

## Лабораторна робота

### Фізичні основи мікроелектронних пристроїв.

Мета роботи: розрахувати параметри заданих матеріалів та пристроїв.

#### Послідовність виконання роботи

1. Вирішити задачі згідно до варіанту.

<b>№1</b>	<b>№15</b>
<p>1. Питомий опір власного германію при <math>T=300\text{K}</math> <math>\rho=43\text{ Ом}\cdot\text{см}</math>. Рухливості електронів та дірок в германії дорівнюють відповідно 3900 та <math>1900\text{см}^2/\text{В}\cdot\text{с}</math>. Визначити власну концентрацію електронів та дірок.</p> <p>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 <math>3\cdot 10^{14}\text{ см}^{-3}</math>. Площа переходу <math>1\text{мм}^2</math>, <math>\epsilon=16</math> Ф. Визначити бар'єрні ємності, що відповідають зворотнім напругам 0,1 та 10 В.</p>	<p>1. В зразку германію п-типу рухливість основних носіїв заряду 10мкс, а їх рухливість <math>3900\text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}</math>. Розрахувати дифузійну довжину електронів при <math>T=300\text{K}</math>.</p> <p>2. Визначити коефіцієнт зворотного зв'язку <math>h_{12}</math> для біполярного транзистору п-р-п в схемі з загальною базою, якщо вхідна напруга 0,2В, <math>I_k=5\text{мА}</math>, <math>R_k=30\text{Ом}</math>.</p>
<b>№2</b>	<b>№16</b>
<p>1. Визначити концентрацію неосновних носіїв заряду, їх рухливість в зразку германієвого напівпровідника р-типу при <math>T=300\text{K}</math>, якщо концентрація акцепторної домішки <math>N_a=10^{16}\text{ см}^{-3}</math>, а коефіцієнт дифузії електронів <math>D_n=93\text{ см}^2/\text{с}</math>.</p> <p>2. У транзисторі п-р-п концентрація донорів в емітері <math>10^{20}\text{ м}^{-3}</math>, концентрація акцепторів у базі <math>10^{18}\text{ м}^{-3}</math>. Враховуючи, що рухливості електронів та дірок дорівнюють 0,4 та 0,2 <math>\text{м}^2/\text{В}\cdot\text{с}</math> відповідно, визначити відношення діркового струму до електронного на переході емітер-база.</p>	<p>1. В зразку германію п-типу рухливість основних носіїв заряду <math>3\cdot 10^{-8}\text{ мкс}</math>, а їх рухливість <math>6,2\text{ м}^2/\text{В}\cdot\text{с}</math>. Розрахувати дифузійну довжину електронів при <math>T=290\text{K}</math>.</p> <p>2. Розрахувати довжину хвиль випромінювання, яке необхідне для створення електронно-діркових пар у власному германії <math>\Delta E=0,85\text{ Дж}</math>, кремнії <math>\Delta E=1,54\text{ Дж}</math>, арсеніді галію <math>\Delta E=1,5\text{ Дж}</math>, оксиді кремнію <math>\Delta E=12\text{ Дж}</math>.</p>
<b>№3</b>	<b>№17</b>
<p>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 <math>\text{см}^2/\text{В}\cdot\text{с}</math>, концентрація власних носіїв заряду <math>n_i=1,5\cdot 10^{10}\text{ см}^{-3}</math>. Визначити: а) концентрацію домішки в зразку, якщо його опір <math>R=150\text{ Ом}</math>; б) відношення діркової питомої провідності до електронної.</p> <p>2. Питома електропровідність у власному напівпровіднику дорівнює <math>4,3\cdot 10^{-4}\text{ См/м}</math> при температурі <math>T=300\text{K}</math>. Розрахувати власну концентрацію, якщо рухливість електронів <math>0,135\text{ м}^2/\text{В}\cdot\text{с}</math>, а рухливість дірок <math>0,048\text{ м}^2/\text{В}\cdot\text{с}</math>.</p>	<p>1. В зразку германію концентрація дірок <math>10^{20}\text{ м}^{-3}</math>, а їх рухливість <math>0,17\text{ м}^2/\text{В}\cdot\text{с}</math>. Розрахувати дифузійну довжину дірок та відношення концентрацій: електронної до діркової, якщо час життя <math>10^{-4}\text{ с}</math>, а власна концентрація <math>1,3\cdot 10^{19}\text{ м}^{-3}</math>.</p> <p>2. Дано зразок легованого кремнію п-типу довжиною 1,5см, шириною 0,5см та товщиною 0,2 см. Рухливість електронів та дірок дорівнюють відповідно 3200 та 1500 <math>\text{см}^2/\text{В}\cdot\text{с}</math>, концентрація власних носіїв заряду <math>n_i=1,5\cdot 10^{13}\text{ см}^{-3}</math>. Визначити: а) концентрацію домішки в зразку, якщо його опір <math>R=200\text{ Ом}</math>; б) відношення діркової питомої провідності до електронної.</p>
<b>№4</b>	<b>№18</b>

