

**Міністерство освіти і науки України**  
**Чернівецький національний університет**  
**імені Юрія Федьковича**

**Інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук**

**Кафедра електроніки і енергетики**

**Діоди Шотткі на основі багат шарових тонких  
плівки графену, сформованих на кристалічних  
підкладках CdTe**

**Дипломна робота**

**ОКР «Бакалавр»**

Виконав: студент 4 курсу, групи 433ск  
Спеціальності 141“Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка”  
(шифр і назва спеціальності)

Мостовий В.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник Ілащук М.І.

(прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

**До захисту допущено:**

**Протокол засідання кафедри № \_\_\_\_\_**

від „\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2024 р.

зав. кафедри \_\_\_\_\_ доц. Майструк Е.В.

## Анотація

У роботі досліджено електричні властивості діодів Шотткі графен/p-CdTe. Проаналізовано температурну залежність висоти потенціального бар'єра, а також послідовний та шунтуючий опори діодів Шотткі графен/p-CdTe.

Досліджено домінуючі механізми струмопереносу діодів Шотткі графен/p-CdTe при прямому і зворотному зміщенні.

Визначено глибину залягання акцепторного рівня, який становить  $E_A = 0.24$  eV і пов'язаний з фоновими домішками в нелегованому p-CdTe.

Дипломна робота написана на українській мові та містить 40 сторінок, 16 рисунків, 4 формули, 2 таблиці і 20 літературних джерел.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	4
<b>РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА</b> .....	5
1.1. Структурні властивості графену .....	5
1.2. Фізичні властивості графену .....	7
1.3. Застосування графену у приладах оптоелектроніки .....	12
1.4. Використання графену в якості прозорих електродів сонячних елементах.....	16
<b>РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА</b> .....	19
2.1. Методика вирощування тонких плівок багат шарового графену методом механічного відлущування графіту .....	19
2.2. Виготовлення діодів Шоттки на основі багат шарових тонких плівок графену .....	20
2.3. Методика та установка для вимірювання ВАХ.....	22
<b>РОЗДІЛ 3. ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ</b> .....	25
3.1. Електричні властивості діодів Шоттки графен/p-CdTe .....	25
3.2. Механізми струмопереносу діодів Шоттки графен/p-CdTe при прямих зміщеннях .....	29
3.3. Механізми струмопереносу діодів Шоттки графен/p-CdTe при зворотніх зміщеннях .....	30
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	32
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	33
<b>ДОДАТОК</b> .....	35
Техніка безпеки і охорона праці.....	35
1. Робота з електровимірювальними приладами та високою напругою ....	35
2. Пожежна безпека .....	37
3. Основні заходи при роботі з хімічними речовинами.....	39

## ВСТУП

Графен є двовимірним матеріалом з унікальними електричними та оптичними властивостями. Широке використання вуглецю та матеріалів на його основі в електроніці та оптоелектроніці почалося після відкриття сімейства вуглецевих наноматеріалів: фулеренів, вуглецевих нанотрубок і графену. Ці відкриття призвели до присудження двох Нобелівських премій з фізики в 1998 і 2010 роках [1-2].

Виняткові електричні та оптичні властивості графену роблять його надзвичайно перспективним матеріалом для різних прикладних досліджень. Його висока провідність і оптична прозорість у видимому спектрі роблять графен чудовим кандидатом для використання в якості провідного прозорого електрода в світлодіодах, сенсорних екранах і сонячних елементах. Окрім ролі пасивного провідного прозорого контакту, графен також використовується у виробництві гетероструктурних сонячних елементів, де він допомагає формувати вбудоване електричне поле на межі розділу графен/кремній, створюючи електричний перехід типу діода Шотткі [3-5].

На сьогоднішній день розроблено безліч методів виробництва графену, кожен з яких має свої переваги та недоліки. Графен, отриманий різними методами, демонструє різні властивості, що робить його придатним для різноманітних застосувань. Механічне відлущування графіту до графену в органічних розчинниках за допомогою кухонного блендера є простим і економічно ефективним методом синтезу. Інша техніка, рідинне відшарування за допомогою сили зсуву в змішувачі з ротором і статором, виробляє графен з низькою кількістю дефектів окислення та високою концентрацією [6].

Тому виробництво та дослідження ВАХ діодів Шотткі на основі тонких плівок багат шарового графену, отриманих шляхом механічного відшарування графіту, є актуальною та важливою темою досліджень.

## РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

### 1.1. Структурні властивості графену

Графен має унікальну зонну структуру завдяки своїй кристалічній структурі, де атоми вуглецю утворюють плоску гексагональну решітку.

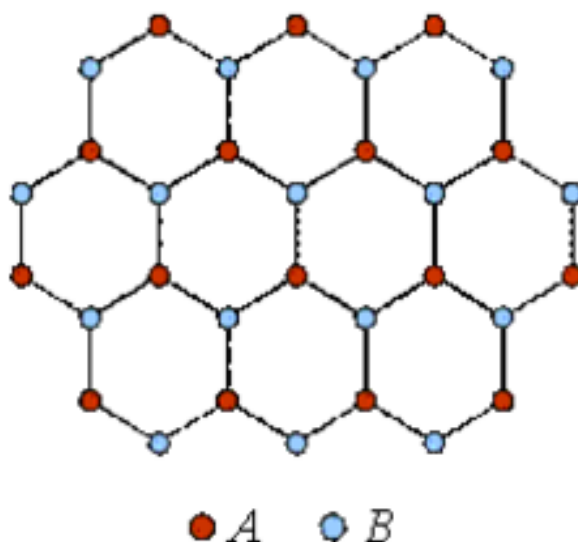


Рис. 1.1. Трикутні підґратки графену. Кожен атом графену підґратки А з'єднується з трьома найближчими сусідніми атомами з підґратки В і навпаки [6]

Кожен атом вуглецю в графені зв'язаний з трьома найближчими сусідами на відстані  $\delta = 1,42 \text{ \AA}$  за допомогою  $\sigma$ -зв'язків, причому четвертий  $\pi$ -зв'язок орієнтований перпендикулярно до площини решітки. Ці  $\pi$ -зв'язки гібридизуються, утворюючи зони К і К\*, які мають вирішальне значення для чітких електронних властивостей графену. Гексагональну решітку графену можна розглядати як дві трикутні підґратки (рис 1.1), підхід, спочатку використаний Уоллесом у 1947 році.

Зону структуру зазвичай аналізують, виводячи співвідношення між енергією та імпульсом електронів у матеріалі. Співвідношення дисперсії для графену в імпульсному просторі можна отримати, використовуючи наближення сильного зв'язку, що призводить до зображення першої зони

Брілюєна та зонної структури, де точки К і К' представляють точки Дірака (рис. 1.2). Ці точки позначають переходи між зоною провідності та валентною зоною, що вказує на те, що графен є напівпровідником із нульовою забороненою зоною або напівметалом.

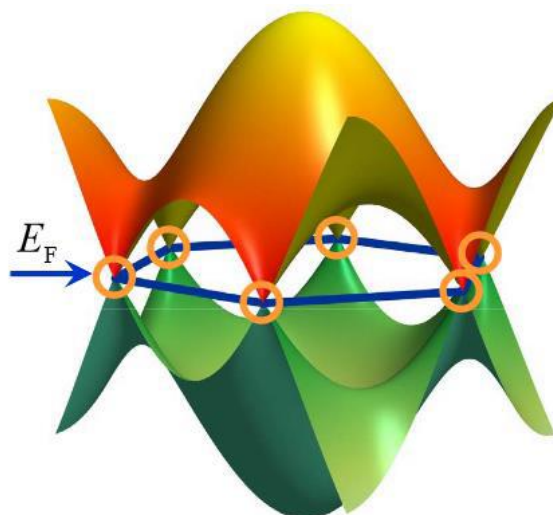


Рис. 1.2. Перша зона Брілюєна (шестикутник, що з'єднує точки К і К') і зонна структура графену

Графен може витримувати навантаження до 5 тон без пошкоджень, перевершуючи алмаз за міцністю, незважаючи на те, що обидва матеріали складаються з атомів вуглецю. На відміну від алмазу, який менш стабільний, графен демонструє дивовижну стабільність. Подібну структуру можна знайти в шаруватому нітриді бору, де атоми бору та азоту замінюють атоми вуглецю, що призводить до абсолютно інших властивостей. Тоді як графен є напівметалом з високою електропровідністю, нітрид бору є широкосмуговим ізолятором. Іншим перспективним матеріалом є дисульфід молібдену або навіть шаруваті структури, що поєднують графен і нітрид бору, які демонструють нові технічні можливості завдяки тунелюванню електронів через шари нітриду бору.

Графенові плівки вирізняються своєю міцністю та еластичністю, з модулем Юнга близько 1 ТПа та міцністю на розрив 130 ГПа [7].

Незважаючи на свою тонкість ( $<0,5$  нм), вони настільки щільні, що перешкоджають проходженню навіть атомів гелію, що не властиво металевій фользі. Легкість графену демонструє той факт, що цілий грам графенової плівки може покрити площу  $2600 \text{ м}^2$  [8, 9]. Він також має надзвичайно високу теплопровідність (приблизно  $5 \times 10^3 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ ), а його висока електропровідність дозволяє переносити електричні струми, які в мільйон разів перевищують ті, які можливі в мідних плівках.

Графен пропускає понад 97% видимого світла і має комплексний показник заломлення приблизно  $n=2,0-1,1i$  у видимому спектрі. Його властивості, особливо електричні, можуть бути значно змінені шляхом хімічних модифікацій. Наприклад, обробка графену холодною водневою плазмою приєднує атоми водню до атомів вуглецю, трансформуючи його структуру та перетворюючи його на «графан», діелектрик. Цим процесом гідрування можна керувати для створення специфічних візерунків на поверхні графену, залишаючи захищені ділянки з високою електропровідністю, а незахищені ділянки стають діелектриками.

## 1.2. Фізичні властивості графену

Графен, нещодавно відкритий матеріал із винятковими електричними та оптичними властивостями, викликав значний інтерес для різних потенційних застосувань. Серед найбільш перспективних — його використання в якості прозорого провідного електрода в сонячних елементах і сенсорних екранах. Ця робота включає два паралельних дослідження електричних і оптичних властивостей графену. Графен був синтезований на міді за допомогою стандартного методу хімічного осадження з газової фази (CVD). Вплив хімічного легування р-типу на графенові пакети було досліджено для зменшення опору листа. Допування успішно зменшило опір

листа в три рази, досягнувши плівки з восьми шарів і опором листа 90 кОм при 80% пропускання.

