

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Чичури Ігоря Івановича

**“Моделювання та оптимізація характеристик волоконно-оптичних датчиків температури”**,

подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.10 – фізика напівпровідників і діелектриків

Сенсоризація виробничої діяльності в теперішній час розглядається у якості третьої промислової революції, що слідує за першими двома – машинно-енергетичною та інформаційно-комп'ютерною. Крім високих метрологічних характеристик сучасні вимірювальні датчики повинні мати високу надійність, довговічність, стабільність, малі габарити, масу і енергоспоживання, сумісність з мікроелектронними пристроями обробки інформації при низькій трудомісткості і невеликій вартості. Ці вимоги здатні задовольнити сучасні волоконно-оптичні датчики (ВОД), у тому числі і волоконно-оптичні датчики температури (ВОДТ). Одне волокно може забезпечити контроль в десятках і навіть в сотнях точок вздовж всієї своєї довжини, таким чином усуваючи необхідність використання складної електронної системи зв'язку. Крім того, застосування волоконно-оптичних датчиків в різноманітних технічних системах є перспективним з наступних причин: волоконна оптика вибухо- та пожежобезпечна; оптичному волокну властива висока стійкість до дії агресивних середовищ, тиску та температури; оптичний сигнал в ВОД не зазнає впливу електромагнітних полів, спричинених роботою інших технічних систем; ВОД є розподіленою системою збору даних з віддаленими пристроями обробки інформації і дистанційним контролем параметрів, що вимірюються; ВОД легко узгоджуються з оптичними системами обробки інформації.

Одними із найбільш перспективних і ефективних волоконно-оптичних датчиків температури є ВОДТ амплітудного типу з теплочутливими елементами на основі напівпровідникових матеріалів. Створення ж термочутливих елементів з оптимальними технічними та метрологічними характеристиками тісно пов'язано з дослідженням оптичних процесів на краю фундаментального поглинання напівпровідникових кристалів і стекол в умовах зміни температури навколишнього середовища.

У зв'язку з цим, **актуальність дисертаційної роботи**, присвяченої моделюванню та оптимізації оптичних параметрів легованих кристалів GaP і GaAs, стекол системи As-Se та термочутливих елементів на їх основі для розробки дистанційних волоконно-оптичних датчиків температури амплітудного типу, не викликає сумніву.

Актуальність дисертації визначається і зв'язком роботи з рядом науково-дослідних тем і проектів, що виконувалися в Ужгородському національному університеті (їх перелік приводиться на другій сторінці автореферату на двадцятій сторінці дисертації).

В роботі одержана низка **нових** оригінальних результатів. До найбільш вагомих можна віднести наступні:

- На основі експериментальних досліджень краю фундаментального поглинання визначено параметри залежної від енергії фотонів і температури функції коефіцієнта оптичного поглинання кристалів GaP і GaAs та скла  $\text{As}_{45}\text{Se}_{55}$ , яка була використана при створенні термочутливих елементів з вказаних матеріалів.
- Методами оптимізації та теоретичного моделювання показано, що оптимальним поєднанням фізичних параметрів й характеристик для створення чутливих елементів волоконно-оптичних термометрів володіє халькогенідне скло  $\text{As}_{45}\text{Se}_{55}$ .
- Вперше проведено моделювання процесу проходження оптичного випромінювання через оптичний тракт двоканального волоконно-оптичного датчика температури з напівпровідниковими термочутливими елементами з урахуванням параметрів всіх його елементів – від джерела випромінювання до фотоприймача. Встановлено, що потужності випромінювання через робочий та опорний канали тракту змінюються від 1 до 5 мВт.
- На основі моделей джерела випромінювання та оптичного тракту волоконно-оптичного датчика температури отримано математичне співвідношення температурної чутливості стекол  $\text{As}_{45}\text{Se}_{55}$ , аналіз якої дозволив встановити оптимальний інтервал вимірюваних температур (експериментально підтверджений) термочутливим елементом на основі скла  $\text{As}_{45}\text{Se}_{55}$  ( $270\div 430$  K).

Не викликає сумніву і **практична значимість роботи**:

- Розроблено нову технологію виготовлення термочутливих елементів високої оптичної якості для ВОДТ методом роздавлювання халькогенідних стекол при температурах, близьких до температур їх розм'якшення.
- Розроблено і створено діючий макет волоконно-оптичного термометра для експериментальних досліджень параметрів і характеристик двоканального волоконно-оптичного датчика температури на основі кристалічних і склоподібних напівпровідників.
- Використання халькогенідного скла в якості термочутливого елемента дозволило створити ВОДТ з практично лінійною передавальною характеристикою, які дозволяють вимірювати температуру оточуючого середовища в інтервалі  $270\div 430$  K з точністю  $\pm 1.5$  K.

