

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу Погорелова Станіслава Вікторовича

«ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ

ТОНКОДРОТЯНИХ РЕШТОК БОЛОМЕТРІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПОТУЖНОГО ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ», яку подано на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем

Актуальність теми. В Україні успішно продовжує розвиватись як важливий самостійний інтердисциплінарний науково-технічний напрям - сенсорна електроніка, який інтегрує у собі найновіші досягнення матеріалознавства, напівпровідникової, інтегральної і функціональної електроніки, нанофізики і наноелектроніки, інформаційних систем та мікросистемних технологій. Серед них виділяються особливо такі важливі для сучасних умов напрями як: газова сенсорика (контроль в газопаливній індустрії та екологічний моніторинг); НВЧ сенсорика (ТГц зв'язок); сонячна напівпровідникова енергетика; біосенсорика та, безумовно, датчики-сенсори фізичних величин, у тому числі датчики електромагнітного лазерного випромінювання. Значна частина розроблених сенсорів, інтегрована в інтелектуальні системи, частина впроваджена у виробництво.

Розвиток науки та технологій призводить до створення нових або розширення динамічного, спектрального діапазонів для існуючих джерел випромінювання, що вимагає постійного контролю параметрів випромінювання. За останній час у технології виробництва сенсорів відбувся значний прогрес. Чутливість сенсорів стала вищою, розміри меншими, вибірковість кращою, а ціна нижчою. При цьому використовуються як нові принципи, так і нові функціональні матеріали, на яких базується робота сенсорів у тому числі первинних датчиків електромагнітного випромінювання.

У дисертації Погорелова С.В. розглядаються первинні перетворювачі у вигляді тонкодротяних болометрів. Такі датчики були запропоновані у 70-х ро-

ках ХХ сторіччя для вимірювання параметрів лазерного випромінювання. Основними перевагами таких датчиків є висока променева стійкість, широкий спектральний діапазон, можливість вимірювання під час технологічного процесу. Унікальністю тонкодротяних решіток болометрів є відсутність обмежень на розмір апертури вимірювача, що дозволяє використовувати їх для контролю параметрів широкоапертурних лазерних пучків.

Необхідність градуювання та калібрування первинних перетворювачів за еталонними вимірювачами – як правило, калориметрами накладає на болометричні вимірювачі обмеження на розміри апертури, які не можуть бути більшими за розміри апертури калориметра.

Дослідження, які проведені у дисертації, дозволяють проводити контроль параметрів лазерного випромінювання без використання додаткових еталонних вимірювачів, що, безумовно, є **актуальною задачею**.

В роботі також велику увагу приділено вимірюванню параметрів поляризації лазерного випромінювання. На сьогодні жоден виробник не пропонує комплексні вимірювачі параметрів поляризації лазерного випромінювання, тому запропоновані принципи та методи вимірювань є **актуальними**.

Актуальність теми підтверджується також і тим, що робота виконана відповідно до держбюджетних та міжнародних наукових тем і проектів, які виконувались на кафедрі квантової радіофізики Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна продовж тривалого часу.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що дисертант провів ретельний аналіз характеристик перетворення тонкодротяних решіток болометрів. Нелінійність характеристики перетворення викликає систематичні похибки при вимірюванні параметрів лазерного випромінювання. В роботі досліджені та виключені з результатів вимірювань систематичні похибки за рахунок зміни основних фізичних параметрів болометрів від температури; за рахунок нерівномірності розподілу випромінювання вздовж болометричних елементів, а також за рахунок поляризаційних параметрів лазерного випромінювання.

Вперше розроблені методи та проведені дослідження температурних залежностей факторів ефективності поглинання.

Розроблені та перевірені методи вимірювання параметрів поляризації лазерного випромінювання. Створені макетні зразки та проведені експериментальні дослідження запропонованих методів вимірювання параметрів поляризації як двотак і трирешітковими болометрами.

В дисертаційній роботі створені та досліджені експериментальні зразки двотак трирешіткових болометрів. Розроблені алгоритми обробки сигналів з цих вимірювачів, які дозволяють проводити вимірювання енергетичних параметрів лазерного випромінювання в абсолютних величинах.

Дисертантом вперше запропоновані методи вимірювання параметрів дуже потужних імпульсів пучків Гауса без використання додаткових систем ослаблення.

