

Відгук
отриманий 9.12.21
Томою спеціалізованої
вченої ради ДФ 64.051.036
Сергієв Ірина

Голові спеціалізованої вченої ради
ДФ 64.051.036
Харківського національного
університету імені В. Н. Каразіна
майдан Свободи, 4, м. Харків

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Дубініна Микола Миколайовича «Формування, діагностика та управління випромінюванням сфокусованих лазерних пучків терагерцового діапазону», представленої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – Природничі науки за спеціальністю 105 – Прикладна фізика та наноматеріали.

1. Актуальність дослідження та зв'язок з науковими програмами, темами

Інформація про стан поляризації випромінювання, що поширюється, широко використовується в різних областях радіофізики, оптики, лазерної фізики і фотоніки, та є невід'ємною частиною багатьох сучасних технологій. Останнім часом зріс інтерес до світлових полів, що мають неоднорідну просторову поляризацію. Особлива увага приділяється пучкам з радіальною та азимутальною поляризацією. Такі поля активно застосовуються для вирішення різноманітних завдань у лазерній мікроскопії надвисокої роздільної здатності, лазерній маніпуляції, медичній діагностиці, у технологічних процесах обробки металів, прискоренні електронів, дослідженні плазмонів. Для цих застосувань потрібне зменшення розміру фокальної плями. Активний інтерес дослідників до пучок з неоднорідним просторовим розподілом поляризації став виявлятися після робіт, в яких було теоретично показано, що при гострому фокусуванні пучки з радіальним розподілом поляризації мають мінімальний розмір фокальної плями за рахунок виникнення у фокусі на осі потужної поздовжньої компоненти електроенергії поля. Пучки з азимутальною поляризацією випромінювання забезпечують генерацію кільцевого випромінювання мінімального розміру. Подальші роботи показали, що зміна розподілу стану поляризації у поперечному перерізі світлових пучків дозволяє змінювати розмір перетяжки та форму фокальної плями.

Мета даної роботи полягає у встановленні закономірностей внутрішньорезонаторного формування лазерних пучків з неоднорідною просторовою поляризацією в терагерцовому діапазоні, особливостей їхнього фокусування, а також в розвитку методів діагностики та управління випромінюванням сфокусованих лазерних пучків

Дослідження, що складають основу дисертації, виконані у рамках держбюджетної науково-дослідної теми «Формування, діагностика та управління випромінюванням сфокусованих лазерних пучків терагерцового і ПЧ діапазонів з

неоднорідною просторовою поляризацією” на кафедрі квантової радіофізики Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Це підтверджує актуальність і практичну значимість роботи.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації

Дисертація добре структурована, що полегшує отримання інформації, складається із вступу, 4 розділів, висновків та списку використаних джерел. У кожному розділі представлений хід вирішення поставлених завдань, а наприкінці розділів перераховані отримані результати. Ясна логіка та повнота викладу матеріалу дає можливість зробити однозначні висновки про обґрунтованість, достовірність та новизну отриманих автором результатів.

У першому розділі проведено систематичний аналіз літератури, який показує, що в квантовій радіофізиці активно розвивається новий науковий напрямок, пов'язаний з внутрішньорезонаторним і позарезонаторним формуванням просторово неоднорідних мод з необхідним станом поляризації, а також з фокусуванням та управлінням цих мод. Відзначено, що переважна більшість робіт у цій галузі виконано в оптичному діапазоні.

Другий розділ дисертаційної роботи присвячений дослідженням формування поперечних мод з різним станом поляризації в діелектричному резонаторі ТГц лазера. Запропоновано метод генерації окремих поперечних мод з азимутальною, радіальною і лінійною поляризацією поля в лазері терагерцового діапазону, що оптично накачується. Експериментально підтверджено ефективне збудження поперечних мод із необхідною поляризацією випромінювання на виході хвилевідного діелектричного НСООН-лазера.

