

Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка  
Фізико-математичний факультет  
Кафедра фізики

**Дипломна робота (проект)**

магістра

з теми: **«ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ  
ВЛАСТИВОСТЕЙ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ МАТЕРІАЛІВ  
МЕТОДОМ ХОЛА»**

***Виконала:***

Студентка 2 курсу F1-M18 групи  
спеціальності 014 Середня освіта  
(Фізика)

***Піскун Тетяна Сергіївна***

***Керівник:***

кандидат фізико-математичних  
наук, доцент,

***Оптасюк С.В.***

Рецензент:

доктор педагогічних наук, професор  
***Атаманчук П.С.***

**Кам'янець-Подільський – 2019 р.**

Зміст	
ВСТУП .....	3
РОЗДІЛ 1. МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ПИТОМОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ .....	5
1.1. Електричний опір матеріалів .....	5
1.2. Чотирьохзондовий метод вимірювання питомого електричного опору монокристалічних злитків напівпровідників.....	6
1.3. Електричний опір плоских зразків довільної товщини .....	13
1.4. Вимірювання питомого опору методом Ван дер Пау .....	15
РОЗДІЛ 2. ЗАСТОСУВАННЯ СТРУКТУР ВАН-ДЕР-ПАУ ПРИ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ НАПІВПРОВІДНИКІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕФЕКТУ ХОЛА.....	21
2.1. Теорія ефекту Хола .....	21
2.2. Вимірювання ефекту Хола в лабораторних дослідженнях .....	27
2.3. Визначення провідностей й постійної Хола на напівпровідникових пластинах довільної форми (метод Ван-дер-Пау.....	29
2.4. Модифікований метод Ван-дер-Пау для планарного розміщення зондів .....	31
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ТОНКОПЛІВКОВИХ СТРУКТУР.....	35
3.1. Дослідження вольт-амперних характеристик напівпровідника без магнітного поля .....	35
3.2. Дослідження електрофізичних характеристик напівпровідника в магнітному полі .....	40
РОЗДІЛ 4. КВАНТОВИЙ ЕФЕКТ ХОЛА .....	44
4.1. Двовимірний електронний газ .....	44
4.2. Цілочисельний квантовий ефект Хола .....	48
4.3. Дробний квантовий ефект Хола .....	51
4.4. Теоретичні аспекти дрібного квантового ефекту .....	54
ВИСНОВКИ.....	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	60

## Вступ

**Актуальність теми.** Останні десятиліття розвитку фізики твердого тіла характеризуються тим, що основними об'єктами дослідження все частіше стають не масивні кристали, а напівпровідникові тонкі плівки, багат шарові тонкоплівкові системи, наноструктури. У таких системах істотно змінюється більшість електронних властивостей – виникає велике число нових, так званих розмірних ефектів. Сучасна фізика напівпровідників неможлива без розгляду впливу магнітного поля на електронні властивості напівпровідника. Вивчення взаємодії носіїв заряду в напівпровідниках із магнітним полем, починаючи з класичних гальваномагнітних явищ – ефекту Холла та магніторезистивного ефекту й закінчуючи квантовим ефектом Холла та ефектами спінзалежної рекомбінації і перенесення є важливим аспектом пізнання напівпровідникових матеріалів як з погляду фундаментальної науки, так і для їхнього практичного застосування.

Розглядаючи напівпровідникові матеріали, варто звернути увагу на сполуки системи  $A^{IV}B^{VI}$ . Такі напівпровідникові сполуки використовуються в різних галузях електроніки, а саме: в сонячних батареях, спінтроніках, в якості джерел і детекторів середнього і далекого інфрачервоного діапазону оптичного спектру, для елементів пам'яті і вони є базовим матеріалом для створення термоелектричних перетворювачів енергії, фотоприймальних пристроїв. Сполуки такого типу серед усіх напівпровідникових з'єднань являються унікальними через ряд певних фундаментальних характеристик: ширина забороненої зони, висока діелектрична проникність, радіаційна стійкість, високі значення рухливості носіїв заряду, висока іонність та ін.

**Мета роботи** – роботи: ознайомитися із застосуванням структур Ван-дер-Пау при вимірюванні параметрів напівпровідникових шарів за допомогою ефекту Холла в технології напівпровідникових приладів. Дослідити вплив магнітного поля на електрофізичні параметри тонкоплівкових напівпровідникових структур, зокрема використовуючи ефект Холла отримати основні електрофізичні параметри напівпровідників.

Мета роботи полягала у розв'язанні таких наукових **завдань**:

1. Дати теоретичний аналіз ефекту Холла;
2. Навести порівняльні характеристики експериментальних методів визначення постійної Холла та електрорушійної сили Холла;
3. Провести дослідження вольт-амперних характеристик напівпровідникових зразків;
4. Провести вимірювання постійної Холла та електрорушійної сили Холла класичним методом;

**Предметом дослідження** є основні методи вимірювання ефекту Хола та дослідження фізичних властивостей об'ємних легованих зразків Основні електрофізичні параметри провідника, вплив магнітного поля на поведінку носіїв заряду у напівпровідниках.

**Об'єктом дослідження** є застосування структур Ван-дер-Пау при вимірюванні параметрів напівпровідників за допомогою ефекту Холу

**Методи дослідження:** в роботі використано експериментальні методики: двох- та чотирьохзондовий метод визначення електропровідності, чотирьохзондовий метод дослідження температурної залежності електропровідності, метод Ван дер Пау.

