

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу

ПЕЦКА ВАСИЛЯ ІВАНОВИЧА

“Математичне моделювання оптичних структур та оптимізація їх просторово-поляризаційних параметрів при падінні світла під кутом”,

представлену на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

за спеціальністю **01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи**

Актуальність теми дисертації. Розвиток оптики тонкошарових покриттів тісно пов'язаний з прогресом в оптичному приладобудуванні, квантовій електроніці, спектроскопії, голографії. Інтерференційні покриття використовуються для отримання високих коефіцієнтів відбивання (дзеркальні покриття), для збільшення пропускання і покращення контрастності оптичних систем (просвітлюючі покриття), для спектрального і енергетичного розділу і суміщення оптичних сигналів та їх хроматичної корекції (вузькосмугові, смугові, відрізаючі фільтри), для поляризації випромінювання (інтерференційні поляризатори) і т.д.

В останні роки досягнуто суттєвих успіхів у вдосконаленні методів отримання плівок з відтворюваними оптичними властивостями. Поряд з традиційним методом термічного випаровування, який використовується для отримання плівок сульфідів і фторидів металів, широке розповсюдження отримав метод електронно-променевого випаровування, який дозволяє отримувати плівки тугоплавких окисів металів і напівпровідників. В останній час широко використовується модифікації методу іонно-плазмового розпилення – магнетронного розпилення на постійному і змінному струмі для виготовлення оптичних покриттів. Розвиток нових методів отримання плівок для оптичних цілей, вдосконалення технологічного обладнання, а також розширення номенклатури плівкових матеріалів, в значній степені стимулював

розробку нових методів розрахунку інтерференційних покриттів. Вони полягають: 1) у врахуванні особливостей матеріалів при визначенні спектральних характеристик; 2) у визначенні оптимальних параметрів інтерференційного фільтру. Задача визначення впливу часткової неоднорідності на спектральні характеристики оптичного шаруватого покриття відноситься до першої задачі, а задача визначення оптимальних параметрів багатошарового однорідного та одиничного неоднорідного покриттів – до другої задачі. Саме ці задачі розглядаються в дисертаційній роботі здобувача, тому вона є **актуальною**. **Актуальність дисертації** також підтверджують наукові теми, проекти в рамках яких виконувалась робота: спільний україно-турецький проект науково-технічного співробітництва „Першопринципні розрахунки, інфрачервоні та Раман дослідження формування високозаломлюючих наноструктурованих аморфних шарів для розробки оптичних фільтрів контролю газів, забруднюючих атмосферу”, реєстраційний номер 0110U007287; держбюджетна тема Міністерства освіти і науки України “Нелінійно-оптична абсорбція світла та енергетична структура фотонних стекел при зміні локального оточення”, реєстраційний номер 0113U002364.

Автором чітко сформульована **мета роботи** – розробка математичної моделі частково неоднорідних та неоднорідних плівок, дослідження оптимальних параметрів неоднорідної та однорідних багатошарових структур, використовуючи методи багатовимірної пошуку.

В першому розділі дисертації “ **Особливості проходження світла через багатошарові оптичні** ” викладено огляд та проведено аналіз літератури за темою дисертації, описано математичну модель проходження світла через оптичні структури (задача аналізу), описано матричний метод Ф. Абеле знаходження спектральних характеристик та наведено задачу синтезу багатошарових оптичних структур.

Проаналізовано можливі методи розв’язання задачі оптимізації параметрів оптичних структур. Серед них такі, як методи еквівалентних шарів, ефективних меж, корекції спектральних характеристик та методи, що базуються

на апроксимації спектральної характеристики покриття різними поліномами. Наведено їх переваги і недоліки при розв'язанні даної задачі. Вказано на необхідність побудови нових моделей, які дозволять врахувати особливості матеріалів при створенні оптичних фільтрів з наперед заданими спектральними характеристиками.

