

Міністерство освіти і науки України
Запорізька державна інженерна академія



О.Ю. Небеснюк
А.О. Ніконова
З.А. Ніконова

МІКРОЕЛЕКТРОННІ ПРИСТРОЇ

**Методичні вказівки до самостійної роботи
та виконання контрольних робіт**

для студентів ЗДІА спеціальності
153 «Мікро- та наносистемна техніка»
171 «Електроніка» всіх форм навчання

Запоріжжя

2018

**Міністерство освіти і науки України
Запорізька державна інженерна академія**

**О.Ю. Небеснюк
А.О. Ніконова
З.А. Ніконова**

МІКРОЕЛЕКТРОННІ ПРИСТРОЇ

**Методичні вказівки до самостійної роботи
та виконання контрольних робіт**

*для студентів ЗДІА спеціальності
153 «Мікро- та наносистемна техніка»
171 «Електроніка» всіх форм навчання*

*Рекомендовано до видання
на засіданні кафедри МЕІС
протокол №11 від 16.04.18*

**Запоріжжя
2018**

Мікроелектронні пристрої. Методичні вказівки до самостійної роботи та виконання контрольних робіт для студентів ЗДІА спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка», 171 «Електроніка» всіх форм навчання / Укл.: О.Ю. Небеснюк, А.О. Ніконова, З.А. Ніконова -Запоріжжя: ЗДІА, 2018. – 15с.

Методичні вказівки призначені для студентів напрямку підготовки 153 «Мікро- та наносистемна техніка» та 171 «Електроніка» всіх форм навчання, які виконують контрольні роботи з курсу «**Мікроелектронні пристрої**». Вказівки містять приклади завдань, які виконуються за варіантами, та їх розв'язання для самостійної підготовки студентів.

Укладачі: ***О.Ю. Небеснюк, к.т.н., доцент***
А.О. Ніконова, к.т.н., доцент
З. А. Ніконова – к.т.н.,професор

Відповідальний за випуск: ***зав. кафедрою МЕІС***
професор Хрипко С.Л.

ЗМІСТ

Вступ	4
Питання для опрацювання	5
Завдання для самостійної роботи	6
Приклади вирішення задач	11
Теми домашніх контрольних робіт	14
Література	15

ВСТУП

Основною метою викладання дисципліни «Мікроелектронні пристрої» є надання знань про інтегральні напівпровідникові пристрої: їх будову, особливості проектування та розробки, контроль параметрів елементів ІМС, особливості застосування ІМС при побудові електричних принципових схем.

Завданням дисципліни є ознайомлення студентів з технологією, конструкцією, методами проектування та розробки різних типів інтегральних мікросхем (ІМС).

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні:

знати:

- особливості формування та основні конструкції інтегральних структур, критерії їх якості та щільності, типи ізоляції елементів;
- основні характеристики і проектування (розрахунок) пасивних та активних елементів ІМС, характеристики діодів ІМС;
- теоретичний опис, моделі та режими роботи біполярних транзисторів ІМС. Їх топологічні, конструктивні і технологічні особливості;
- приклади застосування ІМС в електричних схемах різних пристроїв.

вміти:

- проводити контроль параметрів ІМС та їх складових елементів;
- проводити дослідження ВАХ елементів ІМС;
- застосувати ІМС для розробки електричних схем пристроїв.

Методичні вказівки складено на основі програми дисципліни «Мікроелектронні пристрої».