Крім того, була розроблена теоретична модель для точного опису системи упакованої графенової плівки як резистора. Експериментальні дані продемонстрували лінійне збільшення провідності зі збільшенням кількості шарів графену, що вказує на те, що кожен шар забезпечує додатковий транспортний канал. Цей висновок повністю узгоджується з теоретичною моделлю (рис. 1.3).

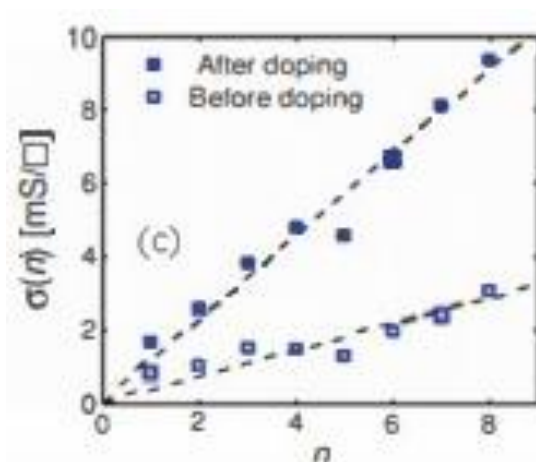


Рис. 1.3. Залежність електропровідності графену від кількості шарів

Щоб дослідити оптичні властивості, ми спочатку оптимізували умови росту, щоб отримати гладку та чисту графенову плівку. Вплив відпалу та тривалості росту аналізували за допомогою різних методів визначення характеристик, включаючи рентгенівську фотоелектронну спектроскопію (XPS), раманівську спектроскопію, розсіювання іонів середньої енергії (MEIS), еліпсометрію та поверхневий плазмонний резонанс (SPR). Ці методи дозволили зрозуміти товщину та показники заломлення як одношарового, так і багат шарового графену.

Графен вирощували в наступних умовах: 10 хвилин відпалу міді з подальшим 10 хвилинами впливу вуглецю, утворюючи найгладкіші та найчистіші плівки. У той час як електричні властивості залишалися



незмінними в різних умовах вирощування, коротший час відпалу та вирощування призводив до меншої шорсткості поверхні та зменшення розсіювання, полегшуючи оптичні вимірювання. Дані MEIS про товщину та результати еліпсометрії для показників заломлення ( $n$  і  $k$ ) (рис. 1.4) були використані для підгонки даних SPR, які служать основою для вивчення поширення плазмонів у графені.

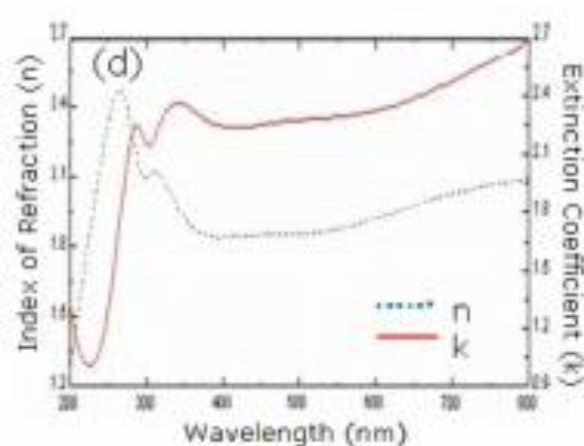


Рис. 1.4. Оптичні константи  $n$  і  $k$  1-шарового графену

Розуміння взаємодії між електричними та оптичними властивостями має вирішальне значення для розробки оптоелектронних пристроїв на основі графену.

Графен демонструє надзвичайну рухливість електронів при кімнатній температурі, приблизно  $2000 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ , що дозволяє досліджувати незвичайний квантовий ефект Холла в мікромеханічно нанесеному графені. Його висока рухливість електронів і чутливість до магнітних полів роблять графен чудовим матеріалом для розробки вуглецевих нанотрубок і польових транзисторів. Рухливість електронів у графені залишається незалежною від температури між 10 і 100 К, що вказує на те, що розсіювання дефектів переважно впливає на рухливість.

За допомогою відпалу зразки графену можуть бути покращені для досягнення рухливості близько  $25\,000 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ . У графені з мінімальними

структурними дефектами рухливість може досягати приблизно 40 000  $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ . Пристрої, виготовлені з використанням високоякісного відпаленого графену, досягли рухливості до 200 000  $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ , що є найвищим показником для будь-якого напівпровідника чи металу в історії розвитку електроніки (рис. 1.5).

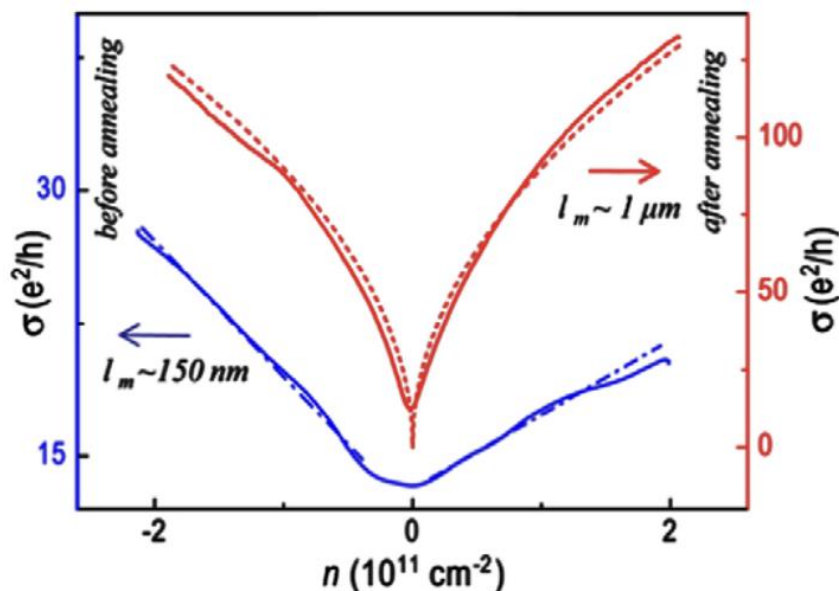


Рис. 1.5. Рухливість носіїв заряду в графені

Варто відмітити, що рухливість графену залишається високою навіть при підвищених концентраціях носіїв, індукованих електричним полем, при цьому хімічне легування має мінімальний вплив на рухливість. Експериментально виміряна провідність показує, що рухливість дірок і електронів майже однакова. За цими вимірюваннями можна визначити середню довжину вільного пробігу, яка показує збільшення від 150 нм до 1 мкм після відпалу [3].

Примітною характеристикою графену є його майже лінійна дисперсійна крива поблизу точки Дірака, де рівень Фермі можна легко налаштувати для контролю рівнів легування. Це призвело до відкриття фази Беррі та квантового ефекту Холла. Ці властивості прокладають шлях для виготовлення спінтронних пристроїв і спостереження відбиття Андрєєва. Прецесія відбиття на мікрометрових відстанях була продемонстрована на

одному аркуші графену при кімнатній температурі. Однак для виготовлення пристрою необхідні нелінійні ефекти, оскільки обробка інформації потребує посилення сигналу для підвищення чутливості. Лінійна дисперсійна крива з нульовою густиною станів на стику валентної зони та зони провідності перешкоджає такій нелінійності. Зокрема, польова модуляція характеристик провідності досить неефективна в графені, що спонукає до пошуку шляхів модифікації матеріалу для створення польових транзисторів.

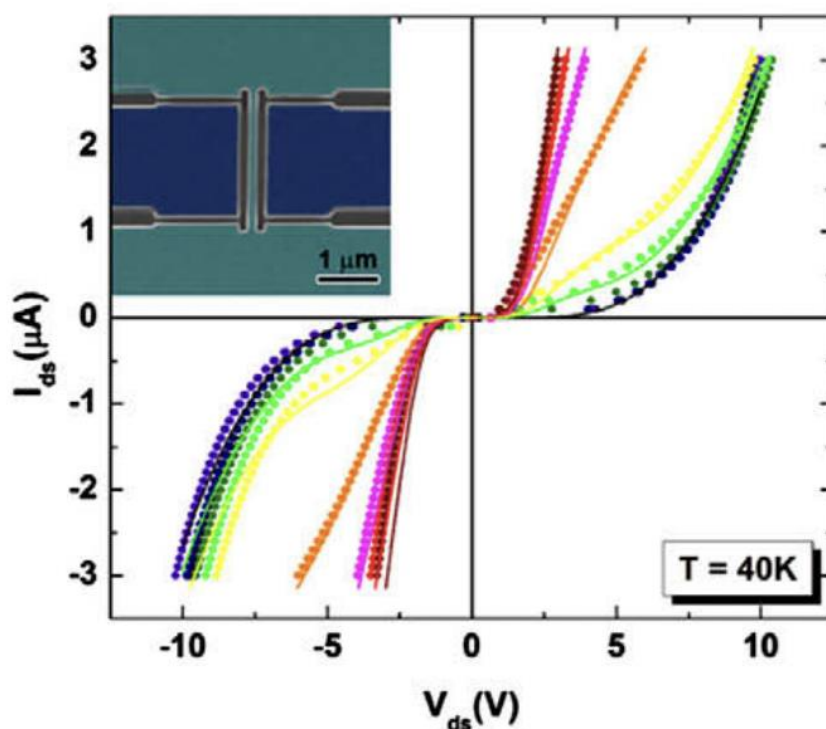


Рис. 1.6. ВАХ зразка нанострічки з графену шириною 100 нм

Провідність і ширина забороненої зони графену також змінюються залежно від форми матеріалу. Дослідження графенових нанострічок показали, що ширина забороненої зони залежить від ширини та довжини стрічки, подібно до вуглецевих нанотрубок. Перші графенові стрічки шириною 100 нм були отримані травленням сфокусованим пучком іонів. Сімейство ВАХ для такої вибірки представлено на рис. 1.6.

### 1.3. Застосування графену у приладах оптоелектроніки

Для отримання графену великої площі використовувався метод CVD, після графен переносився на очищені поверхні підкладинок. Тиловий контакт до Si підкладинок *n*-типу провідності формували за допомогою In-Ga евтектики. На рис. 1.7 показано схематичне зображення готового сонячного елемента.

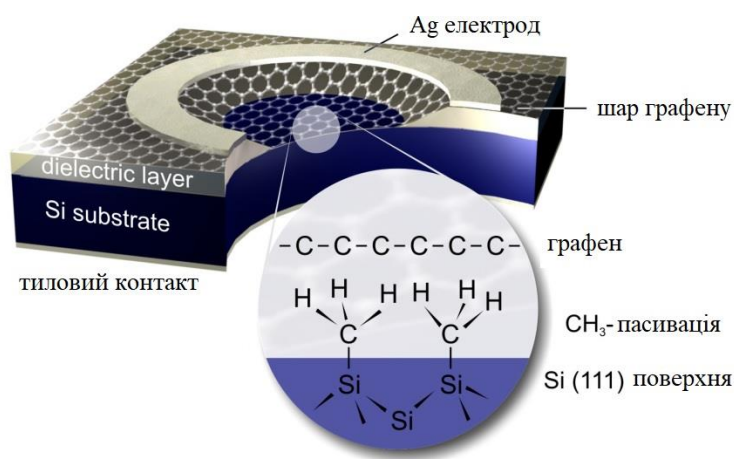


Рис. 1.7. Схематичне зображення сонячного елемента графен/Si

Для різних випадків пасивації кремнієвої поверхні були створені гетеропереходи шляхом перенесення на них графену. ВАХ цих гетеропереходів показано на рис. 1.8. Пунктирні лінії на рис. 1.8а представляють темнові ВАХ структури графен/Si-H, а також графен/Si-CH<sub>3</sub>. Ці виміряні ВАХ демонструють виражену випрямляючу поведінку з вбудованим потенціалом приблизно 0,5 В. Зразки з пасивацією CH<sub>3</sub> демонструють дещо меншу густину струму порівняно із зразками з пасивацією H. ВАХ також вимірювали за умов освітлення АМ 1.5 (100 мВт/см<sup>2</sup>) (рис. 1.8а).

Зразок з H-пасивацією демонструє сильну залежність фотоструму від прикладеного зміщення і може працювати тільки в режимі фотодіода. У фотоелектричному режимі гетероструктура з H-пасивацією генерує

незначний струм короткого замикання та напругу холостого ходу, що пояснюється високою швидкістю поверхневої рекомбінації, що підтверджується спектром фотолюмінесценції. І навпаки, гетероперехід графен/Si-CH<sub>3</sub> ефективно працює у фотоелектричному режимі завдяки зниженим рекомбінаційним втратам на гетеропереході. Основні фотоелектричні характеристики включають напругу холостого ходу 0,5 В, коефіцієнт заповнення 0,25, струм короткого замикання 16,8 мА/см<sup>2</sup> та ефективність фотоелектричного перетворення 2,1%. Низький коефіцієнт заповнення та струм короткого замикання зумовлені високим питомим послідовним опором гетеропереходу, який становить 30 Ом·см<sup>2</sup>.

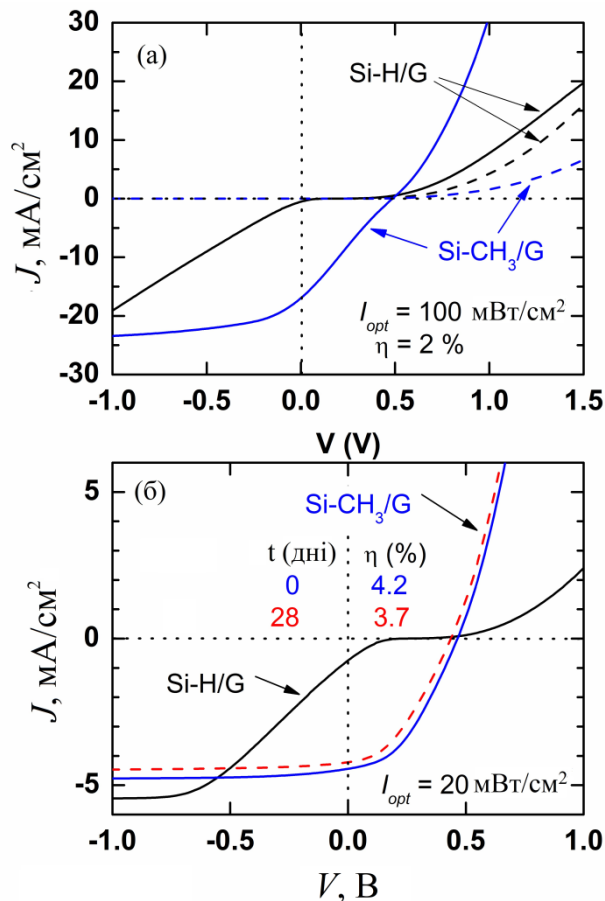


Рис. 1.8. ВАХ гетеропереходів: (а) Штрихові лінії – темнові ВАХ, суцільні лінії – ВАХ при освітленні АМ 1.5 (100 мВт/см<sup>2</sup>). (б) ВАХ структур при освітленні інтенсивністю випромінювання 20 мВт/см<sup>2</sup>. Штрихова лінія – ВАХ після 28 днів зберігання.

Негативний вплив послідовного опору на фотоелектричні характеристики можна пом'якшити шляхом зменшення інтенсивності освітлення [10]. Рис. 1.8б ілюструє ВАХ гетеропереходів при освітленні 20 мВт/см<sup>2</sup>. ВАХ гетеропереходу графен/Si-H все ще має так звану S-подібну форму, що пояснюється високою концентрацією поверхневих станів на гетеропереході. Отже, ефективність фотоелектричного перетворення цього гетеропереходу, навіть при низькій інтенсивності світла, становить лише  $\eta = 0,1\%$ . Однак гетероперехід графен/Si-CH<sub>3</sub> демонструє значні покращення. Форма вольтамперної кривої помітно покращується, що призводить до коефіцієнта заповнення 0,41 та ефективності фотоелектричного перетворення  $\eta = 4,2\%$  при освітленні 20 мВт/см<sup>2</sup> (рис. 1.8б).

Примітно, що порівняно з опублікованими результатами [11] гетероперехід графен/Si-CH<sub>3</sub> демонструє набагато вищу стабільність. Пристрій зберігався в стандартних лабораторних умовах протягом 28 днів, після чого його ВАХ були повторно виміряні в аналогічних умовах освітлення (пунктирна лінія на рис. 1.8б). Напруга холостого ходу і струм короткого замикання трохи зменшилися:  $V_{OC} = 0,44$  В,  $J_{SC} = -4,2$  мА/см<sup>2</sup>, але форма ВАХ залишилася незмінною. Таким чином, ефективність фотоелектричного перетворення становила  $\eta = 3,7\%$  при інтенсивності освітлення 20 мВт/см<sup>2</sup>. При освітленні 100 мВт/см<sup>2</sup> ефективність знизилася до 1,5%. Отримані результати добре корелюють з відомою стабільністю пасивації кремнію метильними групами при триманні зразків на повітрі. Крім того, пасивація метиловими групами ефективно витримує процес перенесення графену, який включає розчинники та воду в прямому контакті з пасивованою поверхнею кремнію. Спостережуване зниження фотоелектричних характеристик після тривалого перебування на повітрі, ймовірно, пов'язане з окисленням незахищеного графену, а не із окисленням пасивованої поверхні кремнію [12]. У таблиці 1.1 подано зведення фотоелектричних характеристик гетероструктур, виміряних за різних умов.

Таблиця 1.1.

Порівняння фотоелектричних властивостей гетеропереходів,  
виміряних за різних умов.

Зразок, інтенсивність	$J_{sc}$ ( $\text{mA}/\text{cm}^2$ )	$V_{oc}$ (В)	FF	$\eta$ (%)
Графен/Si-H, 100 $\text{mWt}/\text{cm}^2$	0.005	0.07	-----	-----
Графен/Si-CH <sub>3</sub> , 100 $\text{mWt}/\text{cm}^2$	16.8	0.51	0.25	2.1
Si-H/G, 20 $\text{mWt}/\text{cm}^2$	0.73	0.19	0.19	0.1
Si-CH <sub>3</sub> /G, 20 $\text{mWt}/\text{cm}^2$	4.45	0.47	0.41	4.2
Si-CH <sub>3</sub> /G, 20 $\text{mWt}/\text{cm}^2$ (після 28 днів)	4.23	0.44	0.40	3.7

EQE спектри, виміряні при температурі 295 К, представлені на рис. 1.9. У всьому досліджуваному спектральному діапазоні квантова ефективність гетеропереходу графен/Si-CH<sub>3</sub> перевищує гетероперехід графен/Si-H.

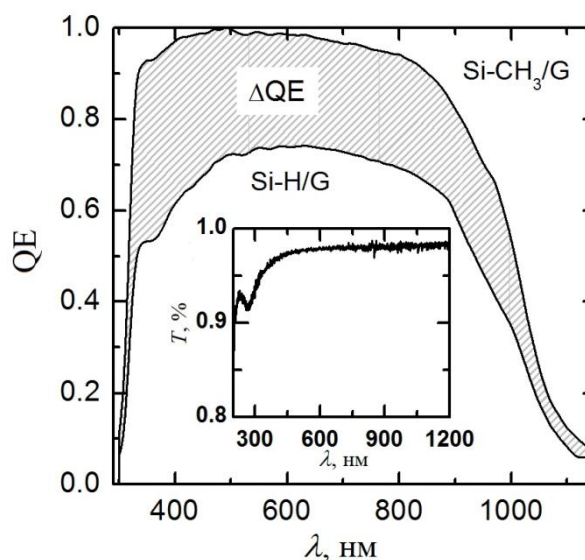


Рис. 1.9. EQE досліджуваних гетеропереходів. На вставці – пропускання графену на кварцовій підкладинці

Слід зазначити, що різниця в квантовій ефективності ( $\Delta QE$ ) зростає при зменшенні довжини хвилі. Зі збільшенням енергії фотонів електронно-

діркові пари генеруються ближче до гетеропереходу через збільшення коефіцієнта поглинання. Отже, відносний внесок поверхневої рекомбінації також зростає. Вища концентрація поверхневих станів на межі розділу графен/Si-H призводить до більших втрат на рекомбінацію порівняно з межею розділу графен/Si-CH<sub>3</sub>. Це відкриття добре узгоджується з раніше описаними спектрами фотолюмінесценції та вимірюваннями освітленої ВАХ. Крім того, гострий край спектрів квантової ефективності на довжинах хвиль  $\lambda \leq 300$  нм не характерний для досліджуваних пристроїв. Це пов'язано з використанням в якості джерела світла галогенної лампи, яка має значне падіння інтенсивності випромінювання в короткохвильовій області ( $\lambda \leq 300$  нм). Спектр пропускання графену на кварцовій підкладинці представлено на вставці до рис. 1.9.

#### **1.4. Використання графену в якості прозорих електродів сонячних елементах**

Сьогодні сонячні батареї зарекомендували себе як життєздатне альтернативне джерело енергії, яке все більше приймається людьми в усьому світі. Значним прогресом у цих елементах є використання графену, який замінює дорогої селенід індію. Ця заміна призвела до значного підвищення продуктивності сонячних елементів на основі графену.

Після десятиліть розробки органічних фотоелектричних елементів з'явилися нові прототипи, які є легкими, гнучкими, економічно ефективними у виробництві та технологічно ефективними. Дослідження цих інноваційних сонячних батарей тривають.

Однією з найбільш відмінних властивостей органічних фотоелектричних елементів є їх прозорі провідні електроди. Ця функція дозволяє світлу проникати та взаємодіяти з активними матеріалами в сонячному елементі, виробляючи електрику. В даний час полімерні листи на



основі графену використовуються для створення великих збірок гнучких сонячних батарей. Ці листи ефективно перетворюють сонячне випромінювання в електрику, роблячи доступну сонячну енергію більш доступною.

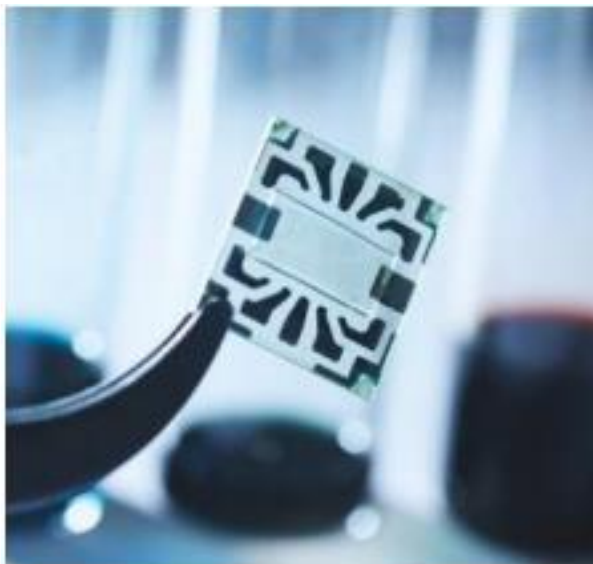


Рис. 1.10. Сонячний елемент із прозорим графеновим електродом [13]

Група дослідників на чолі з Чонгву Чжоу, професором електротехніки в Інженерній школі USC Viterbi, припустила, що графен, як тонкий з атом лист вуглецю, може бути легко інтегрований у дуже гнучкі полімерні листи. Застосовуючи термопластичний захисний шар, ці листи можна використовувати для формування елементів для органічних сонячних батарей. У той час як традиційні кремнієві сонячні батареї все ще більш ефективні, генеруючи 14 Вт електроенергії від 1000 Вт сонячного світла, органічні сонячні батареї виробляють лише 1,3 Вт енергії від тієї ж кількості сонячного світла. Однак органічні сонячні батареї пропонують такі переваги, як гнучкість і нижча вартість, що може компенсувати їх нижчу ефективність.

За словами Гомеса Де Арко, скоро стане можливим використовувати друкарські машини для виробництва гнучких органічних сонячних батарей, подібно до того, як друкують газети. Ці органічні сонячні елементи можна використовувати як штори в будинках, вставляти в тканини і навіть носити

як одяг. Ключовою перевагою цих сонячних елементів є їхня гнучкість, яка дозволяє їм працювати навіть після багаторазового згинання, на відміну від сонячних батарей на основі оксиду олова. Крім того, їх низька вартість, висока електропровідність, достатня стабільність, сумісність з органічними матеріалами та доступність дають сонячним елементам на основі графену значні переваги перед іншими типами сонячних батарей [13].

## РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

### 2.1. Методика вирощування тонких плівок багат шарового графену методом механічного відлущування графіту

Для одержання графену як вихідний матеріал використовувався кристалічний графіт (аналог ГЛ-1, ГОСТ 17022-81). Порошок графіту складався в основному (80%) з частинок чітко визначеної форми та розмірів від 20 до 60 мкм; приблизно 10% частинок мали розмір від 8 до 20 мкм, близько 2% були окремими частинками розміром 4-8 мкм, і приблизно 8% були більшими частинками розміром від 70 до 90 мкм. Графен був синтезований за допомогою кухонного блендера і полівінілпіролідону К-30 (PVP). Експериментальний метод був взятий і дещо змінений з попередніх досліджень [14-15]. Порошок графіту диспергували у водному розчині ПВП у концентрації 3 мг/мл з утворенням дисперсії графіту об'ємом 500 мл (концентрація 15 мг/мл). Для виробництва графенових дисперсій використовувався кухонний блендер Tefal Perfectmix+ (модель BL811D38).



Рис.2.1. Суспензія графену у водному розчині ПВП при використанні кухонного блендера

Водний розчин графіту і ПВП змішували протягом 150 хвилин у кухонному блендері зі швидкістю 8500-9000 об/хв. Зразки дисперсії (10 мл) відбирали з контейнера блендера кожні 10 хвилин. Перед відбором зразків графенових дисперсій блендер зупинили на 30 хвилин, щоб дати можливість великим нерозшарованим частинкам графіту осісти на дні. Після змішування рідина стала чорною через дисперсію графіту (рис. 2.1), і ця чорна дисперсія графену залишалася стабільною при кімнатній температурі. Потім дисперсію центрифугували з використанням центрифуги Micromed CM-3 на протязі 5 хв при 5000 об/хв, для того щоб видалити нерозшаровані частинки графіту. Графен досліджували як у вигляді порошків, так і як тонкі плівки, нанесені на підкладки. Порошки графену були отримані після центрифугування та висушені при 50-70 °С для експериментів.

## **2.2. Виготовлення діодів Шотткі на основі багат шарових тонких плівок графену**

Для виготовлення діодів Шотткі графен/p-CdTe кристали CdTe були отримані шляхом сколювання злитків нелегованого телуриду кадмію, вирощених за допомогою вертикального методу Бріджмена при низькому тиску парів кадмію. Ці кристали p-типу провідності з питомою електропровідністю  $\sigma = 3 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$  при  $T = 300 \text{ К}$ , концентрацію дірок  $p = 3,5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$  і рухливість дірок  $\mu_n = 56,0 \text{ см}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ .

Шари графену готували на поверхні підкладки за допомогою механічного відлущування графіту в органічних розчинниках за допомогою кухонного блендера. Для створення дисперсної суміші використовували порошкоподібний ливарний графіт ГЛ-1 та водний розчин полівінілпіролідону (ПВП)  $(\text{C}_6\text{H}_9\text{NO})_n$ . Графіт диспергували в PVP в концентрації 3 мг/мл з утворенням 500 мл дисперсії графіту (15 мг/мл). Процес відлущування, який сприяє високошвидкісному змішуванню (8500-

9000 об/хв), перетворює графіт на графен. Потім суміш центрифугували для розділення рідкої та твердої фракцій. Отриманий осад розчиняли етиловим спиртом і наносили на підготовлені підкладки за допомогою пневматичного розпилювача. Повне видалення летких компонентів із нанесених плівок досягалося при температурі підкладки не вище  $T_s = 250$  °С, що забезпечує стабільність електричних параметрів CdTe під час виготовлення структур.

Для вирішення питання отримання омичних контактів до підкладок р-CdTe було створено  $p^+$ -область у приповерхневому шарі шляхом попередньої обробки поверхні рубіновим лазером (довжина хвилі  $\lambda = 0,694$  мкм, енергія фотона  $h\nu = 1,79$  еВ,  $\alpha = 6 \times 10^4$  см<sup>-1</sup>) [16]. Потужне випромінювання лазера з енергією фотона, що перевищує ширину забороненої зони CdTe ( $h\nu > E_g = 1,5$  еВ), викликало плавлення, рекристалізацію та випаровування компонентів поверхні, збагачуючи поверхню точковими дефектами акцепторного типу, такими як вакансії кадмію ( $V_{Cd}$ ), утворюючи  $p^+$ -область. Далі омичні контакти утворювалися шляхом осадження міді з мідного купоросу і вплавленням індію. Для формування контактів із шарами графену використовувалася провідна паста на основі срібла (рис 2.2).

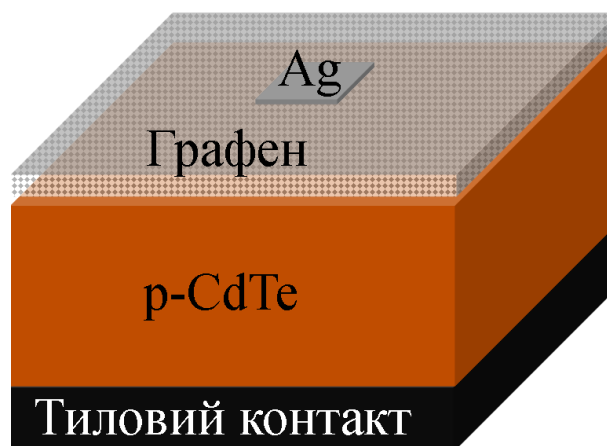


Рис. 2.2. Схематичне зображення діодів Шотткі графен/р-CdTe

Вольт-амперні характеристики досліджуваних діодів Шотткі графен/р-CdTe вимірювали за стандартною методикою з використанням точного

фемто/піко амперметра Keysight B2985A з вбудованим джерелом ( $\pm 1000$  В), а в якості вольтметра використовували Agilent 34410A.

### 2.3. Методика та установка для вимірювання ВАХ

Вольт-амперна характеристика (ВАХ) описує залежність струму, що протікає через двополосний пристрій, від напруги, що прикладається до нього, ілюструючи поведінку пристрою в умовах постійного струму. Термін ВАХ також відноситься до функції, що представляє цей зв'язок, і графіка, який його зображує.

Для дослідження цих ВАХ використовується спеціалізована установка, що включає вимірювальні прилади (вольтметр і амперметр) і джерело живлення. До досліджуваного зразка прикладаються різні напруги і вимірюється як спад напруги на зразку, так і струм, що протікає через нього. Уся установка контролюється комп'ютерною програмою, яка розроблена в середовищі LabView.

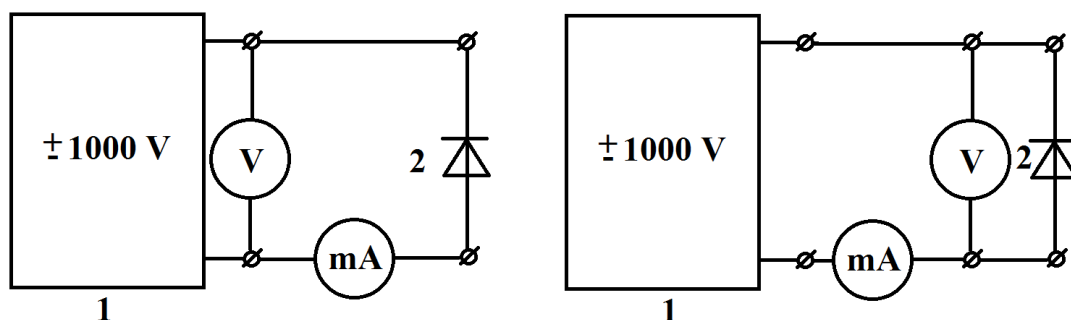


Рис. 2.3. Схеми для дослідження ВАХ

Для дослідження ВАХ можна використовувати дві схеми, як показано на рис. 2.3. Перша схема — це звичайна конфігурація вольтметра, а друга — звичайна конфігурація амперметра. Вибір схеми залежить від величини опорів вимірювальних приладів і величини опору зразка. Для максимальної точності вимірювань опір вольтметра має бути максимальним, а амперметра — мінімальним.

У сучасних електронних амперметрах опір залежить від діапазону вимірювання струму, який для дослідження струму коливається від 1 до 100 міліампер, опір приладу — від 1 до 10 МОм. При використанні схеми 1 амперметр вносить певні похибки у вимірювання падіння напруги. Подібним чином у схемі 2 вольтметр вносить помилки у вимірювання струму, оскільки вольтметр і зразок з'єднані паралельно, через що опір гілки є комбінацією двох опорів. У схемі 1 зразок з'єднаний послідовно з амперметром, що робить загальний опір гілки сумою опорів амперметра та зразка, що впливає на вимірювання падіння напруги.

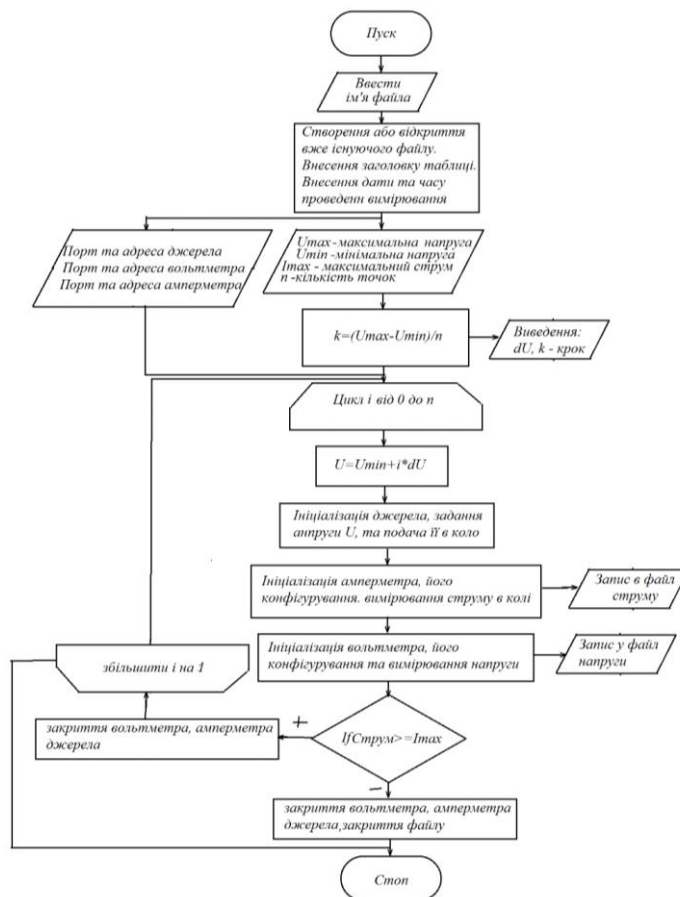


Рис. 2.4. Блок схема роботи програми розробленої в середовищі LabView

Використовуються різні схеми залежно від опору досліджуваного зразка. Якщо опір зразка становить  $\sim 10^4$  Ом або вище, рекомендується

використовувати схему 1. Якщо опір зразка становить  $\sim 10^2$  Ом або менше, більш доцільною є схема 2. Для опору зразка в діапазоні від  $10^2$  до  $10^4$  Ом доцільно досліджувати зразок як з відкритим, так і з закритим бар'єром, тобто як у прямій, так і в зворотній конфігураціях.

Для автоматизації процесу вивчення структури та оцифрування даних усі пристрої в установці були підключені до комп'ютера. Програма, розроблена в середовищі LabView, дозволяє користувачам вибирати діапазони напруги та струму, застосовувати різні напруги прямого та зворотного зміщення, контролювати максимальний струм, що проходить крізь зразок, і встановлювати приріст змін напруги під час дослідження ВАХ. Програма також надає можливість зберігати результати досліджень безпосередньо у файли MS Excel або Origin.

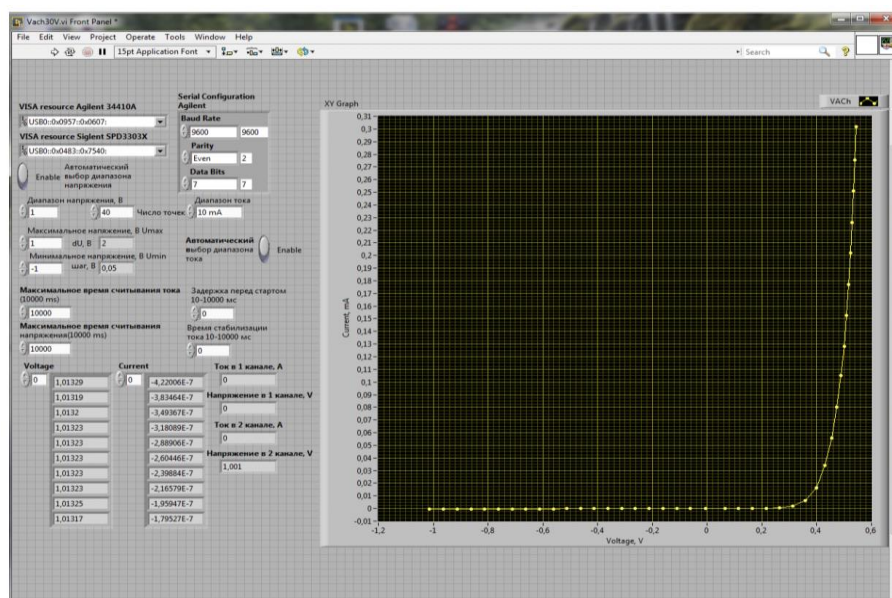


Рис. 2.5. Вигляд вікна програми для дослідження ВАХ розробленої в середовищі LabView

Отримані оцифровані дані далі використовуються для побудови графічних залежностей ВАХ, а також для аналізу різних характеристик досліджуваних структур. На рис. 2.5 представлено вікно програми, з виміряною вольт амперною характеристикою структури.



## РОЗДІЛ 3. ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

### 3.1. Електричні властивості діодів Шотткі графен/p-CdTe

На рис. 3.1 представлені темнові вольт-амперні характеристики діодів Шотткі графен/p-CdTe, які володіють випрямляючими властивостями. Екстраполюючи прямолінійні ділянок вольтамперних характеристик до перетину з віссю напруг, було визначено висоту потенціального бар'єру  $\varphi_0$  досліджуваних діодів Шотткі графен/p-CdTe при різних температурах (рис. 3.2).

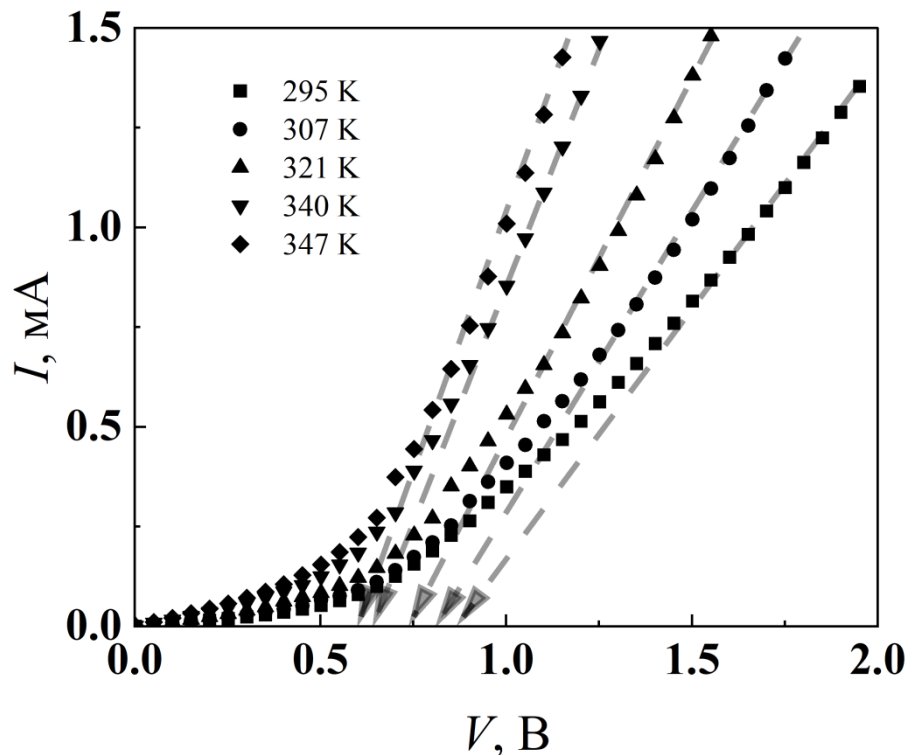


Рис.3.1. Вольт-амперні характеристики діодів Шотткі графен/p-CdTe при різних температурах

Із рисунка 3.2 видно, що температурна залежність висоти потенціального бар'єру діодів Шотткі графен/p-CdTe має лінійний характер і може бути описана наступним рівнянням:

$$\varphi_0(T) = \varphi_0(0) - \beta_\varphi T, \quad (3.1)$$

де  $\beta_\varphi$  – температурний коефіцієнт висоти потенціального бар'єру, який визначений із нахилу температурної залежності висоти потенціального бар'єру і дорівнює  $\beta_\varphi = 5.18 \cdot 10^{-3} \text{ eV} \cdot \text{K}^{-1}$ , який на порядок перевищує температурний коефіцієнт зміни ширини забороненої зони  $E_g$  телуриду кадмію, характерний для більшості гетеропереходів;  $\varphi_0(0)$  – значення висоти потенціального бар'єру досліджуваного діода Шотткі при абсолютному нулі температури, яке рівне  $\varphi_0(0) = 2,4 \text{ eV}$ .

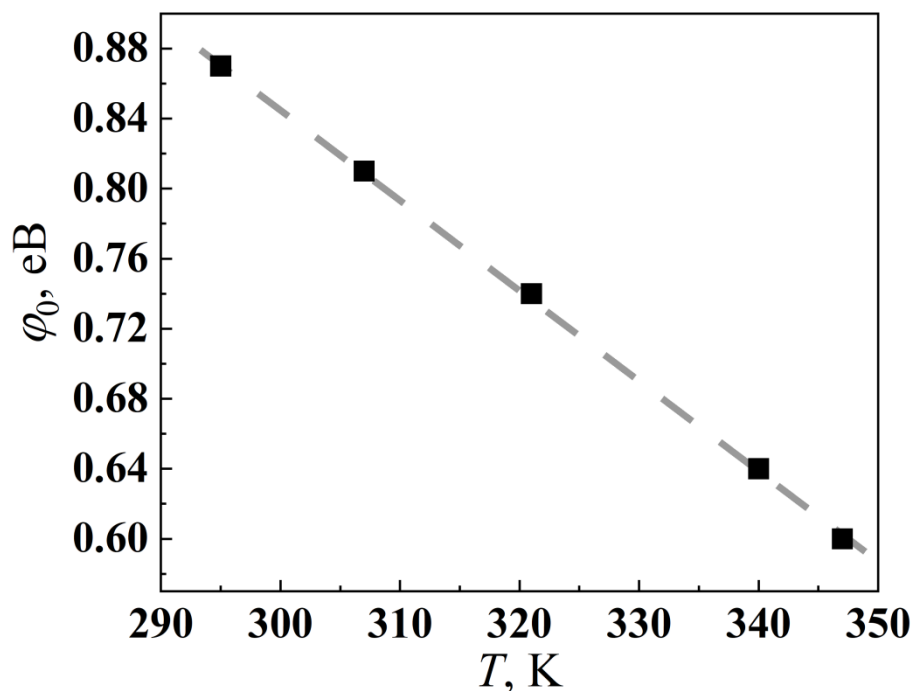


Рис. 3.2. Температурна залежність висоти потенціального бар'єру діодів Шотткі графен/p-CdTe

Величину послідовного опору  $R_n$  та шунтуючого опору  $R_{sh}$  діодів Шотткі графен/p-CdTe при різних температурах було визначено із залежності диференційного опору  $R_{dif}$  від прикладеної напруги (рис. 3.3) [17].

З рисунка видно, що криві  $R_{dif} (V)$  виходять на насичення при прикладеному прямому зміщенні  $V > V_{bi}$ . Це є свідченням того, що спад напруги на ОПЗ стає постійним, тобто, бар'єр діодів Шотткі графен/p-CdTe відкривається і струм через діод обмежується тільки його послідовним опором. Значення послідовного опору ( $R_n$ ) було визначено шляхом

екстраполяції області насичення до перетину з віссю опорів, а при нульовому зміщенні було визначено величину шунтуючого опору  $R_{ш}$ .

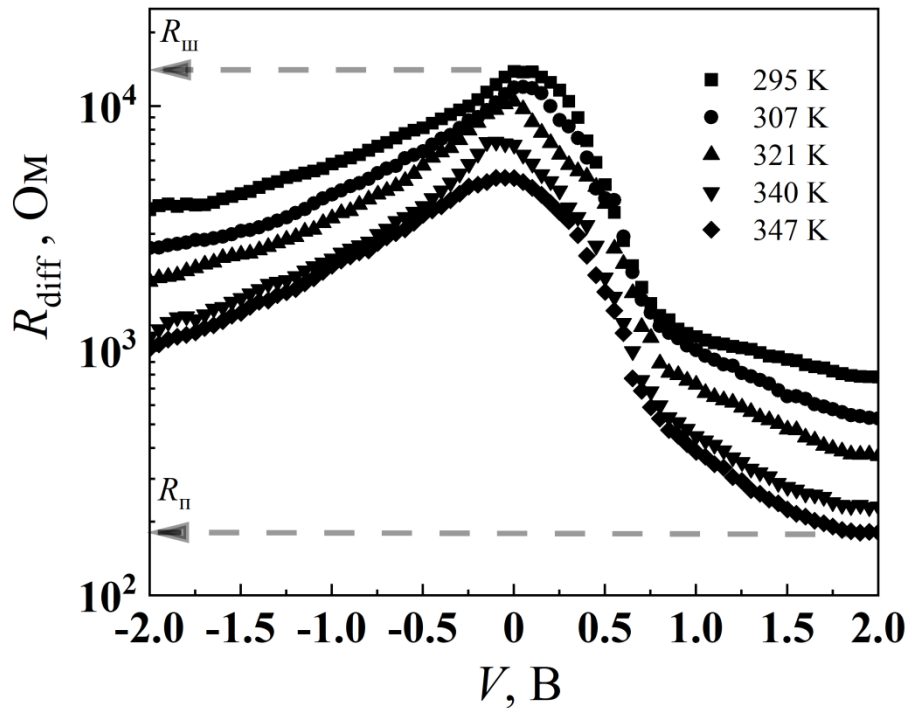


Рис. 3.3. Залежність диференційного опору діодів Шоттки графен/p-CdTe

В таблиці 3.1 приведено експериментально знайдені параметри з вимірювань температурних залежностей ВАХ діодів Шоттки графен/p-CdTe.

Таблиця 3.1.

Параметри діодів Шоттки графен/p-CdTe при різних температурах

$T, \text{ K}$	$\varphi_0, \text{ eV}$	$R_s, \text{ Ом}$	$R_{sh}, \text{ кОм}$
295	0.87	803	14
307	0.81	529	12.13
321	0.74	377	10.6
340	0.64	229	7.2
347	0.6	181	5.07

Послідовний опір  $R_s \sim \rho$ , де  $\rho$  – значення питомого електричного опору, що визначається виразом:

$$\rho = \frac{1}{q\mu_p n} = \frac{1}{q\mu_n \left(\frac{N_c N_d}{2}\right)^{1/2} \exp\left(-\frac{E_D}{kT}\right)}, \quad (3.2)$$

де  $N_c$  - ефективна густина станів у зоні провідності,  $\mu_n$  - рухливість електронів,  $E_D$  - енергія іонізації донорного рівня,  $N_d$  - концентрація донорних домішок,  $E_d$  - визначає рівноважну провідність н/п. Оскільки  $N_c \sim T^{3/2}$ , в карбіді кремнію рухливість електронів  $\mu_n$  в температурних межах  $T > 200$  К пропорційна  $T^{-3.2}$ , можна сказати, що температурна залежність послідовного опору визначається зазвичай за допомогою експоненційного множника  $R_s \sim \exp(-E_A/kT)$  (рис 3.4).

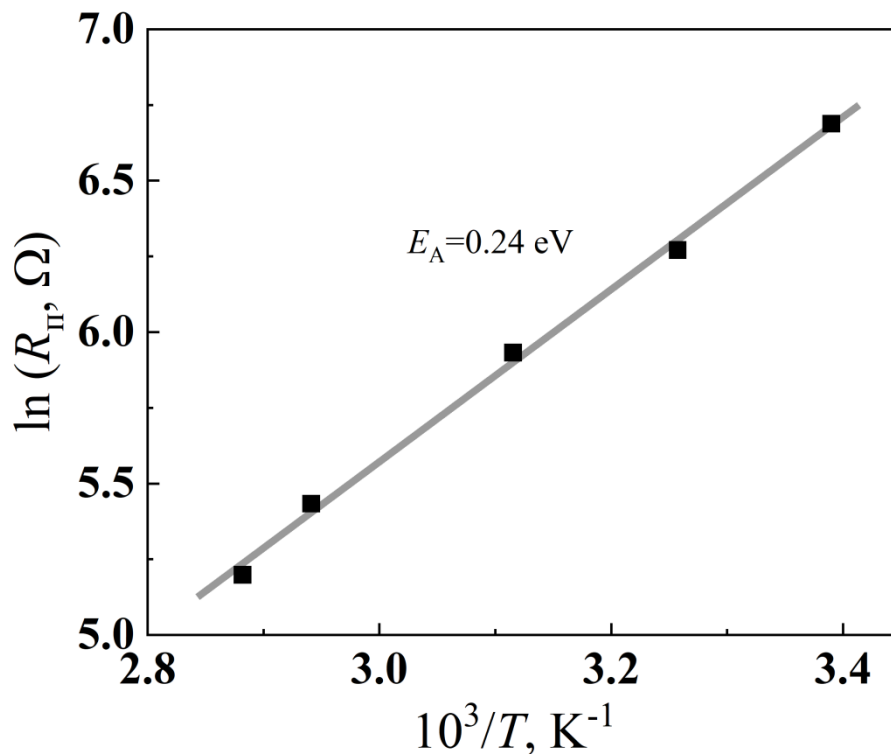


Рис. 3.4. Температурна залежність послідовного опору у напівлогарифмічному масштабі

Глибина залягання акцепторного рівня визначається нахилом прямої  $R_s(10^3/T)$  в напівлогарифмічних координатах, і становить  $E_A = 0.24$  еВ. Відповідний рівень енергії –  $E_V + 0,24$  еВ пов'язаний з фоновими домішками в нелегованому p-CdTe [17].

### 3.2. Механізми струмопереносу діодів Шотткі графен/p-CdTe при прямих зміщеннях

Аналіз прямих гілок ВАХ діодів Шотткі графен/p-CdTe, побудованих в напівлогарифмічному масштабі (рис. 3.4), показав, що на залежності  $\ln I=f(V)$  спостерігаються прямолінійні ділянки, тобто струм від напруги залежить експоненційно.