Третій розділ присвячений фокусуванню лазерних пучків з різним типом просторової поляризації випромінювання. Дубініним М. М. було проведено теоретичні та експериментальні дослідження фокусування мод нижчого та вищого порядку випромінювання ТГц лазера на основі діелектричного хвилеводу. Показано, що сфокусована лінійно поляризована EH_{11} мода має максимум поля як при помірному, так і при гострому фокусуванні, азимутально поляризована TE_{01} мода в фокальній області лінзи зберігає кільцеподібний вигляд, а у радіально поляризованій TM_{01} моди при гострому фокусуванні в розподілі поля спостерігається значне зростання осьової інтенсивності. Також у цьому розділі проведено дослідження фокусування мод нижчого порядку випромінювання ТГц лазера на основі металевого хвилеводу.

У четвертому розділі представлені результати теоретичних і експериментальних досліджень можливості зміни параметрів гостро сфокусованих лазерних пучків за допомогою фокусувальної системи, що складалася з короткофокусної лінзи та масок різного діаметру. Змінюючи співвідношення між розміром маски і лінзи в експерименті мінімальний діаметр пучка сфокусованої лінійно поляризованої EH_{11} моди в фокальній області лінзи був зменшений на 30 %, тоді як довжина її фокальної перетяжки збільшена в 13 разів; мінімальний

діаметр сфокусованої азимутально поляризованої TE_{01} -моди зменшений на 20 %, а довжина її фокальної перетяжки збільшена в 9 разів.

3. Достовірність отриманих у роботі результатів

Результати проведених досліджень та отриманих результатів мають необхідну достовірність. Достовірність забезпечується коректністю постановки задач, використанням методів теоретичної електродинаміки та математичної фізики, що добре апробовані і зарекомендували себе, а саме, метод кінцевих різниць у часовій області для тіл обертання (BOR FDTD), матричний метод і векторна теорія Релея-Зоммерфельда.

Результати дисертації пройшли хорошу апробацію після їх опублікування у провідних міжнародних журналах, у яких усі статті проходять ретельне експертне рецензування, а також обговорення на наукових конференціях та семінарах.

4. Наукова новизна результатів роботи

Наукова новизна отриманих у дисертації результатів природно випливає з актуальності та новизни вибору об'єкта досліджень, а фізично обґрунтований підхід до вибору та вирішення необхідних для його повного вивчення завдань дозволяє автору переконливо це підтвердити. На мою думку, важко розділити результати дисертації щодо їхньої значимості. Кожен з них може представляти науковий інтерес для подальших досліджень. Але якщо оцінювати результати, як отримані вперше автором, то, на мій погляд, слід зазначити такі:

1. Обґрунтування методу генерації окремих поперечних мод с необхідним станом поляризації в лазері, що оптично накачується, терагерцового діапазону. Показано, що вхідне відбиваюче азимутально-симетричне великомасштабне дифракційне дзеркало формує моду з азимутальною поляризацією, вхідне відбиваюче азимутально-симетричне великомасштабне дифракційне дзеркало моду з азимутальною поляризацією, а вхідне відбиваюче фазовоступеневе дзеркало вищу лінійно поляризовану EH_{12q} моду.

2. Встановлення фізичних особливостей структури поля сфокусованих лазерних пучків випромінювання, що збуджуються модами круглого резонатора хвилевідного ТГц лазера при різних видах просторової поляризації даних мод.

3. Дослідження методу управління параметрами фокальної області гостро сфокусованих лазерних пучків випромінювання з різним типом поляризації. Цей метод полягає у використанні фокусувальної системи у вигляді короткофокусної лінзи, центральна область якої перекривається поглинаючими масками різного розміру.

5. Повнота публікацій в наукових працях

По темі дисертаційної роботи було зроблено 7 наукових публікацій. 6 статей опубліковано в наукових зарубіжних виданнях держави, яка входить до Організації економічного співробітництва та розвитку, що включені до наукометричних баз

Scopus та Web of Science, одна стаття опублікована в фаховому виданні України. Результати роботи пройшли апробацію на 9 міжнародних конференціях та повністю відображені в зазначених публікаціях.