Практична цінність одержаних результатів полягає в тому, що запропоновані болометричні вимірювачі з використанням розроблених методів вимірювання можуть бути безпосередньо застосовані для вимірювання параметрів потужних широкоапертурних лазерних пучків без ослаблення в таких галузях як лазерна обробка матеріалів, військова та астрономічна галузь та інші.

Повнота викладення наукових положень, висновків та рекомендацій в опублікованих працях

Основні наукові положення та практичні результати дисертаційного дослідження опубліковано в 52 наукових працях, серед них: 3 розділи у монографії, 14 статей у закордонних виданнях; 6 публікацій у виданнях України; 10 статей, які додатково висвітлюють результати дослідження; 6 патентів; 15 тез доповідей у матеріалах міжнародних конференцій. З них 4 публікації без співавторів; 14 публікацій включено до міжнародних наукометричних баз.

Обсяг друкованих робіт та їх кількість і науковий рівень відповідають вимогам МОН України щодо публікацій основного змісту дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук. Зміст дисертаційної роботи відповідає її назві. Зміст автореферату є ідентичним до змісту дисертації, до-

статньо повно відображає основні положення дослідження і не містить інформації, яка не відображена в самій роботі.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації. Наукові положення, висновки і рекомендації дисертації є достовірними та достатньо обґрунтованими. Це забезпечується детальним аналізом літературних джерел та існуючих науково-технічних рішень; застосуванням відомих розрахункових методів.

В дослідженнях використовуються числові методи розв'язання диференціальних рівнянь математичної фізики, методи числового моделювання. При обґрунтуванні методів та обробці результатів вимірювань використовуються методи теорії похибок та методи обробки випадкових похибок.

Аналіз змісту дисертації.

Дисертація складається з анотації, вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатку А «Список опублікованих автором праць за темою дисертації» загальним обсягом 302 сторінки. Основна частина дисертації займає 266 сторінок, містить 69 рисунків та 17 таблиць. Список використаних джерел з 251 найменування займає 27 сторінок.

У вступі дисертації обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульовані мета та задачі досліджень, викладені наукова новизна та практична значимість отриманих результатів, наведені дані про особистий внесок, публікації та апробації результатів наукових розробок.

У першому розділі дисертації Погорєловим С.В. був проведений огляд сучасних потужних лазерів. Показано, що переважна більшість потужних лазерів генерує в ІЧ-діапазоні. Автор провів огляд та аналіз існуючих типів сенсорів ІЧ діапазону, розглянув типи та переваги основних принципів вимірювань в інфрачервоному діапазоні довжин хвиль лазерного випромінювання.

Проведений аналіз існуючих принципів вимірювання параметрів поляризації лазерного випромінювання. Показано, що основними засобами при вимірюванні параметрів поляризації є пластини та призми, а комплексних систем діагностики параметрів поляризації не існує.

В першому розділі також проведений огляд існуючих вимірювальних приладів параметрів лазерного випромінювання, які виготовляються комерційно. Показано, що найбільші апертури в існуючих первинних перетворювачах, які випускаються фірмами, не перевищують 20 см.

У другому розділі автор провів аналіз залежностей фізичних параметрів платинових дротинок від температури. Найбільш зручним матеріалом для тонкодротяних болометрів є платина. В роботі розглянуті такі параметри тонких платинових дротинок як температурний коефіцієнт опору, питома теплоємність, коефіцієнт теплообміну, фактор ефективності поглинання для двох довжин хвиль – 1,06 та 10,6 мкм.

Вперше були запропоновані методи дослідження факторів ефективності поглинання та отримані температурні залежності цих показників.

Отримані температурні залежності були апроксимовані для подальшого використання при розв'язанні рівнянь теплового балансу.

У третьому розділі були досліджені характеристики перетворення одиничних болометрів. Для цього були запропоновані методи для розв'язання рівнянь теплового балансу з урахуванням температурних залежностей фізичних параметрів платинових болометрів. Розроблені методи як для імпульсного, так і для безперервного лазерного випромінювання. Проведений аналіз систематичних похибок, які виникають за рахунок температурних залежностей параметрів болометра. Для отриманих характеристик перетворення у розділі визначені коефіцієнти апроксимації в залежності від температур навколишнього середовища.

Четвертий розділ дисертації присвячений вимірюванню параметрів поляризації лазерного випромінювання за допомогою дротяних решіток болометрів. Болометри мають дихроїчні властивості, тобто вони поглинають одну компоненту електричного поля краще за іншу. Такі властивості дозволяють використовувати болометри для аналізу параметрів поляризації. В розділі запропоновані та експериментально перевірені методи вимірювання параметрів поляризації за допомогою дво- та трирешіткових болометрів. Методи, які розглянуті, дозволяють вимі-

рювати параметри випромінювання з виключенням систематичних похибок за рахунок нелінійності характеристики перетворення.

