



ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи
Національного університету
«Львівська політехніка»
Іван ДЕМИДОВ

06 " 03 2024 р.

Висновок

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації «Електрофізичні та магнітотранспортні характеристики ниткоподібних кристалів GaAs для сенсорної електроніки» здобувача наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 153 Мікро- та наносистемна техніка (галузь знань 15 Автоматизація та приладобудування) Дмитра ЧЕМЕРИСА наукового семінару кафедри напівпровідникової електроніки

1.Актуальність теми дисертації

Швидкий розвиток напівпровідникової електроніки вимагає розширення меж досліджень фізичних властивостей та можливостей застосування ниткоподібних кристалів. Ниткоподібні кристали є перспективною базою для сенсорної електроніки, яка завдяки своїм унікальним властивостям морфології, можливості регульованого легування, мініатюризації, механічної міцності та гнучкості технології їхнього створення дозволяє виготовляти сенсори фізичних та механічних величин, а також магнітного поля та температури з попередньо визначеними характеристиками та параметрами.

Галій-арсенід є важливим матеріалом для польових транзисторів, біполярних транзисторів з гетеропереходом, сонячних елементів та інтегральних схем, а ці компоненти стають все більш важливі в космічній галузі. GaAs пропонує ширший діапазон робочих температур і значно вищу радіаційну стійкість, ніж Si. Інтегральні мікросхеми з GaAs, виготовлені за стандартними процесами, можуть витримувати температури від -200 до +200 °C, а з використанням особливих технологічних процесів вони можуть бути працездатні до 400 °C.

Проте, є актуальна проблема створення сенсорів теплових величин, а також ультра чутливих радіаційно стійких сенсорів, ефективних в екстремальних умовах експлуатації, таких як сильні магнітні поля, низькі температури та електронне випромінювання, які можуть знайти широке застосування в різних галузях науки.

У цьому випадку ниткоподібні кристали GaAs, завдяки своїй морфології,

великим значенням рухливості носіїв заряду, структурною досконалістю та великою механічною міцністю, є хорошим матеріалом для вивчення впливу зовнішніх факторів, зокрема магнітного поля, в діапазоні концентрацій, що відповідає переходу метал-діелектрик.

Таким чином, дослідження магнітотранспортних та електротранспортних характеристик ниткоподібних кристалів GaAs при низьких температурах і магнітних полях 0-14 Т мають велику перспективу.

2. Зв'язок теми дисертації з державними програмами, науковими напрямами університету та кафедри Дисертацію виконано на основі наукової програми кафедри напівпровідникової електроніки Національного університету «Львівська політехніка», робота відповідає науковому напрямку кафедри мікро- та наносистемна техніка.

3. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів Основні результати роботи та положення, які відображають наукову новизну, одержано за безпосередньої участі автора або автором самостійно. Автором особисто проведено експериментальні дослідження тензометричних характеристик ниткоподібних кристалів GaAs в широкому діапазоні температур. Проведено дослідження залежностей магнітоопору ниткоподібних кристалів GaAs, та надано пояснення появи від'ємного магнітоопору. Досліджено залежності магнітоопору ниткоподібних кристалів GaAs при низьких температурах та надано пояснення появи аномального позитивного магнітоопору і лінійного магнітоопору при великих магнітних полях. Формулювання завдання та інтерпретацію отриманих даних проведено у співпраці з науковим керівником та співавторами наукових праць. Усі висновки та положення, що складають суть дисертації, сформульовані автором самостійно, на основі досліджень, що проводились в межах науково-дослідної роботи кафедри напівпровідникової електроніки інституту телекомунікацій, радіоелектроніки та електронної техніки.

4. Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та запропонованих автором рішень, висновків, рекомендацій Експериментальні результати було отримано використовуючи відповідну техніку та програмне забезпечення. Чисельні результати отримано за допомогою перевірених та апробованих математичних методів, які базуються на фундаментальних законах математики та фізики. Результати роботи демонструють добру узгодженість між собою, а також гарно корелюють з матеріалами публікацій інших авторів за даною тематикою.

