

**Голові разової спеціалізованої вченої ради  
Національного університету «Львівська політехніка»  
доктору технічних наук, професорці  
КЛИМ Галині Іванівні**

## **РЕЦЕНЗІЯ**

**Рецензента доктора технічних наук, професора**

**СТАХІРИ Павла Йосиповича**

На дисертаційну роботу

**ЧЕМЕРИСА Дмитра Вікторовича**

на тему **«Електрофізичні та магнітотransпортні характеристики  
ниткоподібних кристалів GaAs для сенсорної електроніки»**

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії  
за спеціальністю 153 «Мікро- та наносистемна техніка» в галузі знань

15 «Автоматизація та приладобудування»

### **1. Актуальність теми дисертації**

Ниткоподібні мікрочастинки є перспективною елементною базою для сенсорної електроніки. На сьогодні найбільшу увагу привертає дослідження мікро- та наночастинки Si, Ge та сполук A3B5, зокрема таких як GaAs. Важливою науково-технічною проблемою, яка залишається відкритою, є розробка концепцій створення сенсорів фізичних величин, здатних працювати в складних умовах експлуатації (високі магнітні поля, низькі температури, вплив радіації).

На сучасному етапі накопичено теоретичний та експериментальний матеріал з вивчення електрофізичних, термодинамічних та гальваномагнітних властивостей ниткоподібних кристалів групи A3B5. Разом з тим, багато проблем залишаються невирішеними. Зокрема, дослідження кінетичних ефектів у ниткоподібних кристалах GaAs з концентрацією легування поблизу переходу метал-діелектрик за низьких температур під впливом деформації для створення сенсорно-електронних пристроїв на основі таких структур. Комплексні дослідження електричних і магнітних транспортних властивостей в ниткоподібних напівпровідникових, за низьких температур та високих магнітних полів, для розробки концепцій надчутливих, радіаційно стійких п'єзорезистивних сенсорів, а також розробка



теплових і п'єзорезистивних сенсорів, здатних працювати в екстремальних умовах є задачею **безумовно актуальною**.

## **2. Найсуттєвіші наукові результати дисертаційного дослідження та їх новизна**

До **найвагоміших наукових результатів** автора дисертаційної роботи слід віднести наступні:

1. На основі експериментальних досліджень польових залежностей магнітоопору в області криогенних температур виявлено, що в залежності магнітоопору ниткоподібних кристалів GaAs від поля при 4,2 К, та при дуже слабкому магнітному полі з індукцією до 0,2 Тл спостережено аномально позитивний магнітоопір кристалів, який зумовлений спін-орбітальною взаємодією носіїв заряду.

2. Вперше виявлено наявність ефекту негативного магнітоопору В ниткоподібних кристалах GaPAs із концентрацією легування  $10^{18}$  см<sup>3</sup> в широкому температурному діапазоні від 4,2 до 60 К з максимальним значенням до 7% за температури рідкого гелію, що пов'язано з квантуванням електронних станів носіїв зарядів при їх переважаючій провідності на поверхні зразка у кристалі зі структурою ядро-оболонка.

3. Вперше встановлено кореляцію між електро- та магнітотранспортними характеристиками ниткоподібних кристалів GaAs з різною концентрацією легуючих домішок поблизу переходу метал-діелектрик в широкому діапазоні температур.

## **3. Загальна оцінка роботи**

Дисертація Чемериса Д. В. є завершеною роботою, яка містить нові, науково обгрунтовані результати цілеспрямованих комплексних досліджень, викладені на 126 сторінках машинопису в 5 розділах.

Вступ підтверджує важливість теми дисертації, визначає мету дослідження та науково-технічні завдання, необхідні для його виконання.

В першому розділі проаналізовано дослідження щодо розроблення пристроїв на основі напівпровідникових ниткоподібних кристалів, описано принципи роботи пристроїв, основа роботи яких лежить в магнітотранспортних та п'єзоелектричних процесах. Описані явища, котрі проявляються при дослідженні магнітотранспортних властивостей НК GaAs, такі як осциляції Шубнікова де Гааза, спін-орбітальна взаємодія, слабка локалізація.



У другому розділі описана методика вирощування ниткоподібних кристалів методом хімічних транспортних реакцій, та хімічним осадженням з парової фази. Описано методи створення омичних контактів, та вимірювань опору при криогенних температурах та під дією сильних магнітних полів.

У третьому розділі подано результати комплексних досліджень впливу температури і магнітного поля на властивості ниткоподібних кристалів GaAs. Досліджено особливості магнітоопору зразків при різній концентрації легуючої домішки в магнітних полях з індукцією  $0 \div 14$  Тл, та при температурі від 4,2 до 77 К. В результаті проведених досліджень показано, особливості перенесення носіїв заряду в низькотемпературних характеристиках зразків. Встановлено, що аномальний позитивний магнітоопір та магнітоопір ниткоподібних кристалів GaAs при слабкому полі та низькій температурі виникають внаслідок спін-орбітальної взаємодії носіїв заряду, що походить від домішкової провідності в області переходу метал-діелектрик.

У четвертому розділі наведено результати комплексних досліджень впливу температури і магнітного поля на властивості ниткоподібних кристалів GaPAs, зокрема особливості магнітоопору зразків при різних концентраціях легуючої домішки в магнітних полях з індукцією  $0 \div 14$  Тл при температурі від 4,2 до 77 К. Також автором запропоновано використання кристалів в якості точних температурних датчиків в широкому діапазоні температур.