<ol style="list-style-type: none"> <li>Зразок германію має в якості домішки <math>10^{14}</math> донорних атомів в <math>1 \text{ см}^3</math> при температурі зразку <math>T=300\text{K}</math>. Визначити щільність повного дрейфового струму, якщо до зразка прикладене електричне поле напруженістю <math>2 \text{ В/с}</math>. Рухливість електронів <math>3800 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}</math>, рухливість дірок <math>1800 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}</math>, <math>n_i=1,5 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}</math>.</li> <li>Розрахувати питомий опір, якщо концентрація дорівнює <math>10^{14} \text{ см}^{-3}</math>, а рухливість <math>1400 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}</math> та при значеннях концентрації <math>10^{18} \text{ см}^{-3}</math>, а рухливості <math>1900 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}</math>.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>В зразку германію n-типу концентрація донорів <math>10^{17} \text{ см}^{-3}</math>, а час життя електронів <math>50 \text{ мкс}</math>. Розрахувати дифузійну довжину електронів при <math>T=300\text{K}</math> та концентрацію акцепторів, якщо коефіцієнт дифузії <math>99 \text{ см}^2/\text{с}</math>, а власна концентрація <math>2,5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}</math>.</li> <li>В рівноважному стані висота потенційного бар'єру германієвого p-n- переходу <math>0,5 \text{ В}</math>, концентрація акцепторної домішки в p-області набагато менша концентрації донорів в n- області та дорівнює <math>3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}</math>. Площа переходу <math>4 \text{ мм}^2</math>, <math>\epsilon=16 \Phi</math>. Визначити бар'єрні ємності, що відповідають зворотнім напругам <math>0,5</math> та <math>15 \text{ В}</math>.</li> </ol>
<p style="text-align: center;"><b>№5</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Розрахувати довжину хвиль випромінювання, яке необхідне для створення електронно-діркових пар у власному германії <math>\Delta E=0,67 \text{ Дж}</math>, кремнії <math>\Delta E=1,12 \text{ Дж}</math>, арсеніді галію <math>\Delta E=1,42 \text{ Дж}</math>, оксиді кремнію <math>\Delta E=9 \text{ Дж}</math>.</li> <li>В зразку кремнію концентрація донорів <math>10^{21} \text{ м}^{-3}</math>, а рухливості електронів та дірок дорівнюють <math>0,135 \text{ м}^2/\text{В}\cdot\text{с}</math> та <math>0,048 \text{ м}^2/\text{В}\cdot\text{с}</math> відповідно. Розрахувати відношення електронної електропровідності до діркової, якщо <math>T=300\text{K}</math>, власна електропровідність <math>4,3 \cdot 10^{-4} \text{ См/м}</math>.</li> </ol>	<p style="text-align: center;"><b>№19</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Розрахувати коефіцієнти дифузії електронів та дірок в зразку кремнію при <math>T=300\text{K}</math>, якщо рухливість електронів <math>1400 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}</math>, а рухливість дірок <math>500 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}</math>.</li> <li>Зразок германію має в якості домішки <math>10^{16}</math> донорних атомів в <math>1 \text{ см}^3</math> при температурі зразку <math>T=300\text{K}</math>. Визначити щільність повного дрейфового струму, якщо до зразка прикладене електричне поле напруженістю <math>4 \text{ В/с}</math>. Рухливість електронів <math>3800 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}</math>, рухливість дірок <math>1800 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}</math>, <math>n_i=1,5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}</math>.</li> </ol>