5. Ступінь новизни основних результатів дисертації порівняно з відомими дослідженнями аналогічного характеру

Вперше:

- встановлено кореляцію між електро- та магнітотранспортними характеристиками ниткоподібних кристалів GaAs з різною концентрацією легуючих домішок поблизу переходу метал-діелектрик в широкому діапазоні температур, що дозволяє створити перетворювачі фізичних величин на їхній основі;

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

Набуло подальшого розвитку:

- на основі експериментальних досліджень 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 пов'язаний з спин-орбітальною взаємодією носіїв заряду;
- в залежності магнітоопору ниткоподібних кристалів GaAs від поля при 4,2 К в діапазоні магнітних полів від 0,2 до 14 Тл спостерігається лінійна поведінка магнітоопору, яка спричинена зростанням електрон-електронної взаємодії;
- ниткоподібні кристали GaAs з р-типу провідності володіють в широкому діапазоні температур від -120 до +350 °С практично лінійною залежністю опору від температури (ТКО становить $-(0,02 \div 0,03)\% \times \text{град}^{-1}$) та лінійною залежністю зміни опору від деформації в діапазоні температур від -120 до +250 °С, що було використано для створення сенсорів температури та деформації.

6. Перелік наукових праць, які відображають основні результати дисертації

В періодичних наукових фахових виданнях України:

- Druzhinin, A., Ostrovskii, I., Khoverko, Y., Kutrakov, O., Liakh-Kaguy, N., & Chemerys, D. (2021) Ohmic Contacts to n-type and p-type gallium antimonide whiskers.– Vol. 11, № 1.– P. 1–6. (Освоено методику створення омичних контактів до кристалів GaAs методом імпульсного зварювання.)
- Druzhinin A., Kutrakov O., Ostrovskii I., Liakh-kaguy N., Chemerys D. (2021). Strain gages based on gallium arsenide whiskers. Infocommunication Technologies and Electronic Engineering = Інфокомунікаційні технології та електронна інженерія. Vol. 1, № 1. P. 128–133. (Досліджено тензометричні характеристики кристалів GaAs в широкому діапазоні температур.)

В періодичних наукових виданнях, що включені до міжнародних наукометричних баз:

- Druzhinin, A., Ostrovskii, I., Khoverko, Y., Liakh-Kaguy, N., & Chemerys, D. (2023). Magnetoresistance of GaPAs and InSb whiskers. Applied Nanoscience, 13(7), 4701-4707. (Експериментально отримано залежності магнітоопору ниткоподібних кристалів GaPAs та InSb)
- Druzhinin, A. A., Ostrovskii, I. P., Khoverko, Y. M., Liakh-Kaguy, N. S., & Chemerys, D. V. (2022). Quantum Magnetoresistance of GaPAs Whiskers. *Physics and Chemistry of Solid State*, 23(3), 468-472. (Експериментально отримано залежності магнітоопору ниткоподібних

кристалів GaPAs)

- Druzhinin, A., Ostrovskii, I., Khoverko, Y., Liakh-Kaguy, N., & Chemerys, D. (2024). Low temperature magnetotransport properties in GaAs whiskers. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 768(1), 1-8. (Отримання залежностей магнітоопору ниткоподібних кристалів GaAs при низьких температурах)

7. Апробація основних результатів дослідження на конференціях, симпозиумах, семінарах тощо

Матеріали конференцій, що включені до міжнародних наукометричних баз:

- Druzhinin, A., Kutrakov, O., Ostrovskii, I., Khoverko, Y., Liakh-Kaguy, N., & Chemerys, D. (2021, November). Tensometric Characteristics of GaSb Strain Gauges. In 2021 IEEE International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo) (pp. 263-266). IEEE.
- Druzhinin, A., Khoverko, Y., Ostrovskii, I., Liakh-Kaguy, N., Medvid, A., & Chemerys, D. (2022, February). Peculiarities of the Magnetoresistance Si< B, Ni> Microcrystals as Sensetive Element of Sensors. In 2022 IEEE 16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET) (pp. 495-498). IEEE.

Матеріали конференцій:

- Chemerys D., Druzhinin A., Ostrovskii I., Khoverko Yu., Liakh-Kaguy N. (2021). Quantum magnetoresistance of GaPAs whiskers. Abstract book of International research and practice conference “Nanotechnology and nanomaterials” (NANO–2021), August 25–27, Lviv, Ukraine.– Kyiv: LLC «Computer-publishing, information center», 2021.– P. 121.
- Druzhinin A., Kutrakov O., Ostrovskii I., Liakh-Kaguy N., Chemerys D. (2021). Strain gages based on gallium antimonide whiskers. 9-та Міжнародна науково-технічна конференція “Сенсорна електроніка та мікросистемні технології” (СЕМСТ-9), 20–24 вересня, Тези доповідей. – Одеса: Астропринт, 2021, – С. 69.
- Druzhinin A., Ostrovskii I., Khoverko Yu., Liakh-Kaguy N., Chemerys D. (2022). Low temperature magnetotransport properties in GaAs whiskers. Abstract book of participants of the International research and practice conference “Nanotechnology and nanomaterials” (NANO–2022), August 25–27, Lviv, Ukraine.– Kyiv: LLC APF POLYGRAPH SERVICE, 2022.– P. 112.
- Chemerys D., Druzhinin A., Liakh-kaguy N., Khoverko Y., Ostrovskii I. (2023). Peculiarities of magnetoresistance in GaAs whiskers at low temperatures. Nanotechnology and nanomaterials (NANO-2023): abstract book of international research and practice conference, 16–19 August, Bukovel, Ukraine. – 2023. – С. 570.