В другому розділі дисертації “Застосування γ -алгоритму та методу важкої кульки для знаходження оптимальних параметрів оптичних шаруватих покриттів” розглянуто задачу оптимізації параметрів оптичного багатошарового покриття в загальному вигляді, розглянуто такі методи багатовимірної пошуку, як метод узагальненого градієнтного спуску, субградієнтні методи з розтягуванням простору в напрямку субградієнта, γ -алгоритм, метод важкої кульки; запропоновано методику знаходження похідної розглядуваного функціоналу та критерії закінчення пошуку вказаними методами. Обґрунтовано вибір γ -алгоритму та методу важкої кульки для визначення просторово-поляризаційних параметрів оптичних багатошарових структур, а також оптимізаційної моделі, яка використовує γ -алгоритм та метод важкої кульки для знаходження оптимальних параметрів оптичних багатошарових структур.

В третьому розділі “Математичне моделювання просторово-поляризаційних параметрів спектральних характеристик оптичних фільтрів” побудовано математичні моделі профілю показника заломлення частково неоднорідних плівок для оптичних фільтрів.

Побудована математична модель базувалась на результатах отриманих в фізичних лабораторіях по вивченню некрystalічного дисульфіді германію. Дисертантом було промодельовано вплив наявності перехідної неоднорідної області у високозаломлюючому шарі на спектральні характеристики відрізаючого, вузькосмугового та широкосмугового інтерференційних фільтрів, що містять неоднорідні шари. Виявлено, що по відношенню до спектральної характеристики фільтрів для ідеального випадку різких меж плівками, зміни спектральних характеристик фільтрів з частково неоднорідним

перехідним шаром у високозаломлюючій плівці для робочих довжин хвиль у видимій області спектру, в залежності від типу розподілу показника заломлення в перехідній області плівки зменшується в такій послідовності: ступінчастий, логарифмічний, лінійний, квадратичний та експоненціальний залежності.

Отримані залежності параметрів оптичних фільтрів є ідентичними для будь-яких використовуваних для їх виготовлення прозорих матеріалів підкладинок та високо- і низькозаломлюючих шарів. Виявлені особливості спектральних характеристик частково неоднорідних плівок з різним типом розподілу показника заломлення на межах розділу та математичне моделювання їх структури дозволяють розширити можливість застосування плівок некристалічних матеріалів в практиці конструювання та виготовлення оптичних фільтрів.

В четвертому розділі “Дослідження оптимальних параметрів однорідних оптичних структур для низькозаломлюючої підкладинки при падінні світла під кутом” досліджено можливості просвітлення одно-, дво-, три- та чотиришаровими однорідними оптичними структурами низькозаломлюючої підкладинки.

Особливу увагу привертає та частина розділу, де дисертант проектує отримані результати просвітлення низькозаломлюючої підкладинки ($n_s=1,51$) однорідними плівками при падінні світла під кутом для одно-, дво-, три- та чотиришарових покриттів на реальні матеріали і наводить порівняльні характеристики із авторським свідоцтвом №934429. Причому авторське свідоцтво №934429 можна покращити змінивши значення показників заломлення і геометричних товщин.

До найбільш вагомих **результатів роботи** можна віднести наступні:

1. Розроблено математичні моделі високозаломлюючих шарів з частковою неоднорідністю, які дозволяють проводити розрахунки спектральних характеристик інтерференційних фільтрів з врахуванням різних типів розподілу показника заломлення в перехідній (неоднорідній) області високозаломлюючої плівки.

