

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

**РЕЦЕНЗІЯ  
рецензента**

кандидата технічних наук

**КОСТЯ Ярослава Ярославовича**

На дисертаційну роботу

**ЧЕМЕРИСА Дмитра Вікторовича**

на тему **«Електрофізичні та магнітотранспортні 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 роботи**

Актуальність дослідження полягає у потребі нашої держави в створенні ефективних технологій виготовлення сенсорів фізичних величин, придатних для впровадження в університетських науково-дослідних лабораторіях. Такі технології повинні бути недорогими і одночасно сприйнятливими до зміни своїх основних режимів. Це дозволяє швидко виготовляти сенсори з «параметрами на вимогу» і значно прискорює розроблення різних технічних систем в поширеній послідовності НД-ДКР-прототип системи-експериментальна оцінка-наступний прототип. Використана автором дисертаційної роботи технологія ампульного вирощування віскерів сполук груп 3-5 таблиці елементів повністю відповідає вимогам доступності і гнучкості.

Крім цього, вказана технологія не вимагає дорогих чистих кімнат, реактиви і матеріали необхідної чистоти можна синтезувати безпосередньо в лабораторії, а обладнання є простим і неенергозатратним. В випадку необхідності серійного виробництва, перехід до відкритих протічних реакторів є зрозумілим з точки зору проектування технологічного режиму.

Зазначені практично-експериментальні особливості дисертації мають велике значення і є актуальним напрямом наукових досліджень.

## 2. Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому і оформлення

В дисертації досліджуються магнітотransпортні та електротransпортні властивості ниткоподібних кристалів арсеніду галію з метою створення на їх основі сенсорів фізичних величин, працездатних у екстремальних умовах експлуатації.

У першому розділі вичерпно проаналізовано сучасний стан теорії та технології ниткоподібних кристалів, розглянута МОС-гідридна епітаксія, як основний метод отримання віскерів складних напівпровідників. Автор також аналізує і інші технології осадження з парової фази, показує, що в поєднанні з механізмом пара-рідина-кристал, недорогий і зручний метод хімічних транспортних реакцій повністю сумісний з практичною частиною дисертації, оскільки дозволяє ефективно і швидко коректувати технологію та забезпечувати високий рівень відтворюваності параметрів ниткоподібних кристалів GaAs. Рецензент повністю погоджується з таким висновком автора.

У другому розділі наведені основні підходи до досліджень. Доводиться визначальне значення формули Гіббса-Томсона для правильного проектування технологічного режиму ампульного методу отримання віскерів.

У третьому розділі подано результати досліджень низьких температур і магнітного поля на властивості ниткоподібних кристалів GaAs. Автором показано, що розроблена технологія вирощування і легування кристалів гарантує лінійну зміну магнітоопору з збільшенням індукції магнітного поля. Зрозумілою, що така особливість отриманих автором кристалів значно спрощує схему обробки сигналів створених на їх основі сенсорів і розширює смугу частот, в якій вони працюють.

У четвертому розділі наведено результати впливу температури і магнітного поля на властивості нитковидних кристалів іншого технологічно важливого матеріалу-GaPAs. Отримання такої потрібної сполуки методом хімічних транспортних реакцій є складною задачею і автор успішно її вирішив. Позитивною рисою цього розділу є також адекватне теоретичне пояснення експериментально визначеної поведінки магнетоопору.

Автору також вдалось розробити сенсор температури на основі GaPAs та визначити його калібрувальну характеристику. Цей результат сприятиме практичному застосуванню такого точного температурного сенсора.

У п'ятому розділі досліджено деформаційні властивості ниткоподібних кристалів GaAs в широкому діапазоні температур, наведено параметри розроблених тензорезисторів, що є ще одним підтвердженням практичного значення дисертаційної роботи.

Підсумовуючи, в дисертації розв'язано важливі наукові питання, які стосуються технологічних аспектів отримання і властивостей віскерів GaAs і GaPAs. Пропоновану технологію можна як масштабувати, так і застосувати для інших напівпровідникових сполук елементів груп 3-5.

### **3. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

Дисертація виконувалася відповідно до науковому напрямку кафедри «Напівпровідникової електроніки», а також тематичних планів Національного університету «Львівська політехніка». Кафедра має багаторічний досвід розроблення технологій вирощування віскерів різних напівпровідників в відкритих і закритих системах, а також створення різноманітних сенсорів на їх основі. Дисертація Чемериса Д. В. є продовженням науково-дослідних робіт в цьому напрямку.

