

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертацію Герасимової Дарії Олександрівни

«Дифракційне випромінювання на структурах з круглих діелектричних, металевих і графенових нанониток, що збуджуються модульованим потоком електронів»

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія»

Актуальність тематики дослідження

Дисертаційна робота присвячена дифракційному випромінюванню, що виникає на структурах з одиничних, парних та періодичних наборів круглих діелектричних, металевих та вкритих графеном нанониток і нанотрубок при збудженні потоком електронів. Теоретично досліджуються резонансні ефекти дифракційного випромінювання та перспективи розробки нових пристроїв. Дисертаційна робота відноситься до таких глобально актуальних та нагальних напрямків як використання графену для створення нових приборів, безконтактний моніторинг положення та швидкості пучка електронів, мініатюрні діелектричні лазерні прискорювачі, нові джерела випромінювання терагерцового діапазону. Графен є новим матеріалом з унікальними властивостями. Найбільш вивченими є плоскі структури з графену на діелектричних підкладках, менш дослідженими є вкриті графеном круглі нанонитки, і зовсім не досліджене дифракційне випромінювання таких структур. Саме це докладно вивчається в роботі. Спочатку аналізується дифракційне випромінювання від окремих нанониток, що є важливим для розуміння фізики досліджуваних явищ. Цей аналіз відносно простий, але ще ніким не був виконаний. Далі розглядаються даймери (пари) з діелектричних, срібних та вкритих графеном нанониток та нанотрубок. Саме ці структури демонструють найбільшу чутливість до просторових переміщень пучка електронів, тож можуть використовуватись для моніторингу положення пучка. Також в фокусі уваги і періодичні структури (решітки) з вкритих графеном нанониток, бо саме вони є основою діелектричних лазерних прискорювачів та джерел випромінювання.

Структура, зміст та оформлення дисертації

Дисертаційна робота Герасимової Д. О. є логічно побудованим дослідженням, послідовно проходяться етапи огляду літератури, визначення недостатньо вивчених ділянок, вибору підходів та методів, постановки математичної проблеми та розв'язання її за допомогою чисельних методів, після цього розроблені алгоритми використовуються для моделювання досліджуваних електродинамічних

структур, а результати моделювання ґрунтовно аналізуються. Дисертація написана гарною англійською, її легко та цікаво читати.

Дисертація складається з анотації (українською та англійською мовами), вступу, п'яти розділів із висновками до кожного з них, загальних висновків, списку використаної літератури та додатку з переліком наукових публікацій та доповідей на конференціях за матеріалами роботи. У вступі визначено актуальність, мету і завдання дослідження, описані використані методи (коротко), новизна та цінність отриманих результатів, висвітлено власний внесок автора, оприлюднення отриманих результатів, зв'язок з науковими програмами, планами, темами, отримані гранти та нагороди. Перший розділ містить огляд літератури за темою роботи, визначення напрямку дослідження, детальний опис розв'язуваних задач та використаних методів. Другий розділ присвячений дослідженню дифракційного випромінювання пучка електронів поблизу діелектричних нанониток, від формулювання математичної задачі до аналізу результатів комп'ютерного моделювання. Третій та четвертий розділи присвячені срібним нанониткам і нанотрубкам (розділ три) та вкритим графеном нанониткам (розділ чотири). Вони мають структуру подібну до другого. П'ятий розділ присвячено дослідженню умов лазерного випромінювання покритих графеном нанониток виготовлених із підсилюючого матеріалу.

Робота оформлена згідно чинних вимог.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота була виконана в Інституті радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України (Відділ квазіоптики, Лабораторія мікро- і нанооптики). Дисертація відповідає науковому напрямку Інституту. Робота виконувалась в межах шести держбюджетних та конкурсних науково-дослідних проєктів, серед них спільні з французьким Університетом Ренн 1. Також виконання роботи було підтримано сімома (!) грантами та нагородами від IEEE та European Association on Antennas and Propagation.

Основні наукові результати дисертації, їх новизна

У дисертації представлені наступні нові наукові результати, які були отримані під час її виконання.

(i) Поява нових резонансів при відхиленні пучка електронів від центрального положення між двома нитками даймера. В дисертації детально проаналізовано цей ефект, виявлено умови його прояви або відсутності, зокрема зазначено, що ці резонанси пов'язані з супермодами даймера, а їх інтенсивність пропорційна зсуву пучка. (ii) Адаптовано Оптичну теорему з теорії розсіяння плоских хвиль до сценарію з дифракційним випромінюванням. (iii) Виявлено домінування резонансів на плазмонних

модах ниток та ґраткових модах решітки у дифракційному випромінюванні скінченних решіток з вкритих графеном нанониток. (iv) Встановлено залежність між радіусом активних покритих графеном ниток та частотами і пороговими значеннями посилення плазмонних та діелектричних мод. (v) Досліджено властивості плазмонних супермод даймерів з активних покритих графеном ниток.