ПИТАННЯ ДЛЯ ОПРАЦЮВАННЯ

1. Шляхи розвитку сучасних мікроелектронних приладів і пристроїв.
2. Визначення в галузі конструювання та виробництва ІМС.
3. Класифікація ІС за ступенем інтеграції, за технологічними ознаками та функціональним призначенням.
4. Умовні позначення ІМС.
5. Засоби контролю ІМС.
6. Основні показники надійності.
7. Напівпровідникові і діелектричні підкладки напівпровідникових інтегральних схем.
8. Методи ізоляції елементів ІМС.
9. Конструкції, основні характеристики і розрахунок резистивних елементів напівпровідникових ІМС.
10. Конструкції, основні характеристики і розрахунок конденсаторів напівпровідникових ІМС.
11. Механізм роботи БТ. Структура, застосування.
12. Теоретичний опис і моделі біполярних транзисторів.
13. Вплив технологічних параметрів на електричні параметри і характеристики (коефіцієнт передачі струму емітера, теплові струми, ємності) біполярного транзистора.
14. Технологічні методи виготовлення біполярних транзисторів з високою швидкістю.
15. Особливості формування біполярних транзисторів для цифрових та підсилюючих ІС.
16. Біполярний транзистор з діодом Шотткі.
17. Розрахунок параметрів, структури та топології біполярних транзисторів.
18. Розрахунок параметрів, структури та топології діодних структур.
19. Діоди напівпровідникових ІМС. Паразитні ефекти в напівпровідникових ІМС. Температурна нестабільність резисторів.
20. Температурна нестабільність конденсаторів.
21. Типи конструкцій та структура НІМС.
22. Ізоляція елементів у НІМС
23. Транзистори у НІМС. Біполярні транзистори.
24. Діоди у напівпровідникових ІМС.
25. Напівпровідникові резистори.
26. Напівпровідникові конденсатори.
27. Індуктивність у НІМС .
28. Конструкція плівкових та гібридних ІМС.
29. Підкладки плівкових інтегральних мікросхем.
30. Плівкові резистори.
31. Плівкові конденсатори.
32. Індуктивні елементи гібридних інтегральних мікросхем.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

<p>№1</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Питомий опір власного германію при $T=300\text{K}$ $\rho=43\text{ Ом}\cdot\text{см}$. Рухливості електронів та дірок в германії дорівнюють відповідно 3900 та $1900\text{см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$. Визначити власну концентрацію електронів та дірок. 2. В рівноважному стані висота потенційного бар'єру германієвого р-п- переходу 0,2В, концентрація акцепторної домішки в р-області набагато менша концентрації донорів в п- області та дорівнює $3\cdot 10^{14}\text{ см}^{-3}$. Площа переходу 1мм^2, $\epsilon=16\text{ Ф}$. Визначити бар'єрні ємності, що відповідають зворотнім напругам 0,1 та 10 В. 	<p>№2</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. В зразку германію п-типу рухливість основних носіїв заряду 10мкс, а їх рухливість $3900\text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$. Розрахувати дифузійну довжину електронів при $T=300\text{K}$. 2. Визначити коефіцієнт зворотного зв'язку h_{12} для біполярного транзистору п-р-п в схемі з загальною базою, якщо вхідна напруга 0,2В, $I_k=5\text{мА}$, $R_k=30\text{Ом}$.
<p>№3</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Визначити концентрацію неосновних носіїв заряду, їх рухливість в зразку германієвого напівпровідника р-типу при $T=300\text{K}$, якщо концентрація акцепторної домішки $N_a=10^{16}\text{ см}^{-3}$, а коефіцієнт дифузії електронів $D_n=93\text{ см}^2/\text{с}$. 2. У транзисторі п-р-п концентрація донорів в емітері 10^{20} м^{-3}, концентрація акцепторів у базі 10^{18} м^{-3}. Враховуючи, що рухливості електронів та дірок дорівнюють 0,4 та $0,2\text{ м}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ відповідно, визначити відношення діркового струму до електронного на переході емітер-база. 	<p>№4</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. В зразку германію п-типу рухливість основних носіїв заряду $3\cdot 10^8\text{ мкс}$, а їх рухливість $6,2\text{ м}^2/\text{В}\cdot\text{с}$. Розрахувати дифузійну довжину електронів при $T=290\text{K}$. 2. Розрахувати довжину хвиль випромінювання, яке необхідне для створення електронно-діркових пар у власному германії $\Delta E=0,85\text{ Дж}$, кремнії $\Delta E=1,54\text{ Дж}$, арсеніді галію $\Delta E=1,5\text{ Дж}$, оксиді кремнію $\Delta E=12\text{ Дж}$.
<p>№5</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Дано зразок легованого кремнію п-типу довжиною 1см, шириною 0,2 см та товщиною 0,1 см. Рухливість електронів та дірок дорівнюють відповідно 1200 та $50\text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$, концентрація власних носіїв заряду $n_i=1,5\cdot 10^{10}\text{ см}^{-3}$. Ви- 	<p>№6</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. В зразку германію концентрація дірок 10^{20} м^{-3}, а їх рухливість $0,17\text{ м}^2/\text{В}\cdot\text{с}$. Розрахувати дифузійну довжину дірок та відношення концентрацій: електронної до діркової, якщо час життя 10^{-4}с, а власна концентрація $1,3\cdot 10^{19}\text{ м}^{-3}$.