Розглянутий трирешітковий болометр дозволяє визначати параметри як лінійної, так і еліптичної поляризації, а дворешітковий болометр дозволяє вимірювати параметри лише лінійної поляризації лазерного випромінювання.

У п'ятому розділі дисертації розглянуті метрологічні властивості та показники решітчастих болометричних вимірювачів. Для дво- та трирешіткових болометрів розроблені алгоритми обробки сигналів, які дозволяють виключити з результатів вимірювань систематичні похибки за рахунок температурних залежностей основних фізичних параметрів болометрів, за рахунок нерівномірності розподілу лазерної інтенсивності вздовж болометричного елемента та за рахунок впливу поляризаційних характеристик випромінювання на болометричні елементи.

Запропоновані методи дозволяють визначати енергетичні параметри випромінювання в абсолютних значеннях, а також координати енергетичного центру пучка, середньоквадратичний радіус пучка, коефіцієнти нерівномірності розподілу інтенсивності вздовж болометра, а також поляризаційні коефіцієнти взаємодії лазерного пучка з болометричними елементами.

В розділі проведений аналіз випадкових та систематичних похибок параметрів, що вимірюються.

У шостому розділі розглянуті методи вимірювання, які дозволяють розширити сфери використання тонкодротяних болометрів. Так перший метод, який запропонований у розділі, обґрунтовує можливість використання скануючого болометра у вигляді тонкої дротинки для вимірювання діаметрів сфокусованих лазерних пучків. У проведеному експерименті був виміряний діаметр лазерного пучка близько 8 мкм.

Також у розділі запропоновані методи вимірювання енергетичних та просторових параметрів дуже потужного лазерного імпульсу у вигляді пучків Гауса за допомогою тонких болометрів, які розташовуються на схилах пучка Гауса поза зон з максимальною інтенсивністю. Це дозволяє значно підвищити критичну для болометрів границю енергії імпульсу, що вимірюється.

Разом з тим, слід зазначити, що дисертація не позбавлена певних недоліків:

1. У першому розділі дисертації доцільно було б більше уваги приділити науковим результатам, які були отримані при дослідженні саме тонкодротяних болометрів. Також з першого розділу стає не зовсім зрозумілим, чим відрізняються наукові результати дисертації від отриманих раніше.
2. У формулах 2.23 та 2.24 використовується функція $F(T)$. По-перше її введення та значення описано не зовсім зрозуміло, а по-друге, у формулі 2.24 від цієї функції, яка залежить лише від T , знаходяться частинні похідні по a та b .
3. У формулі 3.27 замість коефіцієнтів наведені три крапки, які не розшифровуються.
4. У формулі 4.6 отримано відношення початкових середніх діаметрів болометричних решіток, яке дорівнює 1,0162, але роз'яснень звідки отримано це значення не наведено.
5. Формула 5.26 введена без пояснень, чому саме така формула буде визначати загальний коефіцієнт нерівномірності розподілу.
6. На стор. 120 не відображений знак порівняння довжини болометра та його діаметра.
7. Висновки дисертації мають непослідовні номери.
8. Деякі висновки розділів і загальні висновки дисертації носять де-що загальний характер, недостатньо конкретний. Такими є висновки 2, 3 до 1 розділу; 1 та 5 до другого розділу; 1 до третього розділу; 4 до четвертого та шостого розділів; а також висновки 7 та 4 загальних висновків до дисертації.

Але ці недоліки не знижують суттєво загалом високий науковий рівень і практичну цінність дисертації.

Висновок

Таким чином, вважаю, що дисертаційна робота Погорелова С.В. за актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованості наукової та практичної цінності здобутих результатів задовольняє вимогам, що ставляться до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук згідно з «Порядком присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України, а її автор – Погорелов Станіслав Вікторович заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем.

Директор Міжвідомчого науково-навчального
фізико-технічного центру МОН і НАН України
при Одеському національному університеті
імені І.І. Мечникова МОН України,
д.ф.-м.н., професор



Я.І. Лепіх

Підпис проф Лепіха Я.І.

Засвідчую

Вчений секретар, к.х.н., доц.



С.В. Курандо