**Загальна оцінка роботи:**

Дисертаційна робота Чичури І.І. є завершеною науковою роботою, яка містить нові, науково-обґрунтовані результати цілеспрямованих, експериментальних, теоретичних і конструкторських досліджень. Вона складається із вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаних

джерел із 84 найменувань, містить 73 рисунки, 13 таблиць і 3 додатки. Загальний обсяг роботи становить 125 сторінок.

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету і завдання досліджень, описано об'єкт, предмет та методи досліджень, показано наукову новизну і практичне значення дисертаційної роботи, наведено дані про особистий внесок здобувача, а також відомості про апробацію роботи та публікації.

**Перший розділ** дисертаційної роботи є оглядом літературних джерел, в якому представлено короткий опис фізичних та експлуатаційних властивостей оптичних волокон, що є основою волоконно-оптичних датчиків температури. Проаналізовано основні типи сучасних ВОДТ і ВОТ та їх конструктивні особливості, наведено їх експлуатаційні характеристики, переваги та недоліки. Даний аналіз дав змогу зробити висновок, що для широкого використання найбільш підходящими є волоконно-оптичні датчики амплітудного типу з термочутливими елементами на основі напівпровідникових матеріалів.

**Другий розділ** присвячений опису технологій виготовлення термочутливих елементів на основі кристалічних (GaP і GaAs) і склоподібних (стекла системи As-Se) напівпровідників, методів дослідження ТЧЕ в широкому (240÷450 K) інтервалі температур (у т.ч. і передавальних характеристик) волоконно-оптичних датчиків температури. Слід відзначити оригінальність розробленої технології виготовлення термочутливих елементів методом роздавлювання халькогенідних стекол при температурах, близьких до температур їх розм'якшення.

**Третій розділ** присвячено дослідженню спектрів поглинання чутливих елементів на основі кристалів GaP і GaS та стекол системи As-Se в області краю фундаментального поглинання в інтервалі температур 240÷561 K, визначенню їх енергетичних параметрів, обґрунтуванню вибору напівпровідникових матеріалів для чутливих елементів волоконно-оптичних датчиків температури, аналізу оптичних схем та вибору оптимальної схеми і хімічного складу чутливого елемента на основі халькогенідного скла для волоконно-оптичних датчиків температур.

Показано, що теоретичний аналіз краю оптичного поглинання халькогенідних стекол дозволяє на початкових етапах проектування ВОДТ визначати оптимальні оптичні характеристики і параметри ТЧЕ для узгодження всіх елементів оптичного тракту волоконно-оптичного датчика.

Визначено, що для амплітудних ЧЕ оптимальним поєднанням технічних, функціональних, конструкційних та економічних параметрів володіють ВОТ на основі однопроменевої двоканальної оптичної схеми прохідного типу з розміщенням чутливого елемента в одному робочому каналі. Для такої схеми підібрано всі компоненти оптичного тракту ВОДТ на основі склоподібного  $\text{As}_{45}\text{Se}_{55}$  із робочою довжиною хвилі  $\lambda_0=808$  нм.

У **четвертому розділі** описана методика (розроблена дисертантом) розрахунку передавальної характеристики ВОДТ, що враховує основні параметри всіх елементів оптичної схеми ВОДТ – випромінювальних та фотодіодів, оптичного волокна, Y-подільника, ТЧЕ з урахуванням

температурних змін релеївського розсіювання в матеріалах оптичного тракту, температурних змін коефіцієнта відбивання на межах поділу оптичних середовищ та спектральної нестабільності джерела випромінювання. Проведено теоретичний аналіз впливу флуктуацій густини та товщини чутливого елементу на його температурну чутливість та точність вимірювальних температур, який дозволив встановити оптимальний інтервал вимірюваних температур (експериментально підтверджений) термочутливим елементом на основі скла  $\text{As}_{45}\text{Se}_{55}$ ) ( $270 \div 430$  K).

Наведено опис розробленого і виготовленого стенду для експериментальних досліджень передавальних характеристик двоканального ВОДТ на основі скла  $\text{As}_{45}\text{Se}_{55}$ . Одержані залежності напруги фотоприймача від температури ТЧЕ практично лінійні. Виявлена хороша кореляція одержаної експериментальної передавальної характеристики з теоретично розрахованою.

Основні результати дисертаційного дослідження узагальнені у висновках і приведені у кінці роботи та авторефераті.

**Достовірність** отриманих результатів визначається надійністю сучасних експериментальних методик, використанням засобів математичного моделювання і сучасних програмних засобів, відтворюваністю одержаних результатів, узгодженістю експериментальних результатів з теоретичними розрахунками та літературними даними. Результати досліджень апробовані на українських і міжнародних конференціях та опубліковані у фахових періодичних виданнях з обов'язковою процедурою рецензування.