### **4. Ступінь обґрунтованості наукових положень і висновків**

Наукові висновки та рекомендації дисертації Чемериса Д.В. обґрунтовано належним чином з використанням адекватних математичних моделей та підкріплено ефективним практичним застосуванням результатів дисертаційного дослідження.

Обґрунтованість наукових положень і висновків у дисертації є достатньою і впливає з повного аналізу літературних джерел, опису цілей дослідження, використання сучасних методів дослідження, таких як атомно-силова мікроскопія, растрова електронна мікроскопія, рентгенівський мікроаналіз, мультиметри Keithley тощо.

### **5. Основні наукові результати, одержані автором, та їх новизна**

Основні наукові результати та висновки дисертації пройшли апробацію на вітчизняних та міжнародних конференціях та публікаціях, які індексуються у наукометричній базі даних Scopus.

Дисертант отримав такі наукові результати:

- Розроблено спосіб та визначені параметри процесу вирощування та легування віскерів GaAs та GaPAs, досліджено їх електро- та магнітотранспортні характеристики в широкому діапазоні температур та магнітних полів, в тому числі при гелієвих температурах.

- Теоретично пояснено аномальний позитивний магнітоопір ниткоподібних кристалів GaAs при слабкому полі та низькій температурі ефектом спин-орбітальної взаємодії носіїв заряду.
- Експериментально отримані віскери твердого GaP<sub>0,4</sub>As<sub>0,6</sub>, досліджена температурна залежність їх електропровідності.

#### **6. Практичне значення одержаних результатів.**

Високі рівні легування віскерів GaAs та твердого розчину GaPAs дозволяють стверджувати про перспективи практичного використання отриманих в роботі результатів для створення сенсорів для екстремальних умов експлуатації, таких як високі температури або радіаційні навантаження. Такі сенсори необхідні для термоядерних експериментів, медичних прискорювачів, космосу.

Дисертацію можна використати для створення лабораторних робіт з технології напівпровідників, особливо в сучасних спецкурсах по наноматеріалах, оскільки використаний автором механізм пара-рідина-кристал є основою методик отримання нановіскерів різних напівпровідників та їх сполук.

#### **7. Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності**

Порушень академічної доброчесності не виявлено. Елементи фальсифікації тексту у роботі відсутні.

#### **8. Зауваження до дисертації**

1. В першому розділі детально описані різні технології отримання віскерів з особливим акцентом на механізм пара-рідина-кристал. Але автор не наводить особливостей застосування цього механізму для випадку ампульного осадження з парової фази за методом хімічних транспортних реакцій. Така інформація покращила б наукову новизну роботи.

2. В експериментальній частині автор використовує застарілий спосіб створення омичних контактів до розроблених сенсорів. Для досліджуваних напівпровідників доцільніше використовувати системи Ge-Au чи Ti-Au.

3. Ряд термінів у роботі вимагають наближення до їх англійського варіанту, зокрема, «нитковидні кристали» необхідно замінити на «віскери, мікровіскери, нановіскери або нанодроти».

В тексті можна знайти неточні переклади з англійської мови, інколи для одного наукового чи технічного поняття використовуються різні слова. Можна знайти і окремі речення, над якими треба думати, щоб зрозуміти, що автор хотів сказати. Було б добре виправити ці помилки з допомогою відповідного технічного редактора.

4. У дисертації також зустрічаються граматичні та стилістичні помилки.

#### **Висновки щодо дисертації**

Дисертація 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 актуальною, завершеною науковою працею, виконана на належному науково-теоретичному рівні з доступно викладеним матеріалом, який відповідає чинним вимогам Порядку присудження ступеня доктора філософії.

Сформульовані у дисертації наукові положення, висновки та рекомендації відображені у наукових публікаціях претендента. Наведені зауваження не знижують цінність результатів дисертації, а лише служать порадою для майбутньої професійної діяльності.

Здобувач Чемерис Дмитро Вікторович заслуговує присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю 153 «Мікро- та наносистемна техніка» в галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування».

Рецензент:

Кандидат технічних наук,  
асистент кафедри НІПЕ ІТРЕ



Ярослав КОСТЬ

Підпис к.т.н. Ярослава КОСТЬ  
«ЗАСВІДЧУЮ»

Вчений секретар Національного університету  
«Львівська політехніка»

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.



Роман БРИЛИНСЬКИЙ