Обґрунтованість одержаних результатів

Достовірність одержаних результатів впливає з коректного формулювання задачі, що розв'язується, часткового обернення її за допомогою математично строгого підходу (метод аналітичної регуляризації) та чисельного розв'язання з контрольованою точністю. Розроблені алгоритми всебічно тестувались перед вивченням недосліджених раніше структур.

За матеріалами дисертації опубліковано шість статей у рецензованих фахових журналах (усі Q1 та Q2) та зроблено 19 доповідей на міжнародних конференціях. Якість та кількість публікацій є додатковим свідченням про високий науковий рівень роботи.

Значення одержаних результатів

Розроблені алгоритми мають контрольовану точність та не є вибагливими в плані обчислювальних ресурсів, це дозволяє достовірно та ефективно вивчати дифракційне випромінювання, що породжується потоком електронів поблизу нанониток та нанотрубок з діелектриків, благородних металів та графену, навіть на комп'ютерах середньої потужності. Також розроблені алгоритми можуть служити основою для програм оптимізації оптичних пристроїв на основі нанониток та нанотрубок. Досліджені в роботі залежності характеристик дифракційного випромінювання від частоти та інших параметрів, поведінка у ближній та дальніх зонах мають як фундаментальну наукову цінність, так і прикладну для розробки, наприклад, моніторів положення пучка чи діелектричних лазерних прискорювачів. Аналіз порогових умов для плазмонних мод розглянутих в дисертації нанолазерів може бути корисним при створенні нових, більш ефективних джерел випромінювання терагерцового діапазону.

Виконання наукового завдання, оволодіння методологією наукової діяльності

Поставлене наукове завдання було успішно виконано, для цього було (i) побудовано коректні математичні моделі взаємодії електронного пучка зі структурами з нанониток та нанотрубок; (ii) розроблено алгоритми для числового розв'язання цих математичних задач; (iii) досліджено вплив резонансів різної природи на дифракційне випромінювання пучка електронів; (iv) адаптовано Оптично теорему для випадку дифракційного випромінювання; (v) досліджено власні моди даймерів

як відкритих резонаторів, визначені порогові умови при наявності активних областей; (vi) продемонстровано можливість використання даймерів для моніторингу положення пучка. Розв'язання цих задач свідчить про високий рівень виконання поставленого наукового завдання, та оволодіння здобувачем методологією наукової діяльності.

Зауваження до дисертації

До цієї дисертації є декілька зауважень:

1. Місцями не зовсім зрозуміло де закінчуються відомі результати і починаються власні. Як наприклад при модифікації Оптичної теореми до дифракційного випромінювання.
2. Майже повна відсутність посилань на літературу при використанні методу аналітичної регуляризації у розділах 2.2 та 3.3.1.
3. Цікаво було б побачити результати для більшої кількості значень h (відстань між віссю x та пучком) у розділах 3.2 та 3.3. Досліджувані там структури (даймери зі срібних нанониток та нанотрубок) пропонуються до використання в якості моніторів характеристик пучка, і було б корисно побачити як змінюються властивості дифракційного випромінювання при переміщенні пучка електронів на різні відставні від осі симетрії.
4. Було помічено цілий ряд дрібних помилок, які вірогідно виправлені у фінальній версії тексту. Мова йде про описки, вади верстки, плутанину з нотацією, номерами посилань на літературу, формули, малюнки.

Усі ці зауваження є суто косметичними та ніскільки не знижують загальну позитивну оцінку дисертації.

Відомості про дотримання академічної доброчесності

У дисертації та публікаціях Герасимової Д. О. порушень академічної доброчесності не помічено.

Висновки щодо дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Герасимової Д. О. на тему «Дифракційне випромінювання на структурах з круглих діелектричних, металевих і графенових нанониток, що збуджуються модульованим потоком електронів» є завершеною науковою працею, що за рівнем виконання та усіма своїми властивостями повністю відповідає вимогам наказу Міністерства освіти і науки України №40 від 12.01.2017 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» (з наступними змінами) та постанови Кабінету Міністрів України №44 від 12.01.2022 «Про затвердження порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової

установи про присудження ступеня доктора філософії», а її автор, Герасимова Дарія Олександрівна, заслуговує на присудження їй ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

Рецензент

кандидат фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник

Інституту радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України



Костянтин Сіренко

Згідно з к.ф.-м.н. Сіренка К.Ю.

засвідчую

В.о. вченого секретаря Інституту

к.ф.-м.н.



Кривецько О.В.