8. Наукове значення виконаного дослідження із зазначенням можливих наукових галузей та розділів програм навчальних курсів, де можуть бути застосовані отримані результати Розроблено тензорезистори на основі НК GaAs р-типу провідності, які характеризуються високими значеннями тензочутливості, слабкою температурною залежністю їх коефіцієнта тензочутливості та низькою зміною опору та температурної залежності опору

при повторних циклах нагрівання і охолодження. Встановлено, що ниткоподібні кристали GaPAs можуть бути використані як термістори з високим температурним коефіцієнтом опору. Результати роботи можуть бути використані в навчальному процесі Національного університету «Львівська політехніка» під час проведення занять з курсу «Твердотільна електроніка».

9. Практична цінність результатів дослідження із зазначенням конкретного підприємства або галузі народного господарства, де вони можуть бути застосовані На основі нових розробок та результатів, отриманих в процесі виконання дисертаційної роботи, можна розробляти сенсори дієздатні у складних умовах експлуатації. Результати можуть бути застосовані в електронній промисловості та на виробництвах.

10. Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення Дисертаційну роботу викладено на 126 сторінках. Вона складається з вступу, 5 розділів, висновків та списку використаних джерел із 163 найменувань. Мова та стиль викладення знаходиться на належному науково-технічному рівні, за структурою та оформленням повністю відповідає вимогам МОН України, відповідно до наказу №40 від 12.01.2017р.

У ході обговорення дисертації до неї не було висунуто жодних зауважень щодо самої суті роботи.

11. З урахуванням зазначеного, на науковому семінарі кафедри напівпровідникової електроніки ухвалили:

11.1. Дисертація Чемериса Дмитра Вікторовича «Електрофізичні та магнітотранспортні характеристики ниткоподібних кристалів GaAs для сенсорної електроніки» є завершеною науковою працею, у якій розв'язано конкретне наукове завдання з розробки та дослідження чутливих елементів сенсорів працездатних у складних умовах експлуатації, що має важливе значення для галузі знань 15 *Автоматизація та приладобудування*.

11.2. Основні наукові положення, методичні розробки, висновки та практичні рекомендації, викладені у дисертаційній роботі, логічні, послідовні, аргументовані, достовірні, достатньо обґрунтовані. Дисертація характеризується єдністю змісту.

11.3. У 11 наукових публікаціях повністю відображені основні результати дисертації, з них 2 статті у наукових фахових виданнях України; 2 статті в міжнародних наукових виданнях, що включені до наукометричних баз; 1 стаття у виданнях України, які входять до міжнародних наукометричних баз, 4 тези доповідей наукових конференцій, 2 тези доповідей наукових конференцій, які входять до міжнародних наукометричних баз.

11.4. Дисертація відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, зі змінами).


11.5. Дисертація є результатом самостійних досліджень, не містить елементів фальсифікації, компіляції, плагіату та запозичень, що констатує відсутність порушення академічної доброчесності. Використання текстів інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела.

11.6. З урахуванням наукової зрілості та професійних якостей Чемериса Дмитра Вікторовича дисертація «Електрофізичні та магнітотранспортні характеристики ниткоподібних кристалів GaAs для сенсорної електроніки» рекомендується для подання до розгляду та захисту у спеціалізованій вченій раді.

За затвердження висновку проголосували:


за - 19 (дев'ятнадцять)
проти - (немає)
утримались - (немає)

Головуючий на науковому
семінарі кафедри
Напівпровідникової електроніки,
зав. кафедри Напівпровідникової
електроніки, *д.т.н., професор*

 *Анатолій ДРУЖИНІН*

Рецензенти:


(д.т.н, професор)

 *Павло СТАХІРА*

(к.т.н.)

 *Ярослав КОСТЬ*

Відповідальний у ІТРЕ за
атестацію PhD
(д.т.н., професор)

 *Ігор ОСТРОВСЬКИЙ*

"29" лютого 2024р.

2024.02.29
Університет
ІТРЕ