<p>значити: а) концентрацію домішки в зразку, якщо його опір $R=150 \text{ Ом}$; б) відношення діркової питомої провідності до електронної.</p> <p>2. Питома електропровідність у власному напівпровіднику дорівнює $4,3 \cdot 10^{-4} \text{ См/м}$ при температурі $T=300\text{К}$. Розрахувати власну концентрацію, якщо рухливість електронів $0,135 \text{ м}^2/\text{В}\cdot\text{с}$, а рухливість дірок $0,048 \text{ м}^2/\text{В}\cdot\text{с}$.</p>	<p>2. Дано зразок легованого кремнію n-типу довжиною $1,5\text{см}$, шириною $0,5\text{см}$ та товщиною $0,2 \text{ см}$. Рухливість електронів та дірок дорівнюють відповідно 3200 та $1500 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$, концентрація власних носіїв заряду $n_i=1,5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$. Визначити: а) концентрацію домішки в зразку, якщо його опір $R=200 \text{ Ом}$; б) відношення діркової питомої провідності до електронної.</p>
<p>№7</p> <p>1. Зразок германію має в якості домішки 10^{14} донорних атомів в 1 см^3 при температурі зразку $T=300\text{К}$. Визначити щільність повного дрейфового струму, якщо до зразка прикладене електричне поле напруженістю 2 В/с. Рухливість електронів $3800 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$, рухливість дірок $1800 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$, $n_i=1,5 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$.</p> <p>2. Розрахувати питомий опір, якщо концентрація дорівнює 10^{14} см^{-3}, а рухливість $1400 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ та при значеннях концентрації 10^{18} см^{-3}, а рухливості $1900 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$.</p>	<p>№8</p> <p>1. В зразку германію n-типу концентрація донорів 10^{17} см^{-3}, а час життя електронів 50мкс. Розрахувати дифузійну довжину електронів при $T=300\text{К}$ та концентрацію акцепторів, якщо коефіцієнт дифузії $99 \text{ см}^2/\text{с}$, а власна концентрація $2,5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$.</p> <p>2. В рівноважному стані висота потенційного бар'єру германієвого p-n- переходу $0,5\text{В}$, концентрація акцепторної домішки в p-області набагато менша концентрації донорів в n- області та дорівнює $3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Площа переходу 4мм^2, $\epsilon=16 \text{ Ф}$. Визначити бар'єрні ємності, що відповідають зворотнім напругам $0,5$ та 15 В.</p>
<p>№9</p> <p>1. Розрахувати довжину хвиль випромінювання, яке необхідне для створення електронно-діркових пар у власному германії $\Delta E=0,67 \text{ Дж}$, кремнії $\Delta E=1,12 \text{ Дж}$, арсеніді галію $\Delta E=1,42 \text{ Дж}$, оксиді кремнію $\Delta E=9 \text{ Дж}$.</p> <p>2. В зразку кремнію концентрація донорів 10^{21} м^{-3}, а рухливості електронів та дірок дорівнюють $0,135 \text{ м}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ та $0,048 \text{ м}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ відповідно. Розрахувати відношення</p>	<p>№10</p> <p>1. Розрахувати коефіцієнти дифузії електронів та дірок в зразку кремнію при $T=300\text{К}$, якщо рухливість електронів $1400 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$, а рухливість дірок $500 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$.</p> <p>2. Зразок германію має в якості домішки 10^{16} донорних атомів в 1 см^3 при температурі зразку $T=300\text{К}$. Визначити щільність повного дрейфового струму, якщо до зразка прикладене електричне поле напруженістю 4 В/с. Рухли-</p>

