot \frac{C_{\max}}{C_{\min}^2} \cdot \Delta_{C_{\min}}\right)^2 + \left(\left(\frac{C_{\max}}{C_{\min}} - 1\right) \cdot \Delta_d\right)^2};
\end{aligned}$$

$$W_{m1} = \left(\frac{278,6}{258,2} - 1\right) \cdot \frac{11,8 \cdot 12,4}{3,9} = 2,99 \pm 0,11 \text{ мКМ};$$

$$W_{m2} = \left(\frac{280,1}{262,7} - 1\right) \cdot \frac{11,8 \cdot 12,3}{3,9} = 2,47 \pm 0,09 \text{ мКМ};$$

Тепер можемо знайти концентрацію домішок:

$$\begin{aligned}
\Delta_{\frac{N_A}{\ln(N_A/n_i)}} &= \sqrt{\left(\frac{\partial\left(\frac{N_A}{\ln(N_A/n_i)}\right)}{\partial W_m} \cdot \Delta_{W_m}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{\partial\left(\frac{4 \cdot \varepsilon_s \cdot k \cdot T}{q^2 \cdot W_m^2}\right)}{\partial W_m} \cdot \Delta_{W_m}\right)^2} = \\
&= \sqrt{\left(\frac{-8 \cdot \varepsilon_s \cdot k \cdot T}{q^2 \cdot W_m^3} \cdot \Delta_{W_m}\right)^2}
\end{aligned}$$

$$\frac{N_{A1}}{\ln\left(\frac{N_{A1}}{n_i}\right)} = \frac{4 \cdot 11,8 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{(1,6 \cdot 10^{-19})^2 \cdot (2,99 \cdot 10^{-6})^2} = (19,3 \pm 2,1) \cdot 10^{29} \text{ м}^{-3}$$

$$\frac{N_{A2}}{\ln\left(\frac{N_{A2}}{n_i}\right)} = \frac{4 \cdot 11,8 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{(1,6 \cdot 10^{-19})^2 \cdot (2,47 \cdot 10^{-6})^2} = (12,5 \pm 0,9) \cdot 10^{29} \text{ м}^{-3}$$

Знайдемо напругу плоских зон:

Побудуємо графік залежності $C_{fb}^{-2} = f(U_z)$ та проведемо екстраполяцію лінійної ділянки.

