

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

ПАВЛОВОЇ СВІТЛАНИ ВОЛОДИМИРІВНИ

“ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЛАМЕНТАЦІЇ ТА СУПУТНИХ НЕЛІНІЙНО-ОПТИЧНИХ ЯВИЩ У НАПІВПРОВІДНИКОВИХ МАТЕРІАЛАХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОГО ДІАПАЗОНУ ДОВЖИН ХВИЛЬ”,

подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.05 – оптика, лазерна фізика

1. Актуальність теми роботи

Оптика і спектроскопія матеріалів в фемтосекундному діапазоні тривалості лазерних імпульсів належить до найбільш важливих та популярних напрямків розвитку фундаментальної та прикладної фізики. Роботи в цій області виконуються у напрямку створення нових фемтосекундних лазерів, дослідження процесів взаємодії надкоротких та суперінтенсивних лазерних імпульсів з речовиною та розробки нових технологій прецизійної лазерної мікрообробки функціональних матеріалів. На перетині цих трьох напрямків і виконано дослідження, результати яких представлено у дисертаційній роботі Павлової С.В.

Останнім часом однією з основних тенденцій розвитку потужної імпульсної лазерної техніки є перехід від лазерів на основі монокристалічних чи скляних активних лазерних середовищ, що працюють на довжині хвилі 1,06 мкм, до більш безпечних лазерів на основі оптичного волокна, легованого рідкісноземельними елементами, з генерацією в області 1,55 мкм. Такі лазери дозволяють досягнути кращих як оптичних, так і експлуатаційних характеристик. Крім того волоконні лазери дають можливість гнучкого керування параметрами випромінювання в залежності від конкретних технологічних задач. Актуальним є також використання волоконних лазерів для прецизійної мікрообробки матеріалів та продукування масивів елементів мікрооптики (мікрохвилеводи, мікролінзи, мікродзеркала, розгалужувачі світлових потоків та ін.) у таких важливих оптичних матеріалах, як монокристалічний кремній, InP, оптичні халькогенідні стекла та кварц. Важливими у фундаментальному та прикладному аспектах є дослідження нелінійних процесів просторово-часової трансформації потужних фемтосекундних лазерних імпульсів, утворення філаментів, генерація гармонік та ін.

Враховуючи, що тематика досліджень дисертаційної роботи Павлової С.В. безпосередньо пов'язана з зазначеною вище проблематикою як з фундаментальної точки зору, так і з точки зору практичної важливості таких досліджень, можна зробити висновок про безперечну **актуальність** теми цієї дисертаційної роботи.

2. Основні наукові та практичні результати дисертації

На мою думку, основними науковими та практичними результатами є наступні:

1. Розроблено і виготовлено новий фемтосекундний волоконний лазер з довжиною хвилі генерації 1,55 мкм з високими експлуатаційними характеристиками (максимальна енергія в імпульсі 2 мкДж при частоті повторення 250 кГц та тривалості імпульсу 410 фс).
2. Виявлено явище генерації третьої гармоніки у діапазоні довжин хвиль 514–519 нм при поширенні у c-Si та As₂S₃ фемтосекундних лазерних імпульсів із довжиною хвилі 1,55 мкм. Досліджено та запропоновано механізм формування кутового розподілу випромінювання третьої гармоніки у кремнії.
3. Вперше здійснено оптичний запис мікрохвильоводів в об'ємі кристалічного кремнію випромінюванням фемтосекундного лазера на довжині хвилі 1,55 мкм. Також здійснено запис об'ємних хвильоводів та структур у As₂S₃ лазерним випромінюванням з довжиною хвилі 1,55 мкм та в 65GeS₂-25Ga₂S₃-10CsCl – випромінюванням з довжиною хвилі 800 нм.
4. На основі рівнянь переносу інтенсивності та оберненого перетворення Абеля створено комп'ютерну програму для обчислення профілів зміни показника заломлення у плазмових каналах та хвильоводах за допомогою тіннограм, отриманих методом мікроскопії дефокусування.