електронної електропровідності до діркової, якщо $T=300\text{K}$, власна електропровідність $4,3 \cdot 10^{-4}\text{См/м}$.	вість електронів $3800\text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$, рухливість дірок $1800\text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$, $n_i=1,5 \cdot 10^{13}\text{ см}^{-3}$.
<p>№11</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Визначити час життя та рухливість дірок в кремнії р-типу при кімнатній температурі, якщо дифузійна довжина дірок $L_p=0,07\text{ см}$, а коефіцієнт дифузії $D_p=93\text{ см}^2/\text{с}$. 2. В зразку германію р-типу концентрація основних носіїв заряду 10^{16} см^{-3}, а коефіцієнт дифузії $93\text{ см}^2/\text{с}$. Розрахувати рухливість дірок та концентрацію електронів при власній концентрації $2,5 \cdot 10^{13}\text{ см}^{-3}$. 	<p>№12</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Розрахувати рухливість електронів та їх час життя при $T=300\text{K}$, якщо дифузійна довжина $0,15\text{ см}$, а коефіцієнт дифузії $93\text{ см}^2/\text{с}$. 2. Питомий опір р-області германієвого р-п переходу $3\text{ Ом}\cdot\text{см}$, а питомий опір п-області $1,5\text{ Ом}\cdot\text{см}$. Обчислити контактну різницю потенціалів при $T=300\text{K}$, якщо рухливість електронів $3800\text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$, рухливість дірок $1800\text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$, а власна концентрація германію $2,5 \cdot 10^{13}\text{ см}^{-3}$.
<p>№13</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Різкий кремнієвий р-п перехід має домішкові концентрації $N_a=10^{15}\text{ см}^{-3}$ та $N_d=2 \cdot 10^{17}\text{ см}^{-3}$. Розрахувати значення висоти потенційного бар'єру та ширину шару ОПЗ при кімнатній температурі та нульовій зовнішній напрузі. 2. Визначити концентрацію дірок та електронів в германії р-типу при $T=300\text{K}$, якщо питома провідність дірок дорівнює 100 См/см, рухливість дірок $1900\text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$, а власна концентрація германію $2,5 \cdot 10^{13}\text{ см}^{-3}$. 	<p>№14</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Рухливість дірок та електронів дорівнюють $500\text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ та $1400\text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ відповідно при температурі $T=300\text{K}$. Розрахувати коефіцієнти дифузії електронів та дірок. 2. В рівноважному стані висота потенційного бар'єру германієвого р-п- переходу $0,2\text{ В}$, концентрація акцепторної домішки в р-області набагато менша концентрації донорів в п- області та дорівнює $3 \cdot 10^{14}\text{ см}^{-3}$. Площа переходу 1 мм^2, $\epsilon=16\text{ Ф}$. Визначити ОПЗ для зворотної напруги $0,1$ та 10 В.
<p>№15</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Надано ВАХ напівпровідникового діоду. Напруга змінюється з інтервалом 1 В, а струм з інтервалом 1 А. Розрахувати значення опору та диференційного опору в будь-якій точці на прямій гілці ВАХ. 2. Визначити бар'єрну ємність германієвого р-п- переходу, якщо питомий опір р-області $3,5\text{ Ом}\cdot\text{см}$, 	<p>№16</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Питомий опір р-області кремнієвого р-п переходу $\rho_p=1,41\text{ Ом}\cdot\text{см}$, а п-області $\rho_n=2,24 \cdot 10^{-2}\text{ Ом}\cdot\text{см}$. Розрахувати контактну різницю потенціалів при $T=300\text{ К}$, якщо рухливість дірок та електронів дорівнюють $444\text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ та $279\text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ відповідно. 2. У власному германієвому напівп-

