

Відгук

офіційного опонента на дисертаційну роботу Ільченко Світлани Григорівни «Оптичні резонансні властивості метал-діелектричних багатошарових наноструктур», подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.05 – оптика, лазерна фізика

Дисертаційна робота Ільченко С.Г. присвячена колу питань, пов'язаних із створенням і вивченням спектрально-кутових параметрів структур нового типу – метал-діелектричних багатошарових наноструктур. В метал-діелектричних періодичних структурах об'єднані багатошарові діелектричні структури з шаром металу. Завдяки цьому з'являються нові неочікувані і корисні властивості, такі як поява резонансних ліній в кутових спектрах відбивання. На час виконання роботи більша частина досліджень резонансних властивостей багатошарових наноструктур стосувалась структур з металевою плівкою, на багатошарових діелектричних дзеркал та гібридних структур з оптичними резонансами Тамма і Фано.

З огляду на це, стає зрозумілою цінність технології метал-діелектричних багатошарових наноструктур і актуальність постановки задачі та вибору об'єкту досліджень. Вони зумовлені, в першу чергу, перспективою розробки важливих приладів на основі метал-діелектричних структур, таких як сенсори зміни показника заломлення, внутрішньорезонаторних кутових селекторів лазерного випромінювання, модуляторів лазерного випромінювання. З іншого боку, математичне моделювання, виготовлення і дослідження оптичних властивостей таких структур вносять суттєвий вклад у дослідження більш загальної проблеми - взаємодії світлового випромінювання з наноструктурованими матеріалами.

Перед дисертанткою стояли завдання як з обрахування спектрально-кутових оптичних властивостей метал-діелектричних структур, так і з експериментальних вимірювань їх характеристик. В роботі приваблює широке використання методів математичного моделювання і фізичного експерименту. Так, використовуючи метод Монте-Карло, показано виникнення вузького кутового мінімуму відбивання і здійснено оптимізацію товщини і показників заломлення матеріалів шарів для його мінімізації та досягнення максимального підсилення поля в останньому шарі нової метал-діелектричної структури, яка складається з діелектричних шарів $\lambda/4$ і шару металу. Досліджено утворення локалізованих хвиль (поверхневих станів Тамма) на інтерфейсі метал-структура брегівського типу. Виявлено явище поляризаційного розділення в спектрі таммівського резонансу. Показано, що завдяки цьому явищу ширина резонансу може бути суттєво зменшена. За

результатами моделювання виготовлено реальну метал-діелектричну структуру, яка складається з наночасу срібла та трьох пар діелектричних шарів $\text{Nb}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2$. Експериментально виміряний кутовий спектр відбивання вказаної структури збігається з теоретичними розрахунками. Показано, що завдяки звуженому спектрально-кутовому резонансу на основі такої метал-діелектричної структури можуть бути виготовлені сенсори на основі плазмон-поляритонного резонансу з роздільною здатністю та чутливістю, підвищеною на два порядки у порівнянні з раніше запропонованим аналогічним сенсором на основі тільки однієї металевої плівки на скляній призмі.

Особливий інтерес представляють результати вивчення дисертанткою впливу значень дійсної та уявної частин діелектричної проникності матеріалів першого шару метал-діелектричної структури на форму кутового спектру відбивання. Показано, що в такий спосіб можливо керувати формою коефіцієнту відбивання навколо резонансу, зокрема, замість провалу отримати пік відбивання. Саме завдяки наявності піку відбивання запропоновано і реалізовано метал-діелектричну структуру у вигляді призми для розміщення в резонаторі лазера на ітрій-алюмінієвому гранаті з неодимом у якості кутового селектора або селектора поперечних мод. В результаті експерименту вдалося здійснити фільтрацію поперечних мод лазера, значно зменшити кутовий спектр вихідного випромінювання створеного лазера.

Зацікавленість викликають і результати моделювання нелінійно-оптичних властивостей метал-діелектричних структур, в яких останній шар характеризується керрівською нелінійністю. В результаті розв'язання системи лазерних кінетичних рівнянь виявлено можливість реалізації бістабільності у відбиванні такої структури. Дисертанткою зроблено важливий висновок, що в лазерному резонаторі така бістабільність може призвести до розвитку автоколивального режиму генерації.

Окрім математичного моделювання, в руслі нелінійно-оптичної тематики знаходяться також і експериментальні дослідження нелінійно-оптичного відгуку матеріалів з кубічною нелінійністю – полімеру PVDF та його співполімеру P(VDF-TrFE). З використанням колоїдних суспензій гармонічних наночастинок продемонстровано перспективність використання співполімеру P(VDF-TrFE) як покриття кювет для біовізуалізації та характеристики наночастинок.