3. Достовірність результатів, отриманих у роботі. Ступінь обґрунтованості висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації

Високий ступінь **обґрунтованості та достовірності** результатів та висновків, сформульованих у дисертації, забезпечується такими факторами:

1. В експериментах використовувалося оптичне обладнання та комплектуючі провідних спеціалізованих компаній світу.
2. Використання добре розвинених і широко апробованих сучасних експериментальних методик.
3. Відтворюваність експериментальних результатів.
4. Докладний аналіз експериментальних даних та їх хороше узгодження з результатами теоретичних розрахунків.

Таким чином, використані автором експериментальні та теоретичні методи, на основі реалізації яких було отримано висновки дисертації, є цілком коректними та обґрунтованими.

4. Наукова новизна та цінність результатів дисертації

Отримані у роботі результати безумовно мають високу **наукову новизну** та **цінність**, що полягають у тому, що в роботі вперше:

1. Встановлено вплив двофотонного поглинання на особливості просторово-часової трансформації фемтосекундних лазерних імпульсів з довжиною хвилі 1,55 мкм під час поширення у с-кремнії, що проявляється у збільшенні тривалості осьової частини імпульсів.
2. Виявлено явища філаментатії і мультифіламентатії фемтосекундних лазерних імпульсів з довжиною хвилі 1,55 мкм в As_2S_3 .
3. Виявлено асиметричний характер розширення частотного спектру фемтосекундних лазерних імпульсів з довжиною хвилі 1,55 мкм при їхньому поширенні у с-Si. Показано, що це є наслідком внеску лазерно-індукованої плазми в процес фазової самомодуляції.
4. Здійснено запис хвилеводів та просторових структур фемтосекундними лазерними імпульсами з довжиною хвилі 1,55 мкм в с-Si і стеклах As_2S_3 та 800 нм імпульсами – у $65GeS_2-25Ga_2S_3-10CsCl$. Визначено просторові профілі лазерно-індукованої зміни показника заломлення у цих оптичних матеріалах.
5. Показано, що при енергії лазерного випромінювання 1,8 мкДж на довжині хвилі 1,55 мкм у кристалічному InP можлива лише приповерхнева стала модифікація на глибині до 150 мкм.

5. Практичне значення результатів дисертації

Практична цінність роботи полягає в тому, що:

1. Визначені оптимальні значення довжини оптичних волокон, рівня вхідного сигналу та потужності накачки для кожного підсилувача при створенні фемтосекундного волоконного лазера будуть корисними розробникам волоконних фемтосекундних лазерів для їхніх практичних застосувань.
2. Встановлення впливу двофотонного поглинання на просторово-часову трансформацію фемтосекундного лазерного імпульсу в с-Si, визначення розмірів області локалізації енергії лазерного випромінювання, параметрів лазерно-індукованого плазмового каналу важливі для розробки технологій лазерної обробки кремнію лазерними імпульсами великої інтенсивності.
3. Реалізовані в дисертаційній роботі процеси формування об'ємних мікроструктур у с-Si і As_2S_3 та приповерхнева модифікація кристалів InP з використанням фемтосекундного лазера з $\lambda=1,55$ мкм можуть бути

використані для виготовлення інтегрованих елементів електроніки, голограм, 3D-запису в об'ємі матеріалу.

4. Розроблена комп'ютерна програма може використовуватися для швидкого визначення просторових профілів лазерно-індукованих змін показника заломлення на основі тіньограм.

6. Повнота викладу основних наукових і практичних результатів в опублікованих наукових працях. Завершеність і стиль викладу

Основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи Павлової С.В. у повному обсязі опубліковані у 14 наукових працях, з них 6 статей у міжнародних і вітчизняних фахових журналах та 8 тез доповідей на міжнародних конференціях.

Основну стратегію, методологію та зміст досліджень, а також інтерпретацію фізичної суті отриманих наукових результатів в дисертації Павлової С.В. висвітлено чітко і послідовно, із застосуванням наукового стилю викладу. Автореферат повною мірою та об'єктивно відображає зміст, структуру, основні результати і висновки дисертації. Дисертація Павлової С.В. являє собою завершене наукове дослідження, виконане на високому науковому рівні.