<p>контактна різниця потенціалів 0,35 В, прикладена зворотна напруга 5В та площа поперечного перетину переходу 1мм².</p>	<p>ровіднику при T=300К, рухливість електронів 3900 см²/В·с, рухливість дірок 1900 см²/В·с. Визначити концентрацію пар електрон-дірка, якщо електропровідність 0,01 См/см.</p>
<p>№17</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Германієвий p-n перехід має зворотній струм зміщення 1 мкА, а кремнієвий з такими ж розмірами -10⁻⁸ А. Розрахувати та порівняти пряме падіння напруги на переходах при T=293К, якщо через кожен діод протікає струм 100мА. 2. Визначити питому провідність зразку кремнію при T=300К, якщо концентрація акцепторів в напівпровіднику 2,3 · 10¹³ см⁻³, концентрація донорів 2,2 · 10¹³ см⁻³, коефіцієнти дифузії дірок та електронів складають 13 та 34 см²/с відповідно. 	<p>№18</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Надано ВАХ тунельного діоду. Напруга змінюється з інтервалом 1В, а струм з інтервалом 1А. Розрахувати значення опору та диференційного опору в будь-якій точці на ділянці з від'ємним диференційним опором. 2. Струм через діод 25 мкА. Визначити його опір та диференційний опір при T=300К, якщо напруга 0,1В, а струм насичення 0,2 мкА.
<p>№19</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. В деякому ідеальному p-n переході зворотній струм насичення 10⁻¹⁴ А при температурі T=300К, та 10⁻⁹ А при температурі T=125°С. Знайти напругу на p-n переході в обох випадках, якщо прямий струм 1мА. 2. Визначити питомий опір власного германієвого зразку при T=300К, якщо власна концентрація 2,5 · 10¹³ см⁻³, рухливості електронів та дірок 3900 та 1900 см²/В·с. Як зміниться питомий опір, якщо до цього зразку додати домішки так, щоб 1 атом донорної домішки приходився на 10⁸ атомів германію? Концентрація атомів германію при T=300К складає 4,4 · 10²⁸м⁻³. 	<p>№20</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. В кремнієвому p-n переході концентрація донорів 10¹⁷ см⁻³, рухливість електронів 3900 см²/В·с, час життя електронів 50мкс при T=300К. Розрахувати дифузійну довжину електронів та концентрацію акцепторів, якщо власна концентрація дорівнює 2,5 · 10¹³см⁻³. 2. В рівноважному стані висота потенційного бар'єру германієвого p-n- переходу 0,2В, концентрація акцепторної домішки в p-області набагато менша концентрації донорів в n- області та дорівнює 3 · 10¹⁴ см⁻³. Площа переходу 1мм², ε=16 Φ. Визначити ОПЗ для прямої напруги 0,1 В.
<p>№21</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. В деякому ідеальному p-n перехо- 	<p>№22</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Визначити питому провідність