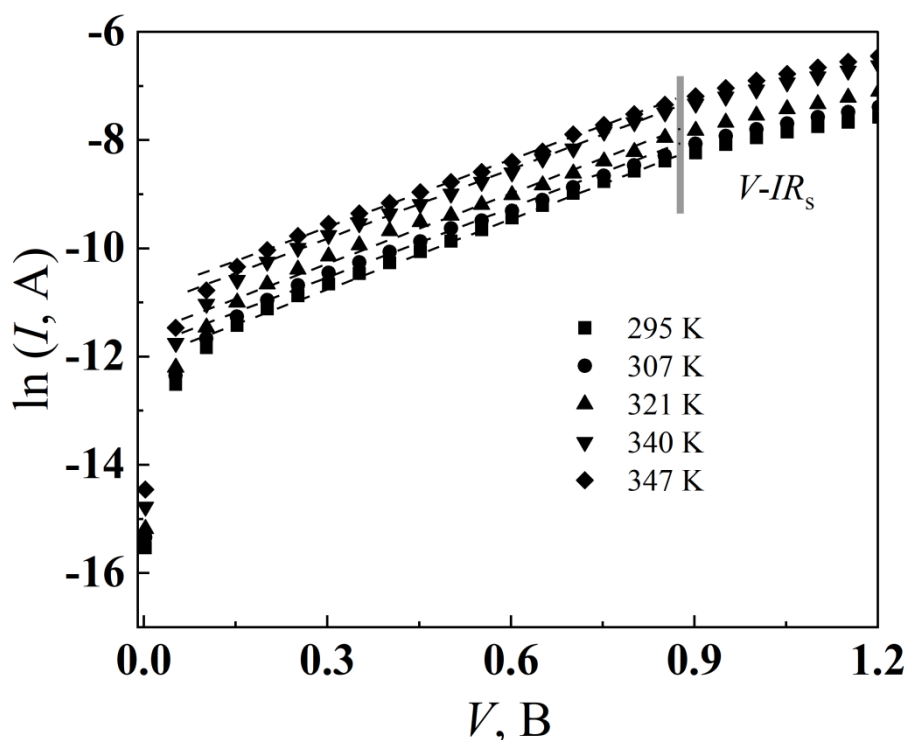


Рис. 3.5. Прямі гілки ВАХ діодів Шотткі графен/p-CdTe в напівлогарифмічному масштабі

Оскільки приріст прямих відрізків  $\Delta \ln(I)/\Delta V$  ( $3kT/e < V < 0.9$  V) не залежить від температури, а оцінений коефіцієнт неідеальності  $n$  приблизно дорівнює 9, це виключає можливість аналізу переносу струму на основі процесів генерації-рекомбінації в ОПЗ. Також в цьому випадку необхідно також спостерігати температурну залежність приросту прямих відрізків вольт-амперних характеристик у напівлогарифмічних координатах  $\Delta \ln(I)/\Delta V = e/nkT$ , де  $n$  – коефіцієнт неідеальності [18].

Сталий нахил залежностей  $\ln(I) = f(V)$  при різних температурах є підтвердженням тунельної природи механізму струмопереносу, який для різких поверхнево-бар'єрних структур визначається виразом [19]:

$$I(V) = BN_t \cdot \exp[-\alpha(\varphi_0 - V)], \quad (3.3)$$

де  $B$  – константа,  $N_t$  – концентрація рівнів, що беруть участь у процесі тунелювання,  $\alpha$  – величина, яка залежить від ефективної маси електронів у забороненій зоні напівпровідника, діелектричної проникності, а також рівноважної концентрації носіїв та форми бар'єру.

### **3.3. Механізми струмопереносу діодів Шотткі графен/p-CdTe при зворотніх зміщеннях**

Можна допустити, що встановлені при прямому зміщенні механізми струмопереносу будуть домінуючими і при зміні полярності зовнішньої напруги.

При зворотньому зміщенні у випадку різкого переходу формула для тунельного струму має вигляд [20]:

$$I_{зв} \approx a_0 \exp\left(\frac{b_0}{\sqrt{\varphi_0(T) - eV}}\right), \quad (3.4)$$

де  $a_0$  і  $b_0$  – параметри, що не залежать від напруги.

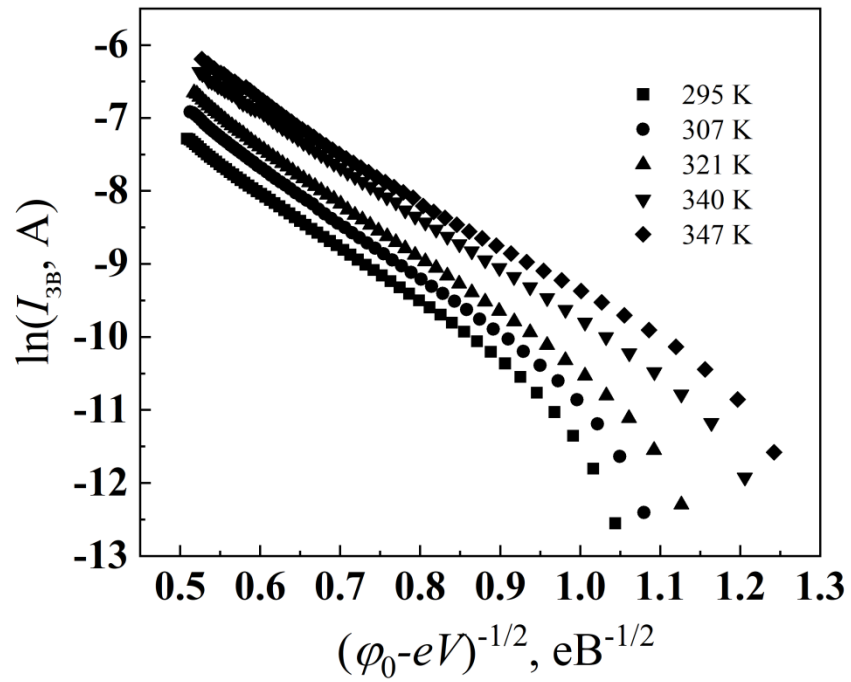


Рис. 3.6. Зворотні гілки ВАХ діодів Шоттки графен/p-CdTe в напівлогарифмічному масштабі

Те, що зворотні гілки ВАХ на рис. 3.6 є прямими лініями в координатах  $\ln(I_{3B}) = f(\varphi_0 - eV)^{-1/2}$ , відповідно до рівняння (3.3), підтверджує домінування тунельного механізму струмопереносу в області зворотних зміщень  $|V| > 3kT/e$ .

## ВИСНОВКИ

Виготовлено діоди Шотткі на основі тонких плівок багат шарового графену на поверхні CdTe методом механічного відлущування графіту в органічних розчинниках за допомогою кухонного блендера.

Виміряно вольт-амперні характеристики діодів Шотткі графен/CdTe при різних температурах, а також визначено температурну залежність висоти потенціального бар'єру та величини послідовного  $R_n$  та шунтуючого  $R_{ш}$  опорів. Визначено глибину залягання акцепторного рівня, який становить  $E_A = 0.24$  eV і пов'язаний з фоновими домішками в нелегованому p-CdTe.

Із аналізу прямих гілок ВАХ гетероструктури встановлено, що домінуючим механізмом струмопереносу є тунельний механізм струмопереносу. Із аналізу зворотніх гілок ВАХ гетероструктури встановлено, що домінуючим механізмом струмопереносу є тунелювання.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. S.C. Yan, B. C. Zheng, J. H. Chen, F. Xu, Y. Q. Lu, Optical electrical current sensor utilizing a Graphene-microfiber-integrated coil resonator, *Appl. Phys. Lett.* 107 (2015) 053502–053504.
2. 2D Materials for Gas Sensing Applications: A Review on Graphene Oxide, MoS<sub>2</sub> WS<sub>2</sub>, M. Donarelli, L. Ottaviano, *Sensors* 2018, 18 (11), 3638.
3. Графен: методи отримання та теплофізичні властивості [Електронний ресурс]. - Режим доступу:[http://ufn.ru/ufn11/ufn11\\_3/Russian/r113a.pdf](http://ufn.ru/ufn11/ufn11_3/Russian/r113a.pdf).
4. I. Matos, M. Bernardo, and I. Fonseca, “Porous carbon: A versatile material for catalysis,” *Catal. Today*, vol. 285, pp. 194–203, May 2017.
5. S.C. Yan, B. C. Zheng, J. H. Chen, F. Xu, Y. Q. Lu, Optical electrical current sensor utilizing a Graphene-microfiber-integrated coil resonator, *Appl. Phys. Lett.* 107 (2015) 053502–053504.
6. Experimental Convection Heat Transfer Analysis of a Nano-Enhanced Industrial Coolant E. Álvarez-Regueiro, J. Vallejo, J. Fernández-Seara, J. Fernández, L. Lugo, *Nanomaterials* 2019, 9, 267.
7. Проценко І.Ю. Наноматеріали і нанотехнології в електроніці [Текст] : підручник / І. Ю. Проценко, Н. І. Шумакова. – Суми : СумДУ, 2017. – с.38-39
8. A. M. Dimiev and S. Eigler, Eds., *Graphene Oxide*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2016.
9. Браже, Р. А. Гигантский эффект Фарадея в 2Dсупракристаллах в сравнении с графеном / Р. А. Браже, М. В. Литвиненко // *ЖТФ*. – 2015. – Т. 85. – С. 118–121.
10. Timoshenko V.Y. Quantitative analysis of room temperature photoluminescence of c-Si-Si wafers excited by short laser pulses // V.Y. Timoshenko, A.B. Petrenko, M.N. Stolyarov, T. Dittrich, W. Fuessel, J. Rappich // *J. Appl. Phys.* – 1999. – Vol. 85. – 4171.