<p style="text-align: center;"><b>№6</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Визначити час життя та рухливість дірок в кремнії p-типу при кімнатній температурі, якщо дифузійна довжина дірок <math>L_p=0,07 \text{ см}</math>, а коефіцієнт дифузії <math>D_p=93 \text{ см}^2/\text{с}</math>.</li> <li>В зразку германію p-типу концентрація основних носіїв заряду <math>10^{16} \text{ см}^{-3}</math>, а коефіцієнт дифузії <math>93 \text{ см}^2/\text{с}</math>. Розрахувати рухливість дірок та концентрацію електронів при власній концентрації <math>2,5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}</math>.</li> </ol>	<p style="text-align: center;"><b>№20</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Розрахувати рухливість електронів та їх час життя при <math>T=300\text{K}</math>, якщо дифузійна довжина <math>0,15 \text{ см}</math>, а коефіцієнт дифузії <math>93 \text{ см}^2/\text{с}</math>.</li> <li>Питомий опір p-області германієвого p-n- переходу <math>3 \text{ Ом}\cdot\text{см}</math>, а питомий опір n-області <math>1,5 \text{ Ом}\cdot\text{см}</math>. Обчислити контактну різницю потенціалів при <math>T=300\text{K}</math>, якщо рухливість електронів <math>3800 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}</math>, рухливість дірок <math>1800 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}</math>, а власна концентрація германію <math>2,5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}</math>.</li> </ol>
<p style="text-align: center;"><b>№7</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Різкий кремнієвий p-n перехід має домішкові концентрації <math>N_a=10^{15} \text{ см}^{-3}</math> та <math>N_d=2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}</math>. Розрахувати значення висоти потенційного бар'єру та ширину шару ОПЗ при кімнатній температурі та нульовій зовнішній напрузі.</li> <li>Визначити концентрацію дірок та електронів в германії p-типу при <math>T=300\text{K}</math>, якщо питома провідність дірок дорівнює <math>100 \text{ См/см}</math>, рухливість дірок <math>1900 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}</math>, а власна концентрація германію <math>2,5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}</math>.</li> </ol>	<p style="text-align: center;"><b>№13</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Рухливість дірок та електронів дорівнюють <math>500 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}</math> та <math>1400 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}</math> відповідно при температурі <math>T=300\text{K}</math>. Розрахувати коефіцієнти дифузії електронів та дірок.</li> <li>В рівноважному стані висота потенційного бар'єру германієвого p-n- переходу <math>0,2 \text{ В}</math>, концентрація акцепторної домішки в p-області набагато менша концентрації донорів в n- області та дорівнює <math>3 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}</math>. Площа переходу <math>1 \text{ мм}^2</math>, <math>\epsilon=16 \Phi</math>. Визначити ОПЗ для зворотної напруги <math>0,1</math> та <math>10 \text{ В}</math>.</li> </ol>
<p style="text-align: center;"><b>№11</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Надано ВАХ напівпровідникового діоду. Напруга змінюється з інтервалом <math>1 \text{ В}</math>, а струм з інтервалом <math>1 \text{ А}</math>. Розрахувати</li> </ol>	<p style="text-align: center;"><b>№8</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Питомий опір p-області кремнієвого p-n переходу <math>\rho_p=1,41 \text{ Ом}\cdot\text{см}</math>, а n-області <math>\rho_n=2,24 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}\cdot\text{см}</math>. Розрахувати контактну</li> </ol>