<p>ді зворотній струм насичення 10^{-15} А при температурі $T=300\text{K}$, та 10^{-10} А при температурі $T=145^\circ\text{C}$. Знайти напругу на р-п переході в обох випадках, якщо прямий струм 5мА.</p> <p>2. В кремнієвому р-п переході концентрація донорів 10^{18} см^{-3}, рухливість електронів $2900\text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$, час життя електронів 70мкс при $T=300\text{K}$. Розрахувати дифузійну довжину електронів та концентрацію акцепторів, якщо власна концентрація дорівнює $2,5 \cdot 10^{13}\text{ см}^{-3}$.</p>	<p>зразку кремнію при $T=300\text{K}$, якщо концентрація акцепторів в напівпровіднику $2,0 \cdot 10^{13}\text{ см}^{-3}$, концентрація донорів $2,5 \cdot 10^{13}\text{ см}^{-3}$, коефіцієнти дифузії дірок та електронів складають 96 та 99 $\text{ см}^2/\text{с}$ відповідно.</p> <p>2. Різкий кремнієвий р-п-перехід має домішкові концентрації акцепторів 10^{14} см^{-3} та донорів $2 \cdot 10^{17}\text{ см}^{-3}$. Розрахувати значення висоти потенційного бар'єру та ширину ОПЗ при кімнатній температурі та нульовій зовнішній напрузі.</p>
--	---

ПРИКЛАДИ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ

Умова задачі:

Силіцієвий зразок p – типу провідності з питомим опором $0,2 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ і розмірами: довжина 5 мм , ширина 1 мм і висота 1 мм , ввімкнено в електричне коло з напругою між протилежними гранями по довжині 10В . Рухливість електронів і дірок дорівнює відповідно $0,130$ та $0,048\text{м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$.

Розрахувати:

- 1) питому провідність;
- 2) опір зразка;
- 3) концентрації основних і неосновних носіїв;
- 4) відношення електронної питомої провідності до діркової;
- 5) дрейфові швидкості дірок і електронів;
- 6) коефіцієнти дифузії дірок і електронів;
- 7) дрейфові струми електронів і дірок;
- 8) повний дрейфовий струм.

Розв'язування задачі

1. Питому провідність визначають за формулою:

$$\sigma = \frac{1}{\rho},$$

$$\sigma = \frac{1}{0,2} = 5 \text{ См/м.}$$

2. Опір зразка розраховують за формулою :

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

$$R = 0,2 \frac{5 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 10^{-3}} = 1 \cdot 10^3 \text{ Ом.}$$

3. Концентрацію акцепторів визначають за формулою для розрахунків питомої провідності власного напівпровідника:

$$\sigma = \sigma_n + \sigma_p = q n \mu_n + q p \mu_p,$$

$$5 = 1,602 \cdot 10^{-19} \left(p_p \cdot 0,048 + \frac{n_i^2}{p_p} \cdot 0,130 \right)$$

Виконують необхідні спрощення і перетворення і отримують рівняння:

$$p_p^2 - 6,502 \cdot 10^{20} p_p + 6,094 \cdot 10^{32} = 0.$$

Розв'язують останнє рівняння відносно p_p . Це буде концентрація основних носіїв – дірок у силіцієвому зразку:

$$p_p = 6,5 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}.$$

Концентрація акцепторної домішки буде $N_A = 6,5 \times 10^{20} \text{ м}^{-3}$.

Концентрацію неосновних носіїв визначають за законом діючих мас :

$$n_p = \frac{n_i^2}{p_p},$$

$$n_p = \frac{2,25 \cdot 10^{32}}{6,5 \cdot 10^{20}} = 3,46 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-3}.$$

4. Визначають відношення електронної питомої провідності до діркової:

$$\frac{\sigma_n}{\sigma_p} = \frac{q n_p \mu_n}{q p_p \mu_p} = \frac{n_p^2 \mu_n}{p_p^2 \mu_p},$$

$$\frac{\sigma_n}{\sigma_p} = \frac{2,25 \cdot 10^{32} \cdot 0,130}{(6,5 \cdot 10^{20})^2 \cdot 0,048} \cong 1,44 \cdot 10^{-9}.$$