11. Wehling T.O. Molecular Doping of Graphene / T.O. Wehling, K.S. Novoselov, S. V. Morozov, E.E. Vdovin, M.I. Katsnelson, A.K. Geim, A.I. Lichtenstein // Nano Letters – 2008. – Vol. 8. – P. 173–177.
12. Heeger A. J. 25th anniversary article: Bulk heterojunction solar cells: understanding the mechanism of operation / A. J. Heeger // Adv. Mater. – 2014. – Vol. 26. – P. 10–27.
13. <https://www.dailytechinfo.org/nanotech/3358-mnogosloynny-trehmnyegrafenovye-tranzistory-smogut-stat-zamenoy-kremnievym-tehnologiyam.html> Дата доступа 18.11.2020.
14. Bhopal, M.F., Lee, D.W., Rehman, A. ur, Lee, S.H.: Past and future of graphene/silicon heterojunction solar cells: a review. J. Mater. Chem. C. 5, 10701–10714 (2017). <https://doi.org/10.1039/C7TC03060F>
15. Nayak, P.K.: Pulsed-grown graphene for flexible transparent conductors. Nanoscale Adv. 1, 1215–1223 (2019). <https://doi.org/10.1039/C8NA00181B>.
16. Solovan, M.N., Mostovyi, A.I., Brus, V.V., Ilashchuk, M.I., Maryanchuk, P.D.: Effect of surface treatment on the quality of ohmic contacts to single-crystal p-CdTe. J. Surf. Investig. 11, 276–279 (2017). <https://doi.org/10.1134/S1027451017010347>.
17. Зи С. Физика полупроводниковых приборов / С. Зи. – Кн. 1 М.: Мир, 1984. – с. 456.
18. Шарма Б.Л. Полупроводниковые гетеропереходы / Б.Л. Шарма, Р.К. Пурохит. – М.: Сов. Радио, 1976. – с. 225.
19. Milnes A.G. Heterojunctions and Metal-Semiconductor Junctions / A.G. Milnes, D.L. Feucht. – New York: Academic Press, 1972. – p. 408.
20. I.P. Koziarskyi, M.I. Ilashchuk, I.G. Orletskyi, D.P. Koziarskyi, L.A. Myroniuk, D.V. Myroniuk, A.I. Ievtushenko, E.V. Maistruk, The influence of manufacturing modes on the electrical and energy parameters of graphene/p-CdTe Schottky diodes, Physica B: Condensed Matter, 667, 2023, 415151. <https://doi.org/10.1016/j.physb.2023.415151>

## ДОДАТОК

### Техніка безпеки і охорона праці

#### 1. Робота з електровимірювальними приладами та високою напругою

##### 1.1. Техніка безпеки при роботі з електровимірювальними приладами

*Перед початком роботи необхідно:*

- Вивчити принципову і монтажну схеми апаратури, яка підлягає регулюванню;
- Отримати необхідну вимірювальну апаратуру, переконатися в її справності;
- Перевірити стан робочого місця;
- Прибрати з робочого місця зайві предмети, що заважають роботі;
- Розташувати світильник так, щоб робоча зона була достатньо освітлена, і світло не сліпило очі;
- Переконатися в наявності і справності захисних засобів;
- Переконатися в справності ізоляції проводів, з'єднувальних колодок, штепсельних розеток і вилок;
- Перевірити справність захисного заземлення ремонтованих і вимірювальних приладів;
- Переконатися в справності пускових, блокувальних і сигнальних пристроїв;
- Переконатися в тому, що всі тумблери, перемикачі та рубильники знаходяться в положенні "вимкнено".

*Вимоги безпеки під час роботи:*

- Підтримувати на робочому місці чистоту і порядок;

- Виконувати тільки ту роботу, яка доручена викладачем;
- При роботах без зняття напруги необхідно використовувати інструмент з ізольованими рукоятками;
- При роботі з включеною напругою, проводити роботи на включеній апаратурі дозволяється тільки однією рукою, уникаючи дотику другою рукою (і відкритими частинами тіла) деталей апаратури, шасі, металевих корпусів, а також вимірювальних приладів в металевих корпусах;
- Підключення вимірювальної апаратури необхідно проводити при знеструмленому блоці;
- Допускається проводити вимірювання напруги до 1000 В на включеній апаратурі шляхом торкання високовольтним щупом або дільником напруги, що входять в комплект вимірювального приладу, точки, потенціал якої потрібно встановити. При таких вимірах повинні бути вжиті заходи безпеки, передбачені інструкцією по експлуатації вимірювального приладу;
- При заміні деталей апаратуру слід відключити від електромережі;
- При коротких перервах в роботі паяльники, що знаходяться в робочому стані, необхідно поміщати на спеціальну підставку. При тривалих перервах паяльник необхідно відключити від електромережі;
- При залишенні робочого місця, ремонтувану апаратуру і вимірювальні прилади слід відключити.

*Вимоги безпеки після закінчення роботи:*

- Рубильники, тумблери, перемикачі поставити в положення "відключено";
- Відключити перевіряючу апаратуру і вимірювальні прилади від мережі;
- Прибрати робоче місце, інструменти, прилади та захисні засоби;
- Пред'явити виконану роботу викладачеві.

## **1.2. Техніка безпеки при роботі з високою напругою**

- Проводити різні електромонтажні роботи потрібно тільки при знеструмленні всієї мережі. Цій аксіомі потрібно слідувати, навіть коли виконується найпростіша процедура по заміні перегорілої лампочки в домашніх умовах.
- При обслуговуванні або ремонті обладнання з високою напругою необхідно використовувати інструменти, покриті ізоляційним матеріалом. Досвідчений фахівець повинен приділяти увагу розрахунку потужності кабелю і перепадів в мережі.
- Робота повинна здійснюватися тільки сухими руками. Необхідно виключити потрапляння води в область монтажу.
- При заміні плавких запобіжників, ніколи не вставляйте в гніздо металеві предмети, щоб не призвести до ураження електричним струмом або сильного опіку.
- При виникненні аварійної ситуації, пожежу не можна гасити водою. В першу чергу прилад слід відключити від струму, а потім вже ліквідувати.

## **2. Пожежна безпека**

*Загальні вимоги пожежної безпеки:*

- Кожний повинен знати правила поведінки при пожежі, шляхи евакуації, вміти користуватися первинними засобами пожежогасіння, знати місце їх знаходження;
- Легкозаймисті та горючі рідини необхідно зберігати у спеціально відведених місцях окремо від інших матеріалів.

*Правила поведінки людей при виникненні пожежі:*

- У випадку виникнення пожежі необхідно викликати спеціалізовану пожежну частину за телефоном 101 та повідомити сусідів, керівництво підприємства, колег і негайно розпочати ліквідацію пожежі всіма наявними засобами;

- Здійснити необхідні заходи щодо гасіння пожежі власними силами;
- Евакуювати людей і майно. У першу чергу евакуюють найбільш цінні та пожежонебезпечні матеріали;
- У випадку, якщо неможливо погасити пожежу власними силами, потрібно як найшвидше залишити приміщення через основні та запасні виходи;
- Виходячи з приміщення, де виникла пожежа, потрібно щільно зачинити двері, щоб зменшити надходження кисню до приміщення.

#### *Евакуація людей при виникненні пожежі*

Показником ефективності процесу евакуації є період часу, протягом якого люди можуть при необхідності залишити окремі приміщення і будинок взагалі.

Безпека евакуації досягається за умови, коли тривалість евакуації людей з окремих приміщень і будинку в цілому менша за критичну тривалість пожежі, яка становить небезпеку для людини.

Критична тривалість пожежі - час досягнення небезпечних для людини температур і зменшення вмісту кисню у повітрі.

Головна небезпека, від якої гинуть люди на пожежі - дим і гаряче повітря, тому у задимленому приміщенні дихати потрібно тільки через мокру щільну тканину, пам'ятаючи, що поблизу підлоги концентрація диму найменша.

Первинні засоби пожежогасіння розміщують на спеціальних щитах. Щити встановлюють так, щоб до найдальшої будівлі було не більше 100 м, а від сховищ з вогненебезпечними матеріалами - не більше 50 м, або з розрахунку - один щит на 5000 м<sup>2</sup>.

Засоби пожежогасіння фарбують у сигнальний червоний колір, а надписи на них та на щитах роблять контрастним білим кольором.

### 3. Основні заходи при роботі з хімічними речовинами

Роботи з хімічними реагентами відносяться до небезпечного виду робіт, так як хімічні речовини можуть активно впливати на людей і техніку. З цього дотримання правил техніки безпеки – найголовніша умова проведення робіт.

Маючи справу з хімічними, слід мати на увазі наступне:

- Обслуговуючий персонал, що має контакт з хімічними реагентами, повинен пройти попередній (під час вступу на роботу) і періодичні медичні огляди (1 раз в рік);
- Забороняється допуск до роботи з хімічними речовинами вагітних жінок, підлітків до 18 років, хворих, що мають органічні ураження шкіри, хронічні захворювання внутрішніх органів, центральної нервової системи, верхніх дихальних шляхів, органів зору;
- До роботи з реагентами допускаються особи, які пройшли спеціальний інструктаж про заходи безпеки при роботі з легкозаймистими і отруйними речовинами;
- Приміщення, в якому проводиться робота з хімічним реагентом, повинно бути обладнане загальною обмінною припливно-витяжною вентиляцією, місцеві відсмоктувачі в місцях можливого скупчення парів;
- Забороняється переливати виріб поблизу джерел нагрівання, іскріння, відкритого вогню;
- Необхідно регулярно проводити вологе прибирання робочих приміщень.
- Хімічні речовини повинні зберігатися в закритій тарі в складських приміщеннях, напівзакритого типу;
- У приміщеннях для зберігання і застосування хімічних реагентів забороняється користуватися відкритим вогнем, а також використовувати інструменти, що дають при ударі іскру;

- При роботі з продуктом дотримуватися заходів пожежної безпеки, техніки безпеки, використовувати засоби індивідуального захисту. Спецодяг повинен протистояти впливу хімічних реагентів;
  - Використовувати захисні окуляри типу ГР, гумові рукавички, непромокаючі рукавиці, спецвзуття, застосовувати фільтруючий протигаз марки БКФ;
  - Робоче місце укомплектувати аптечкою, що містить нейтралізатори для розчину, з яким доведеться працювати, і запас прісної води;
  - При використанні метилового спирту і продуктів, до складу яких входить метиловий спирт, приймають особливі заходи обережності;
  - При дозуванні або зливі хіморозчинів, персонал повинен перебувати з навітряного боку;
  - Симптоми отруєння: головний біль, запаморочення, блювота, біль у животі, загальна слабкість, подразнення слизових оболонок, мелькання в очах;
  - Кислоти є найбільш небезпечними речовинами: вони руйнують поверхневий шар тканини, викликають опіки аж до обвуглювання шкіри, вражають очі, впливають на органи дихання;
- Луги викликають омилення жирового шару шкіри, зневоднення тканин, розчинення білкових речовин.