В своїй роботі дисертантка продемонструвала володіння широким набором методів математичного моделювання і фізичного експерименту. Це дозволило авторці не тільки виконати розрахунки, але і зробити за їх результатами цікаві фізичні висновки і передбачення, здійснити експериментальний цикл досліджень, починаючи від виготовлення зразків, їх досліджень з використанням методів лінійної і нелінійної оптики і до

демонстрування практичного застосування виробів, які на них створювали. Окрім того, використання в експериментальних дослідженнях сучасних методів лінійної та нелінійної оптики та кореляція отриманих результатів із літературними даними вказує на їх *достовірність*, що підтверджувалось неодноразовою апробацією на наукових конференціях. Це дає підставу вважати, що і наукові положення та висновки, сформульовані у дисертації є обґрунтованими.

Не викликає сумніву і *новизна* результатів, одержаних авторкою в процесі досліджень. Серед багатьох результатів дисертаційної роботи доцільно відмітити такі *найбільш значні та оригінальні*:

1. Перше виявлення наявності вузького провалу у кутовому спектрі відбивання багатошарової метал-діелектричної резонансної наноструктури та можливість збільшення чутливості сенсора показника заломлення на два порядки при використанні такої структури.

2. Виявлення ефекту оптичної невзаємності спектрів відбивання в резонансних багатошарових метал-діелектричних структурах.

3. Розрахунки та експериментальна реалізація структури $\text{Cr}/[\text{Nb}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2]_3$, з вузьким піком відбивання. Демонстрація можливості її застосування в широкоапертурних лазерах для отримання високої якості лазерного пучка.

4. Виявлення умов реалізації низькопорогової оптичної бістабільності в інтенсивності відбитого випромінювання для структур з нелінійно-оптичним відгуком.

В цілому, одержані в дисертації результати вирішують важливу наукову та практичну проблему розробки фізичних основ та створення ефективних метал-діелектричних багатошарових наноструктур для застосувань в сенсориці, нелінійних пристроях для керування оптичним випромінюванням, лазерній техніці.

Разом з тим слід відмітити деякі *недоліки*, які на мою думку присутні в роботі. Зокрема:

1. В розділі 4.3. «Перспективи застосування для створення лазерного модулятора» говорить про можливість використання явища низькопорогової бістабільності у відбиванні метал-діелектричних наноструктур для створення насичувального абсорбера, який призведе до автоколивального процесу лазерної генерації. На мій погляд, в роботі не вистачає обговорення можливості використання таких структур для реалізації режиму синхронізації мод лазерної генерації.
2. У роботі досліджено багатошарові структури з останнім шаром з матеріалу, що володіє нелінійністю типу Керра. В окремому розділі проведено

дослідження нелінійно-оптичних властивостей полімерів полівініліденфториду. Було б доречно привести дослідження багатошарових структур з використанням полімеру.

3. У розділі 5 описано дослідження ефективності генерації оптичних гармонік полімеру, поверхня якого функціоналізована наночастинками, але тільки ZnO. У роботі не проведено порівняння з іншими наночастинками. Чим зумовлено вибір саме цих наночастинок?
4. Текст дисертації має друкарські та орфографічні помилки. Лише на с. 24 наявні такі помилки: точніть, призаодить, запроновано, аналогіний; с. 27 – позводить; с. 31 – поверхней, с. 45 – розходимості (це русизм, українською – розбіжності), та ін.

Разом з тим, вказані недоліки не зменшують цінності дисертації як *завершеної науково-дослідної роботи*, виконаної на високому науковому рівні. Результати, які викладені в дисертації, достатньо повно відображені в опублікованих дисертанткою роботах. В авторефераті викладено основні ідеї і висновки дисертації, показано вклад авторки в розробку вибраної проблеми, ступінь новизни та значимість результатів досліджень, а також в достатній мірі обґрунтована структура дисертаційної роботи.

На основі вищесказаного вважаю, що дисертаційна робота Ільченко Світлани Григорівни «Оптичні резонансні властивості метал-діелектричних багатошарових наноструктур» задовольняє всім затвердженим Постановою Кабінету Міністрів України від № 567 24 липня 2013 року вимогам, які висуваються до кандидатських дисертацій, а її авторка *заслужує присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.05 – оптика, лазерна фізика*.

Офіційний опонент
доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник,
провідний науковий співробітник
Інституту фізики НАН України

Кадан В.М.