5. Дрейфові швидкості дірок і електронів визначають за формулою:

$$v_{dp} = \mu \frac{E}{l}, \quad v_{dp} = \mu \xi$$

$$v_{dp} = 0,048 \cdot \frac{10}{5 \cdot 10^{-3}} = 960 \text{ м/с},$$

$$v_{dpn} = 0,130 \cdot \frac{10}{5 \cdot 10^{-3}} = 2600 \text{ м/с}.$$

6. Коефіцієнти дифузії дірок і електронів визначають за формулою:

$$D = \mu U_T,$$

$$D_p = \mu_p U_T = 0,048 \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{1,602 \cdot 10^{-19}} = 1,24 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с},$$

$$D_n = \mu_n U_T = 0,130 \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{1,602 \cdot 10^{-19}} = 3,36 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}.$$

7. Дрейфовий струм дірок і електронів визначають з урахуванням площі перетину зразка:

$$I_{\text{др}p} = q p_p \mu_p S \xi = \frac{1,602 \cdot 10^{-19} \cdot 6,5 \cdot 10^{20} \cdot 0,048 \cdot 1 \cdot 10^{-6} \cdot 10}{5 \cdot 10^{-3}} = 9,996 \text{ мА},$$

$$I_{\text{др}n} = q n_p \mu_n S \xi = \frac{1,602 \cdot 10^{-19} \cdot 3,46 \cdot 10^{11} \cdot 0,130 \cdot 1 \cdot 10^{-6} \cdot 10}{5 \cdot 10^{-3}} = 1,44 \cdot 10^{-11} \text{ А}.$$

8. Повний дрейфовий струм визначають з урахуванням площі перетину зразка:

$$I_{\text{др}} = q S \xi (p_p \mu_p + n_p \mu_n),$$

$$I_{\text{др}} = 1,602 \cdot 10^{-19} \cdot 1 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{10}{5 \cdot 10^{-3}} (6,5 \cdot 10^{20} \cdot 0,048 + 3,46 \cdot 10^{11} \cdot 0,13) \cong 9,996 \text{ мА}.$$

ТЕМИ ДОМАШНІХ КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ

1. Ефект Ганна і його використання для створення мікроелектронних пристроїв.
2. Тунельний ефект і його використання для створення мікроелектронних пристроїв.
3. Внутрішній і зовнішній фотоефекти і їх використання для створення мікроелектронних пристроїв.
4. Ефект Шоттки і його використання для створення мікроелектронних пристроїв.
5. Іонне легування в мікроелектроніці.
6. Діелектричні плівки в технології інтегральних мікросхем.
7. Фізико-хімічні основи іонної імплантації.
8. Фізико-хімічні процеси іонно-плазмового отримання плівок.
9. Фізико-хімічні основи отримання плівок методом термовакуумного випаровування.
10. Фізико-хімічні основи технології друкованих плат.
11. Використання дифузії для введення домішок в напівпровідник (дифузія з обмеженого і необмеженого джерела).
12. Технологія напівпровідникових інтегральних мікросхем.
13. Легування методом іонного впровадження.
14. Явище епітаксії і його використання в мікроелектроніці.
15. Металізація поверхонь кремнієвих структур.
16. Фотолітографія в процесі виготовлення ІМС.
17. Технологічні особливості виробництва великих інтегральних мікросхем.
18. Явище надпровідності і його використання в сучасній мікроелектроніці.
19. Ефект Джозефсона і його застосування в сучасній мікроелектроніці.
20. Ефект Мейснера і його застосування в сучасній мікроелектроніці.
21. Рідкі кристали та їх застосування в мікроелектроніці.
22. Сучасні методи дослідження матеріалів і елементів електронної техніки.
23. Фізико-хімічні основи отримання нових напівпровідникових з'єднань.
24. Кремній - матеріал наноелектроніки.
25. Монокристали, пластини і епітаксійні структури арсеніду галію і з'єднань АЗВ5 в технології виготовлення приладів електронної техніки.
26. Напівпровідникові сполуки в мікро-, опто- і наноелектроніки.
27. Нові методи отримання матеріалів для наноелектроніки.
28. Технологічні процеси герметизації ІМС.
29. Випробування інтегральних мікросхем. Види і категорії.
30. Очищення поверхні підкладок ГІС (види забруднень, способи очищення і контролю).