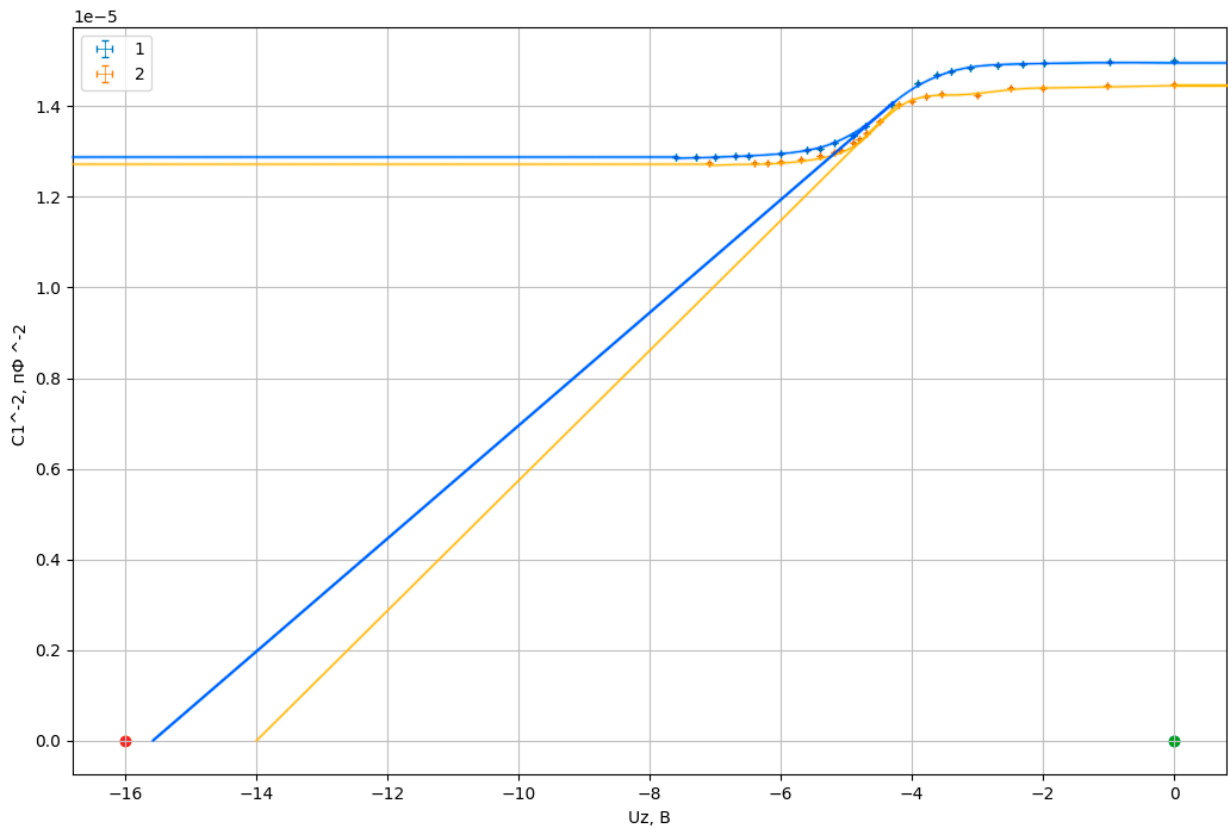


Рис. 4. Графік залежності $C_{fb}^{-2} = f(U_z)$ та екстраполяція лінійної ділянки.

З малюнку отримуємо, що для першого та другого зразка напруга плоских зон становить $U_{fb1} = -15,7 \pm 0,8$ В, $U_{fb2} = -14,1 \pm 0,7$ В. Вважаємо, що похибка дорівнює 5%.

Знайдемо напругу компенсації заряду поверхневих станів:

$$U_{ss} = U_{fb} - \varphi_{mp} = U_{fb} - (-0,5) = \begin{cases} -15,2 \pm 0,8 \text{ В} & \text{для 1 зразка;} \\ -13,6 \pm 0,7 \text{ В} & \text{для 2 зразка.} \end{cases}$$

Розрахуємо ємність МДН-конденсатора:

$$\Delta_{C_{\text{МДН}}} = \sqrt{(\Delta_{C_0})^2 + (-\Delta_{C_1})^2}$$

$$C_{\text{МДН1}} = C_0 - C_1 = 370 - 262,7 \approx 107,3 \pm 0,14 \text{ пФ}$$

$$C_{\text{МДН2}} = C_0 - C_1 = 370 - 258,2 \approx 111,8 \pm 0,14 \text{ пФ}$$

Величина заряду поверхневих станів:

$$\Delta_{Q_{ss}} = \sqrt{\left(\frac{\partial Q_{ss}}{\partial U_{ss}} \cdot \Delta_{U_{ss}}\right)^2 + \left(\frac{\partial Q_{ss}}{\partial C_{won}} \cdot \Delta_{C_{swin}}\right)^2} = \sqrt{(C_{wOH} \cdot \Delta_{U_{ss}})^2 + (U_{ss} \cdot \Delta_{C_{swin}})^2};$$

$$Q_{ss1} = U_{ss1} \cdot C_{мдн1} = -15,2 \cdot 107,3 \cdot 10^{-12} = -1,63 \pm 0,09 \text{ нКл}$$

$$Q_{ss2} = U_{ss2} \cdot C_{мдн2} = -13,6 \cdot 111,8 \cdot 10^{-12} = -1,52 \pm 0,08 \text{ нКл}$$

Відповідно, концентрація становитиме:

$$N_{ss1} = \frac{Q_{ss1}}{e \cdot S_{мдн}} = \frac{1,63 \cdot 10^{-9}}{1,602 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{-4}} = 1,02 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}.$$

$$N_{ss2} = \frac{Q_{ss2}}{e \cdot S_{мдн}} = \frac{1,52 \cdot 10^{-9}}{1,602 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{-4}} = 0,95 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}.$$

ВИСНОВОК

У ході виконання даної лабораторної роботи ми дослідили вольт-фарадні характеристики ємності структури МДН.

Спочатку ми побудували вольт-фарадні характеристики по вихідним даним. З графіку видно, що при зростанні напруги при зворотньому зміщенні, ємність також збільшувалась. Робимо висновок, що обидва зразки р-типу.

Далі ми проводили усі необхідні розрахунки, щоб визначити максимальну та мінімальну ємність зразків, концентрацію домішок, напругу плоских зон.

Полярність заряду поверхневих станів буде негативною для обох зразків.