2. Виявлено зміни параметрів спектрів пропускання багат шарових оптичних структур при наявності перехідної області з неоднорідним розподілом показника заломлення у високозаломлюючих плівках, що дозволяє враховувати ці зміни при конструюванні оптичних інтерференційних покриттів і забезпечувати при виготовленні стабільні значення їх основних параметрів.
3. Встановлено, що по відношенню до спектральної характеристики фільтрів для ідеального випадку різких меж плівками, зміни спектральних характеристик фільтрів з частково неоднорідним перехідним шаром у високозаломлюючій плівці для робочих довжин хвиль видимій області спектру, в залежності від типу розподілу показника заломлення в перехідній області плівки зменшується в такій послідовності: ступінчастий, логарифмічний, лінійний, квадратичний та експоненціальний залежності.
4. Запропоновано постановку оптимізаційної задачі визначення впливу ширини спектрального інтервалу λ_2 / λ_1 на ефективність просвітлення однорідними плівками низькозаломлюючої підкладки при падінні світла під кутом.
5. Досліджено можливості просвітлення низькозаломлюючої підкладки ($n_s=1,51$) однорідними плівками при падінні світла під кутом для одно-, дво-, три- та чотиришарових покриттів. Виявлено динаміку зміни оптимальних параметрів та досліджуваного функціоналу, який із збільшенням спектрального інтервалу не є строго спадним, але має схильність до спадання.
6. На основі розроблених математичних моделей і методів запропоновано покращити характеристики відомого просвітлюючого покриття. Отримані результати просвітлення низькозаломлюючої підкладки ($n_s=1,51$) однорідними плівками при падінні світла під кутом для одно-, дво-, три- та чотиришарових покриттів спроектовано на реальні матеріали і наведено їх порівняльну характеристику.

Практичне значення результатів даної роботи є очевидним, оскільки автором розроблено підходи, числово-аналітичні методики і програми, які дозволяють проектувати оптичні покриття з кращими властивостями, ніж існуючі. Це застосовано в науково-дослідному інституті засобів аналітичної техніки ДВНЗ "Ужгородський національний університет" (акт впровадження від 18.12.2014 р.).

Загальна оцінка роботи.

Дисертація Пецка В. І. є завершеною роботою, яка містить нові, науково-обґрунтовані результати і має практичну цінність. Аналізуючи дисертаційну роботу Пецка В. І. можна виділити наступне:

по-перше, розвиває вивчення впливу особливостей різних матеріалів на спектральні характеристики, тобто здійснює математичне моделювання часткової неоднорідності на прикладі некристалічного дисульфиду германія при падінні світла під кутом;

по-друге, вперше досліджуються можливості просвітлення вискокозаломлюючих підкладинок неоднорідною плівкою з лінійним, квадратичним, логарифмічним або експоненціальним розподілами при падінні світла під кутом;

по-третє, досліджуються найбільш ефективні шляхи знаходження оптимальних параметрів різних інтерференційних фільтрів і показано, що оптимізовані конструкції дають кращі результати при порівнянні з існуючими аналогами.

Апробація роботи проходила на багатьох авторитетних наукових форумах. Публікації автора в наукових журналах (6 статей у наукових фахових виданнях України з технічних наук, 1 стаття у науковому фаховому виданні України з фізико-математичних наук, одна стаття в закордонному науковому виданні, яке внесено до міжнародних наукометричних баз) та матеріалах конференцій (7 публікацій в матеріалах міжнародних конференцій) відображають суть виконаних досліджень та представлених в дисертації результатів.

Зауваження до дисертаційної роботи:

1. Можливо більше інформації потрібно було привести про програму розроблену дисертантом при виконанні роботи.
2. При моделюванні та розрахунках не враховуються такі фізичні властивості плівок як поглинання і дисперсія показника заломлення.
3. У моделях наведених у роботі в якості матеріалу з низьким показником заломлення використовується кріоліт (Na_3AlF_6), який є досить гігроскопічним, тому для кращої практичної реалізації доцільніше застосувати фторид магнію MgF_2 .

Відмічені зауваження носять частковий характер, не впливають суттєво на позитивне враження від роботи в цілому. Автореферат дисертації повністю відповідає змісту дисертаційної роботи, він повністю передає основні наукові результати дисертанта.

Отже, можна зробити висновок, що представлена дисертаційна робота **“Математичне моделювання оптичних структур та оптимізація їх просторово-поляризаційних параметрів при падінні світла під кутом”**, відповідає встановленим вимогам МОН України, а її автор, Пецко Василь Іванович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук по спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент
старший науковий співробітник
ІФН НАН України,
кандидат технічних наук

В. Ю. Лоя

Підпис с.н.с., к.т.н. Лоя. В. Ю. засвідчую:
Вчений секретар ІФН НАН України, к. ф.-м.н.,
старший науковий співробітник

З. З. Торич