БАЗОВА ЛІТЕРАТУРА

1. Небеснюк О.Ю. Мікроелектронні пристрої. - Методичні вказівки до лабораторних робіт [Текст]: Методичні вказівки до лабораторних робіт для студентів ЗДІА 153 «Мікро- та наносистемна техніка», 171 «Електроніка» / Небеснюк О.Ю., Ніконова А.О. - Запоріжжя. - ЗДІА.- 2018.-30с.- 1 прим.
2. Кравчина В.В. Методичні вказівки до контрольних робіт по дисципліні “Мікроелектронні пристрої” [Текст]: Методичні вказівки до контрольних робіт для студентів ЗДІА за спеціальністю 7.05080102 ”ФБМЕ” / Кравчина В.В.- Запоріжжя. - ЗДІА.- 2007.- 86с.- 40 прим.
3. Кравчина В.В. Мікроелектронні пристрої. - Методичні вказівки до лабораторних робіт [Текст]: Методичні вказівки до лабораторних робіт, частина 2, для студентів ЗДІА за спеціальністю 7.05080102 ”ФБМЕ” / Кравчина В.В.- Запоріжжя. - ЗДІА.- 2014.- 69с.- 30 прим.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Готра З.Ю. Технологія електронної техніки [Текст]: Львів: Львівська політехніка. 2010. - 884 с. - 1 прим.
2. Маллер Р., Элементы интегральных схем. [Текст] : [Пер. англ. к.т.н. Е.З. Мазеля и Л.С. Ходоша] / Маллер Р., Кейминс Т. / М.: Мир, 1989.- 630с.- Device electronics for integrated circuits / Richard S. Muller and Theodore I. Kamins. John Wiley and Sons. Inc – New York.– 1986.– ISBN 5-03-001100-5 (русск.).-15000 экз.- 6 прим.
3. Готра З.Ю. Фізичні основи електронної техніки / З. Ю. Готра, І. Є. Лопатинський, Б. А. Лукіянець, З. М. Микитюк. [Текст]: Львів : «Бескид Біт», 2004.- 554 с. – 2прим.
4. Аваев Н.А., Наумов Ю.Е., Фролкин В.Т. Основы микроэлектроники.- [Текст]: Учеб. пособие для вузов по спец. "Радиотехника". - М.: Радио и связь, 1991. - 288с. – ISBN 5-256-00692-4. - 75000 экз.- 7 прим.
5. Зи С. Технология СБИС. Кн.1. [Текст] : Пер. с англ./ под ред. С. Зи - М.: Мир, 1986. - 404с. - 1 прим.
6. Зи С. Технология СБИС. Кн.2. [Текст] : Пер. с англ./ под ред. С. Зи - М.: Мир, 1986. - 404с.- 1 прим.
7. Васил'єва А.В. Напівпровідникові прилади. [Текст]: Київ :Кондор.2002-396 с. - 1 прим
8. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. Кн.1, Кн.2 [Текст]:. Пер. с англ. - М.: Мир, 1984. - 456с. - 3 прим.
9. Аваев Н.А., Наумов Ю.Е. Элементы сверхбольших интегральных схем [Текст]: - М.: Радио и связь, 1986. - 170с. - 2 прим.
10. Наноелектронна база інформатики [Електронний ресурс] - статті, огляди, книги – 2016 – Режим доступу: <http://www.intuit.ru/studies/courses/12180/1173/lecture/10520>. - Дата доступу: квітень 2016. – Назва з екрану.