6. Науково-практична значимість результатів дисертації

Зі змісту дисертації видно, що автор цілком чітко представляє практичну значимість проведених досліджень і, більш того, вибір завдань та об'єктів досліджень проводиться ним з урахуванням їхнього практичного застосування. Запропоновані та досліджені в дисертації методи та схеми формування та селекції поперечних мод з різною просторовою поляризацією поля у хвилевідних квазіоптичних резонаторах можуть бути використані при розробці та створенні нових конструкцій лазерних систем з керованими характеристиками для наукових та прикладних досліджень – одномодових лазерів із заданою формою вихідного пучка.

Дослідження з фокусування лазерних пучків необхідні для розв'язання задач пов'язаних із взаємодією електромагнітних хвиль з речовиною, а саме, діагностика поверхні матеріалів, тонких плівок, біологічних об'єктів, досягнення субхвильової роздільної здатності ТГц томографії.

У таких додатках, як лазерна абляція, генерація оптичного розряду, отримання терагерцових зображень необхідне фокусування ТГц випромінювання зі збільшеною глибиною фокуса. Запропонований в одному з розділів дисертаційної роботи метод, що дозволяє зменшити діаметр сфокусованого пучка та збільшити його перетяжку, дуже важливий для цих застосувань.

7. Академічна доброчесність

Текст дисертаційної роботи та отримані результати не мають ознак порушення академічної доброчесності. Всі запозичення наведені з відповідними посиланнями (перевірку наявності текстових запозичень виконано в антиплагіатній інтернет-системі Strikeplagiarism.com).

8. Недоліки і зауваження

Разом с тим вважаю за потрібним зробити наступні зауваження:

1. Недостатньо проаналізовано фактори, що впливають на точність вимірювань.
2. При вивченні хвилевідних резонаторів з дифракційними дзеркалами доцільно було б розглянути вплив активного середовища на умови формування та селективного збудження хвильових пучків у таких резонансних системах.
3. У другому розділі дисертаційної роботи дуже багато формул. Частково їх можна було помістити у Додаток.
4. У третьому розділі роботи у розрахунках закономірностей фокусування поперечних мод з просторово-неоднорідною поляризацією використовувалася лінза, поле на вході і виході якої описувалося з використанням функції фазової корекції. Вважаю, що доцільно було би врахувати аберацию

реальної лінзи та згасання в ній. Це дозволило б отримати кращий збіг теоретичних та експериментальних результатів.

5. У дисертаційній роботі є деякі недоліки у викладі матеріалу. На рис. 2.2 не вказані розміри резонатора, що досліджується, на рис. 3.13 та рис. 3.20 переплутані позначення приведеннях кривих, на рис. 4.4 позначені не всі графіки.

Проте дані зауваження не можуть зменшити загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи і не стосуються принципових результатів та висновків.

9. Загальні висновки щодо дисертації

Тема і зміст дисертаційної роботи Дубініна Миколи Миколайовича «Формування, діагностика та управління випромінюванням сфокусованих лазерних пучків терагерцового діапазону» відповідають спеціальності 105 – Прикладна фізика та нанометеріали галузі знань 10 – Природничі науки та відповідають вимогам передбаченим наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» та «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії» (постанова Кабінету Міністрів України від 06 березня 2019 р. № 167 зі змінами, внесеними згідно з постановою Кабінету Міністрів України від 21 жовтня 2020 р. № 979).

Враховуючи, актуальність, обґрунтованість наукових положень і висновків, наукову новизну дисертаційної роботи та дотримання академічної доброчесності вважаю, що Дубінін Микола Миколайович заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – Природничі науки за спеціальністю 105 – Прикладна фізика та нанометеріали.

Офіційний опонент
завідувач відділу вакуумної електроніки
Інституту радіофізики та електроніки
ім. О. Я. Усикова Національної
академії наук України,
доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник

Ігор КУЗЬМИЧОВ

Підпис д.-ф.-м.н., с.н.с. І.К. Кузьмичова засвідчую
В.о. ученого секретаря ІРЕ НАН України
к.ф.-м.н.



Сергій ПОНОМАРЕНКО