## ВИСНОВКИ

Встановлено, що основними методами дослідження гальваномагнітних явищ є методи вимірювання ефекту Хола та дослідження фізичних властивостей об'ємних та плівкових та шаруватих легованих зразків

В роботі розглянута теорія ефекту Хола для однорідного та ізотропного напівпровідника. Показано можливості та переваги застосування структур Ван-дер-Пау при вимірюванні параметрів напівпровідникових шарів за допомогою ефекту Холу в технології напівпровідникових приладів та інтегральних схем; визначити тип, концентрацію й рухливість носіїв заряду в напівпровідникових зразках методом ефекту Холу.

Показано, що виміри ефекту Хола в класично сильних магнітних полях дають можливість визначати фактор  $g$ ; для цього беруть відношення постійних Хола  $R_H$ , отримані для того самого зразка в слабкому й сильному полях.

Були побудовані вольт-амперні характеристики контактів для перевірки їх на омичність. Лінійність вольт-амперних характеристик усіх контактів показує відсутність різного роду дефектів та бар'єрів, що дало змогу досліджувати зразки без серйозних похибок та спотворень результатів обчислення.

Проведена порівняльна характеристика методів вимірювання електрорушійної сили Холла в напівпровідникових тонких плівках. Показано, що класичний метод є найбільш оптимальнішим та достовірнішим методом визначення е.р.с. Холла.

Отримано значення постійних Холла та е.р.с. Холла для тонкоплівкових напівпровідникових структур різної товщини

Квантовий ефект Холла важливий як для підвищення точності визначення фундаментальних постійних, так і для перевірки і уточнення великого числа фундаментальних теорій і експериментів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Батавин В. В., Концевой Ю. А., Федорович Ю. В. Измерение параметров полупроводниковых материалов и структур. — М.: Радио и связь, 1985. -264 с.
2. Ван Флек Л. Теоретическое и прикладное материаловедение. — М.: Атомиздат, 1975. -472 с.
3. Воробьев Ю. В., Добровольский В. Н., Стриха В. И. Методы исследования полупроводников. — К.: Выща школа, 1988. -232с.
4. Готра З. Ю. Технология микроэлектронных устройств: Справочник. — М.: Радио и связь, 1991. -528 с.
5. Зеегер К. Физика полупроводников. -М.: Мир, 1977. -616 с.  
Кембровский Г. С. Приближенные вычисления, методы обработки
6. Результатов измерений и оценки погрешностей в физике. — Мн.: ООО “Оракул”, 1997. -207 с.
7. Зеегер К.. Физика полупроводников. М.: Мир, 1977, 615с.
8. Павлов Л.П.. Методы измерения параметров полупроводниковых материалов. М.: Высшая школа, 1987, 238с. 7. Кучис Е.В.. Методы исследования эффекта Холла. М.: Сов. радио, 1974, 328с.
9. Баранский П.И., Клочков В.П., Потыкевич И.В. Полупроводниковая электроника. Киев: Наукова думка, 1975, 704с.
10. D.V.Lang and R.A.Logan, Phys. Rev. Lett., 39, 635 (1977) 10. R.Nelson, Appl. Phys. Lett., 31, 351 (1977) 11. T.Ishikawa and K.Kondo, Fujitsu Sci. Tech. J., 24, 143 (1988)
11. Кунце Х. -И. Методы физических измерений. — М.: Мир, 1989. - 216 с.
12. Кучис Е. В. Гальваномагнитные эффекты и методы их исследования. — М.: Радио и связь, 1990. -264 с.
13. Липсон Г. Великие эксперименты в физике. — М.: Мир, 1972. -216с.
14. Мейзда Ф. Электронные измерительные приборы и методы измерений. — М.: Мир, 1990. -535 с.

15. Павлов Л. П. Методы измерения параметров полупроводниковых материалов. — М.: Высшая школа, 1987. -239 с.
16. Сидоров Ю. В., Федорюк М. В., Шабунин М. И. Лекции по теории функций комплексного переменного. — М.: Наука, 1989. -480 с.
17. Сквайрс Дж. Практическая физика. — М.: Мир, 1971. -248 с.
18. Соклоф С. Аналоговые интегральные схемы. — М.: Мир, 1988. - 583 с.
19. Солимар Л., Уолш Д. Лекции по электрическим свойствам материалов. — М.: Мир, 1991. -504 с.
20. Татур Т. А. Основы теории электромагнитного поля. — М.: Высшая школа, 1989. -271 с.
21. Тилл У., Лаксон Дж. Интегральные схемы: Материалы, приборы, изготовление. — М.: Мир, 1985. -501 с.
22. Тригг Дж. Физика XX века: ключевые эксперименты. — М.: Мир, 1978. -376 с.; Решающие эксперименты в современной физике. — М.: Мир, 1974. - 160 с.
23. Шабалин С. А. Прикладная метрология в вопросах и ответах. — М.: Изд-во стандартов, 1990.-192 с.
24. Шульц Ю. Электроизмерительная техника: 1000 понятий для практиков. — М.: Энергоатомиздат1989. — 288 с.
25. Нанoeлектроника. Часть 1//Вьюрков В.В., Гридчин В.А., Драгунов В.П.- 2009г.
26. Квантовый эффект Холла/ /Бормонтов Е.Н.
27. Дробный квантовый эффект Холла//Степановский Ю.П. – 1998г.