Водночас слід звернути увагу на те, що в роботі наявні певні **недоліки**, зокрема:

1. В оглядовому розділі приведено досить детальний аналіз різних типів волоконно-оптичних датчиків температури та волоконно-оптичних термометрів. Особливо детально проаналізовані інтерферометричні датчики і термометри. Однак, на мою думку, зважаючи на предмет дослідження дисертації, недостатня увага приділена ВОДТ з модуляцією інтенсивності випромінювання.
2. Друге зауваження пов'язане з технологічною частиною роботи. У другому розділі дисертації описана технологія одержання стекол системи As-Se, однак, на мою думку, у дуже скороченому варіанті. Не приведено даних про масу наважок та величину ампул, які б дозволили хоч якимось чином оцінити швидкості охолодження розплавів. Швидкості охолодження, наведені в роботі (0,1 K/c і 0,4 K/c), аж ніяк не відповідають дійсності. При гартуванні у воду швидкості складають сотні градусів на секунду. Відсутня в роботі і інформація про те, чи відпалювалися стекла після синтезу при температурах, трохи нижчих температури розм'якшення скла відповідного складу. Це важливо з огляду на те, що синтезовані стекла були використані для оптичних досліджень.

3. В третьому розділі приведені результати температурних досліджень спектрів пропускання кристалів GaP і GaAs. Виявлено, що для GaAs спектральна область, в якій при зростанні температури відбувається переміщення краю, поглинання, є значно ширшою (100 нм), ніж для GaP (40 нм). На основі даного порівняння автор стверджує, що більша ширина області температурних змін вказує на можливість кращої чутливості термочутливого елементу. При цьому, однак, автор обходить той факт, що вимірювання спектрів GaP проводились в інтервалі температур 246-400 К ( $\Delta T=154$  К), а кристалів GaAs в інтервалі 303- 561К ( $\Delta T=258$  К). Не зрозуміло, чому для GaP  $\Delta T$  набагато нижча. Крім того, виявлено, що для обох кристалів при збільшенні  $T$  край зміщується у довгохвильову ділянку спектру. Водночас, автор робить висновок, що для GaP ширина забороненої зони змінюється від 2.15 до 2.04 еВ, а для GaAs – від 1.42 до 2.16 еВ. Не зовсім зрозумілою є і причина відмови у подальшому від виготовлення ВОДТ на основі цих кристалів.
4. Викликає сумнів необхідність використання складної електронної системи реєстрації сигналу на лабораторному дослідному стенді для двоканального волоконно-оптичного датчика температури, наведеної на рис.4.13. Зокрема, чи важливими є стабілізація і напруги і струму світлодіода та чи ефективна сама схема подільника сигналів фотодіодів робочого та опорного каналів?
5. Хоча в роботі і авторефераті чітко розписана технологія виготовлення термочутливих елементів на основі халькогенідних стекел, не зовсім правильним є перший пункт «Практичне значення одержаних результатів» ( с. 23 дисертації, с. 3 автореферату), в якому автор зазначає «Розроблено нову технологію виготовлення ЧЕ високої оптичної якості для ВОДТ із халькогенідних стекел методом розчавлювання при близьких до склування умовах ». Умови склування це досить ємне поняття.
6. В роботі зустрічаються некоректні терміни (наприклад, «випарник»), невдалі вирази «Аналізом температурної чутливості визначено діапазон...» (с. 22-23 дисертації, с.3 автореферату). «Теоретичною обробкою експериментальних результатів отримано характеристики...» (с. 4 дисертації). Напевно більш коректно звучить «На основі аналізу...» та «На основі теоретичної обробки...».
7. Як в авторефераті, так і дисертаційній роботі зустрічаються граматичні і орфографічні помилки, русизми («численного», «регистратор»), різні назви одного і того ж терміну («розчавлювання», «розчавлення», «роздавлення»), різні розмірності фізичних величин (наприклад, К і °С).

Однак, ці зауваження аж ніяк не зменшують наукової і практичної цінності виконаних досліджень і висновків та не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Чичури І.І.

Основні результати доповідалися на багатьох конференціях різного рівня. Публікації дисертанта повністю відображають суть виконаних

досліджень та представлених в дисертації експериментальних та теоретичних результатів.

Автореферат в повній мірі відображає матеріал, викладений в дисертації.

### **Висновок**

Дисертаційна робота І.І. Чичури «Моделювання та оптимізація характеристик волоконно-оптичних датчиків температури» за актуальністю теми, науковою новизною та практичною цінністю отриманих результатів відповідає всім вимогам МОН України, які ставляться до кандидатських дисертацій згідно Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника, затвердженого постановою Кабінету міністрів України від 24 липня 2013 року № 567, а її автор **Чичура Ігор Іванович** заслуговує на присудження йому ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.10 – фізика напівпровідників і діелектриків.

### **Офіційний опонент:**

Завідувач Ужгородською лабораторією  
матеріалів оптоелектроніки та фотоніки  
Інституту проблем реєстрації  
інформації НАН України  
доктор фіз.-мат. наук, професор

 **Рубіш Василь Михайлович**  