У п'ятому розділі наведено результати досліджень властивостей ниткоподібних кристалів GaAs в широкому діапазоні температур та деформацій. Описані залежності відносної зміни опору від деформації розтягу для кристалів з різним питомим опором, та наведені максимальні значення коефіцієнта тензочутливості для ниткоподібних кристалів GaAs n і p – типу провідності. Наведено таблицю з основними параметрами розроблених тензорезисторів.

Висновки за результатами виконання дисертації підкреслюють наукову новизну та практичну цінність проведених досліджень.

Список використаних джерел свідчить про те, що під час роботи було проаналізовано сучасні результати наукових досліджень.

Дисертація є завершеною науковою працею, а її оформлення відповідає встановленим вимогам МОН України.

#### **4. Практична значимість роботи** полягає в тому, що:

1. Розроблено тензорезистори на основі ниткоподібних кристалів GaAs p-типу провідності, які характеризуються високою тензочутливістю, слабкою температурною залежністю їх коефіцієнта тензочутливості та незначною зміною опору та температурної залежності опору при повторних циклах нагрівання і



охолодження. Зазначені тензорезистори можуть бути застосовані для вимірювань у різних робочих діапазонах температур ( $-120 \div +350^\circ\text{C}$ ) і деформацій ( $\pm(1 \times 10^5 + 1 \times 10^3)$  відн.од.).

2. Встановлено, що ниткоподібні кристали GaPAs можуть бути використані як в діапазоні термістори з високим температурним коефіцієнтом опору температур від 4,2 до 80 K за рахунок зміни опору на кілька порядків величини в цьому діапазоні температур.

## **5. Ступінь обґрунтованості та достовірність наукових положень і висновків дисертаційної роботи**

Достовірність наукових результатів та запропонованих автором рішень, висновків визначається великою кількістю представлених експериментальних досліджень проведених в Україні та за кордоном на сучасному вимірювальному обладнанні із застосуванням новітніх методик. Для досліджень електро- та магнітотранспортних властивостей ниткоподібних кристалів GaAs були застосовані методи атомно-силової та електронної мікроскопії, зокрема, мікроскоп AFM ІФН НАНУ у місті Київ та скануючі електронні мікроскопи Hitachi SEM S806, JEOL JSM-U3, а також SQUID магнітометр MPMS-XL5. Магнітоопір зразків при полях від 0 до 14 Тл та криогенних температурах вивчався з використанням біттерівського та надпровідного магнітів у Міжнародній лабораторії сильних магнітних полів і низьких температур у місті Вроцлав, Польща. Все вищезазначене забезпечує обґрунтованість та достовірність одержаних наукових результатів та сформульованих на їхній основі висновків дисертаційної роботи.

Апробація роботи проходила на авторитетних наукових форумах. Публікації автора в наукових журналах та матеріалах конференцій відображають суть виконаних досліджень та представлених в дисертації результатів. Автореферат дисертації повністю відповідає її змісту, він адекватно передає основні наукові результати дисертанта.

## **6. Зауваження до роботи**

За матеріалами дисертаційної роботи можна зробити такі зауваження і пропозиції:

1. В розділі 2.1 варто привести більше інформації про технологію нарощування нитковидних кристалів зокрема, температурний профіль печі.
2. В розділі 3.2.1 незрозуміло із тексту, який із отриманих результатів пояснюється спін-орбітальною взаємодією в нитковидних кристалах GaAs. Теж саме стосується розділу 3.2.2 де описана слабка локалізація в нитковидних кристалах.



3. В розділі 5 повідомляється про розроблення тензорезисторів на основі ниткоподібних кристалів GaAs р-типу провідності. Варто було б в тексті дисертації привести фотографії досліджуваних датчиків.
4. У тексті дисертаційної роботи зустрічаються окремі помилки, неточності та технічні огріхи проте, зазначені вище зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Наведені вище зауваження не впливають на обґрунтованість наукових положень та висновків дисертації і не знижують її наукової та практичної цінності.

## 7. Висновок

Дисертаційна робота Чемериса Дмитра Вікторовича «Електрофізичні та магнітотранспортні характеристики ниткоподібних кристалів GaAs для сенсорної електроніки», представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 153 – мікро- та наносистемна техніка, галузі знань 15 - автоматизація та приладобудування, є завершеною науково-дослідницькою роботою, наукові результати якої та практичне значення отриманих результатів є важливими для розвитку мікро- та наносистемної техніки.

Опубліковані роботи адекватно відображають суть та зміст дисертаційної роботи. Основний матеріал дисертації висвітлені у періодичних фахових виданнях та обговорено на численних конференціях.

Здобувач Чемерис Дмитро Вікторович заслуговує присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю 153 – мікро- та наносистемна техніка, галузі знань 15 - автоматизація та приладобудування.

Рецензент:

Доктор технічних наук, професор  
професор кафедри електронної інженерії

Павло СТАХІРА

Підпис д.т.н., професора Павла СТАХІРИ  
«ЗАСВІДЧУЮ»

Вчений секретар Національного університету  
«Львівська політехніка»

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024

Роман БРИЛИНСЬКИЙ