<p>значення опору та диференційного опору влюбій точці на прямій гілці ВАХ.</p> <p>2. Визначити бар'єрну ємність германієвого р-п- переходу, якщо питомий опір р-області <math>3,5 \text{ Ом} \cdot \text{см}</math>, контактна різниця потенціалів <math>0,35 \text{ В}</math>, прикладена зворотна напруга <math>5 \text{ В}</math> та площа поперечного перетину переходу <math>1 \text{ мм}^2</math>.</p>	<p>різницю потенціалів при <math>T=300 \text{ К}</math>, якщо рухливість дірок та електронів дорівнюють <math>444 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}</math> та <math>279 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}</math> відповідно.</p> <p>2. У власному германієвому напівпровіднику при <math>T=300\text{К}</math>, рухливість електронів <math>3900 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}</math>, рухливість дірок <math>1900 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}</math>. Визначити концентрацію пар електрон-дірка, якщо електропровідність <math>0,01 \text{ См/см}</math>.</p>
<p style="text-align: center;"><b>№9</b></p> <p>1. Германієвий р-п перехід має зворотній струм зміщення <math>1 \text{ мкА}</math>, а кремнієвий з такими ж розмірами <math>-10^{-8} \text{ А}</math>. Розрахувати та порівняти пряме падіння напруги на переходах при <math>T=293\text{К}</math>, якщо через кожен діод протікає струм <math>100 \text{ мА}</math>.</p> <p>2. Визначити питому провідність зразку кремнію при <math>T=300\text{К}</math>, якщо концентрація акцепторів в напівпровіднику <math>2,3 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}</math>, концентрація донорів <math>2,2 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}</math>, коефіцієнти дифузії дірок та електронів складають <math>13</math> та <math>34 \text{ см}^2/\text{с}</math> відповідно.</p>	<p style="text-align: center;"><b>№12</b></p> <p>1. Надано ВАХ тунельного діоду. Напруга змінюється з інтервалом <math>1 \text{ В}</math>, а струм з інтервалом <math>1 \text{ А}</math>. Розрахувати значення опору та диференційного опору влюбій точці на ділянці з від'ємним диференційним опором.</p> <p>2. Струм через діод <math>25 \text{ мкА}</math>. Визначити його опір та диференційний опір при <math>T=300\text{К}</math>, якщо напруга <math>0,1 \text{ В}</math>, а струм насичення <math>0,2 \text{ мкА}</math>.</p>
<p style="text-align: center;"><b>№10</b></p> <p>1. В деякому ідеальному р-п переході зворотній струм насичення <math>10^{-14} \text{ А}</math> при температурі <math>T=300\text{К}</math>, та <math>10^{-9} \text{ А}</math> при температурі <math>T=125^\circ\text{C}</math>. Знайти напругу на р-п переході в обох випадках, якщо прямий струм <math>1 \text{ мА}</math>.</p> <p>2. Визначити питомий опір власного германієвого зразку при <math>T=300\text{К}</math>, якщо власна концентрація <math>2,5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}</math>, рухливості електронів та дірок <math>3900</math> та <math>1900 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}</math>. Як зміниться питомий опір, якщо до цього зразку додати домішки так, щоб <math>1</math> атом донорної домішки приходився на <math>10^8</math> атомів германію? Концентрація атомів германію при <math>T=300\text{К}</math> складає <math>4,4 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}</math>.</p>	<p style="text-align: center;"><b>№14</b></p> <p>1. В кремнієвому р-п переході концентрація донорів <math>10^{17} \text{ см}^{-3}</math>, рухливість електронів <math>3900 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}</math>, час життя електронів <math>50 \text{ мкс}</math> при <math>T=300\text{К}</math>. Розрахувати дифузійну довжину електронів та концентрацію акцепторів, якщо власна концентрація дорівнює <math>2,5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}</math>.</p> <p>2. В рівноважному стані висота потенційного бар'єру германієвого р-п- переходу <math>0,2 \text{ В}</math>, концентрація акцепторної домішки в р-області набагато менша концентрації донорів в п- області та дорівнює <math>3 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}</math>. Площа переходу <math>1 \text{ мм}^2</math>, <math>\epsilon=16 \text{ Ф}</math>. Визначити ОПЗ для прямої напруги <math>0,1 \text{ В}</math>.</p>
<p style="text-align: center;"><b>№21</b></p> <p>1. В деякому ідеальному р-п переході зворотній струм насичення <math>10^{-15} \text{ А}</math> при температурі <math>T=300\text{К}</math>, та <math>10^{-100} \text{ А}</math> при температурі <math>T=145^\circ\text{C}</math>. Знайти напругу на р-п переході в обох випадках, якщо прямий струм <math>5 \text{ мА}</math>.</p> <p>2. В кремнієвому р-п переході концентрація донорів <math>10^{18} \text{ см}^{-3}</math>, рухливість електронів <math>2900 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}</math>, час життя електронів <math>70 \text{ мкс}</math> при <math>T=300\text{К}</math>. Розрахувати дифузійну довжину електронів та концентрацію акцепторів, якщо власна концентрація дорівнює <math>2,5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}</math>.</p>	<p style="text-align: center;"><b>№22</b></p> <p>1. Визначити питому провідність зразку кремнію при <math>T=300\text{К}</math>, якщо концентрація акцепторів в напівпровіднику <math>2,0 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}</math>, концентрація донорів <math>2,5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}</math>, коефіцієнти дифузії дірок та електронів складають <math>96</math> та <math>99 \text{ см}^2/\text{с}</math> відповідно.</p> <p>2. Різкий кремнієвий р-п-перехід має домішкові концентрації акцепторів <math>10^{14} \text{ см}^{-3}</math> та донорів <math>2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}</math>. Розрахувати значення висоти потенційного бар'єру та ширину ОПЗ при кімнатній температурі та нульовій зовнішній напрузі.</p>

## **Зміст звіту**

Звіт повинен містити тему та мету роботи, завдання, повне рішення з вказанням одиниць вимірювання .

### **Контрольні питання**

1. Основні параметри та їх визначення для власного напівпровідника.
2. Основні параметри та їх визначення для домішкового напівпровідника
3. Основні характеристики та параметри напівпровідникових діодів.