Тема дисертаційної роботи і зміст її наукових та практичних результатів повністю відповідають паспорту спеціальності 01.04.05 – оптика, лазерна фізика.

7. Зауваження до роботи

При позитивній оцінці основних положень дисертації, новизні, достовірності і практичній цінності отриманих результатів хотілося б висловити такі **критичні зауваження**:

1. Як видно з рис. 3.4, при збільшенні потужності лазерного пучка при його поширенні в с-Si відбувається не тільки звуження пучка внаслідок його самофокусування, але й просторове зміщення його максимуму (рис. 3.4(а)). У дисертації відсутнє пояснення цього ефекту. Стосовно експериментальної залежності ширини пучка від його потужності (рис. 3.4(б)) хотілося б висловити технічне зауваження – експериментальні залежності прийнято подавати дискретними точками, а не виключно суцільною лінією.

2. Відсутність звуження лазерного пучка в InP при збільшенні енергії імпульсу пояснено як наслідок великого впливу двофотонного поглинання. Які аргументи дозволили дисертантці виділити тільки цей фізичний механізм? Як відомо, при високих напруженостях електромагнітного поля на залежність показника заломлення від напруженості поля можуть впливати

також інші механізми, наприклад, перебудова зонної структури матеріалу та ін.

3. У спектрі третьої гармоніки, отриманого для As_2S_3 , при енергії імпульсу 1,2 мкДж спостерігається дублетна структура – крім основної компоненти на 520 нм присутня також високоенергетична компонента на 510 нм (рис. 3.15(a)). Було б дуже бажано проаналізувати можливі механізми такого цікавого ефекту.

4. У дисертації не зазначено, чи є оборотними процеси запису мікроструктур у досліджуваних матеріалах. Зокрема, чи можливим є у певному діапазоні інтенсивності лазерного пучка стирання іншим пучком таких мікроструктур з подальшим новим їх записом?

5. Не зовсім зрозуміло, чому в дисертації огляд літератури розбито на дві частини: одна – як окремий розділ 1, а друга – як вступна частина до оригінальних розділів. На мою думку було б доцільно або винести огляд літератури тільки в окремий розділ, або розбити його по окремих розділах, не виділяючи окремий розділ, який містить тільки огляд літератури.

Слід, проте, зауважити, що зроблені зауваження не ставлять під сумнів обґрунтованість, достовірність, наукову новизну і практичне значення основних результатів та висновків дисертаційної роботи і не впливають на її загальну високу оцінку.

8. Висновки щодо дисертації.

Оцінюючи дисертаційну роботу Павлової С.В. в цілому, хочу відзначити, що вона робить суттєвий внесок у розуміння фізичних процесів, що визначають основні властивості нестационарних нелінійних оптичних явищ у сучасних оптичних конструкційних матеріалах, що дозволяє використовувати результати роботи як в подальших фундаментальних дослідженнях, так і в практичних застосуваннях при створенні сучасних технологій прецизійної мікрообробки таких матеріалів. Робота є завершеним науковим дослідженням, виконаним на високому сучасному професійному рівні.

На підставі всього вищевикладеного вважаю, що дисертаційна робота **“Дослідження філаментатії та супутніх нелінійно-оптичних явищ у напівпровідникових матеріалах телекомунікаційного діапазону довжин хвиль”** за науковим рівнем, новизною та достовірністю результатів повністю відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою № 567 Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. щодо дисертацій, а її автор **Павлова Світлана Володимирівна без-**

умовно заслуговує присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.05 – оптика, лазерна фізика.

Офіційний опонент

професор кафедри експериментальної фізики
фізичного факультету

Київського національного університету

імені Тараса Шевченка,

доктор фізико-математичних наук, професор

Єщенко О.А.

Підпис проф. Єщенко О.А. засвідчую: