

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОФІЗИКИ І РАДІАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Коломієць Сергій Миколайович

УДК 539.2:535.3

**СИНТЕЗ І РЕАЛІЗАЦІЯ ОПТИМАЛЬНОЇ БАГАТОШАРОВОЇ
ПЕРІОДИЧНОЇ СИСТЕМИ ТИПУ ПОЛІЕТИЛЕН - ГЕРМАНІЙ**

01.04. 07 – фізика твердого тіла

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2007

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки України і в Інституті електрофізики і радіаційних технологій Національної академії наук України.

Науковий

керівник: доктор фізико-математичних наук, професор

Беляєва Алла Іванівна,

Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки України, професор кафедри загальної та експериментальної фізики.

Офіційні

опоненти: доктор фізико-математичних наук, професор

Мамалуй Юлія Олександрівна,

Донецький національний університет, професор кафедри загальної фізики та дидактики фізики;

доктор технічних наук, старший науковий співробітник

Литвиненко Володимир Вікторович,

Інститут електрофізики і радіаційних технологій НАН України, вчений секретар.

Провідна

установа: Інститут монокристалів НАН України, відділ напівпровідникових оптичних кристалів.

Захист відбудеться 12.03.2007 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.245.01 при Інституті електрофізики і радіаційних технологій НАН України за адресою: 61003, м. Харків, вул. Гамарника, 2, корпус У-3, НТУ “ХПІ”, ауд. 204.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Інституту електрофізики і радіаційних технологій НАН України за адресою: 61024, м. Харків, вул. Гуданова, 13. Відзив на автореферат дисертації надсилати на адресу: 61002, м. Харків, вул. Чернишевського, 28, а/с 8812.

Автореферат розісланий 09.02. 2007 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради Д 64.245.01

Пойда А.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Дослідження, які спрямовані на з'ясування особливостей розповсюдження хвиль різної фізичної природи в багатошарових твердотільних системах, актуальні для багатьох галузей фізики. Наприклад, багато природних структур можуть бути змодельовані багатошаровим середовищем. Прикладна фізика твердого тіла дає багато прикладів поширення хвильових процесів в періодичних структурах. За допомогою таких систем, що поглинають падаючу на них енергію, розв'язують проблеми звукоізоляції в акустиці, завдання щодо конструювання стійких до коливань температури шаруватих огорож та інші. Зокрема, багатошарові системи (БС) є найважливішими елементами сучасних оптоелектронних та оптичних приладів. Якість БС багато в чому визначає характеристики цих приладів. У даний час посилюються вимоги до характеристик БС, розширюється сфера їх функціонального застосування, постає необхідність створення систем з новими фізичними властивостями. Вирішення цих проблем вимагає проведення комплексних наукових досліджень, спрямованих на розв'язання таких конкретних завдань: 1) вибір і дослідження нових матеріалів; 2) створення нових методик синтезу, що застосовуються для вибору оптимальних параметрів та розрахунку конкретних типів БС; 3) розробка нових критеріїв якості, які адекватно відображають вимоги до фізичних характеристик БС. Ці завдання вимагають одночасного рішення для створення найбільш ефективних нових БС.

Зокрема, для вирішення задач щодо фільтрації випромінювання в широкому діапазоні довжин хвиль – від ультрафіолетової до середньої інфрачервоної (ІЧ) області включно – на сьогодні кращі характеристики мають багатошарові інтерференційні системи (БІС), в основі яких лежать багатошарові тонкоплівкові системи. Створення таких систем для дальнього ІЧ діапазону пов'язано з додатковими специфічними експериментальними труднощами. У даний час ІЧ випромінювання використовується в багатьох галузях науки і техніки. Слід виділити наземні і бортові астрофізичні дослідження, ІЧ фотоелектроніку. Підвищений інтерес до досліджень в довгохвильовій ІЧ області спектру пов'язаний, перш за все, з їх великими можливостями стосовно поглиблення нашого розуміння будови широкого класу природних і штучних об'єктів (газів, рідин, твердих тіл, плазми, астрофізичних комплексів). Прогрес у всіх цих областях визначається успіхами у вдосконаленні спектральних методів, зокрема в розробці фільтрів для довгохвильового діапазону, які є обов'язковими елементами таких класів приладів як спектрофотометри з дифракційними решітками і Фур'є-спектрометри. Постійно розширюється діапазон довжин хвиль ($2 \text{ мкм} < \lambda \leq 1 \text{ мм}$), для якого задачі фільтрації є актуальними, пред'являються нові вимоги до характеристик фільтрів.

Серед БС особливе місце займають багатошарові періодичні системи. До них відносять, зокрема, чвертьхвильові діелектричні дзеркала і БІС, що складаються з шарів матеріалів з низьким і високим показниками заломлення, що чергуються, оптична товщина яких, як правило, рівна чверті довжини хвилі. При створенні таких систем найчастіше використовують прийом оптимізації деякої

початкової конструкції фільтру, яка вибрана як початкове наближення, з метою поліпшення її характеристик. Оптимізація, як правило, виконується в таких напрямках: 1) вибір найкращого набору матеріалів; 2) оптимізація структури; 3) варіація товщини шарів. У всіх цих випадках виникає проблема математичної формалізації критерію оптимальності багатошарової системи. На сьогодні задача синтезу БС ще не має однозначного вирішення, тому активний пошук ефективних алгоритмів її вирішення продовжується. Основним напрямком пошуку є розробка алгоритмів розв'язання багатоекстремальної задачі великої розмірності, адаптованих до задачі синтезу БС. Проте цей підхід не позбавлений недоліків, і його практична реалізація пов'язана зі значними труднощами. Тому в даний час задачу синтезу БС ще не можна вважати остаточно вирішеною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі загальної і експериментальної фізики Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” в рамках НДР за такими темами: “Дослідження і розробка з удосконалення технології складних напівпровідникових матеріалів” (“Структура”) (№ держ. реєстрації 0194U012965), “Фундаментальні дослідження закономірностей зміни властивостей і структури складних надпровідників у результаті зміни властивостей їх складу і умов отримання” (№ держ. реєстрації 0196U026387), “Дослідження термодинамічних, кінетичних і оптичних властивостей дефектних кристалічних та аморфних систем різної розмірності та структурної стійкості” (№ держ. реєстрації 0103U001485), а також в Інституті електрофізики і радіаційних технологій НАН України у рамках НДР за темою “Просторова модуляція параметрів порядку та фазові перетворення і приховані симетрії у конденсованих системах (гідродинамічний опис)” (№ держ. реєстрації 0103U000069). Здобувач брав участь у виконанні цих НДР як виконавець.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є розробка фізико-технологічних основ виготовлення нової ефективною багатошаровою періодичною системою полімер-германій з оптимальними параметрами для фільтрації випромінювання дальнього інфрачервоного діапазону.

Для досягнення поставленої в дисертаційній роботі мети необхідно було вирішити такі теоретичні і експериментальні задачі:

1. Вивчити літературні джерела за темою роботи. Обґрунтувати вибір матеріалів, що становлять основу багатошарової системи для фільтрації випромінювання дальнього інфрачервоного діапазону.
2. Теоретично проаналізувати характеристики спектру багатошарової системи, яка може служити відрізаючим фільтром для дальнього ІЧ діапазону з метою вибору її параметрів, що визначають матеріали шарів.
3. Розв'язати задачу щодо синтезу, яка заснована на представленні характеристик спектру багатошарової системи обмеженим набором величин.

4. Розробити спосіб нанесення покриттів з діелектричних і напівпровідникових матеріалів на тонкі полімерні плівки. Створити експериментальний зразок багатошарової відрізаючої системи.
5. Здійснити комплекс експериментальних досліджень і визначити фізичну природу формування характеристик полімер - кристалічних багатошарових систем. Встановити фізичні механізми, які відповідають за відхилення експериментальних результатів від даних синтезу.
6. Вивчити фізичні принципи і експериментальні можливості поліпшення характеристик полімер - кристалічних багатошарових систем.

Об'єкт дослідження: багатошарові чвертьхвильові періодичні полімер - кристалічні системи.

Предмет дослідження: характеристики спектру багатошарових періодичних систем, які використані як критерії якості при вирішенні задачі синтезу. Вибір нових матеріалів, які є перспективними для використання у БС як шари з низьким і високим показниками заломлення.

Методи дослідження: основними теоретичними методами, що використовувались в даній роботі, є матричний метод розрахунку амплітудних коефіцієнтів віддзеркалення (пропускання) БС і багатокритеріальна оптимізація. Основними експериментальними методами є термічне напилення (для створення експериментальних зразків багатошарових систем) і ІЧ-спектроскопія (для дослідження фізичних характеристик матеріалів досліджуваних зразків).

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше сформульована і розв'язана задача щодо синтезу багатошарової системи [повітря-поліетилен-германій-повітря], яка заснована на багатокритеріальній оптимізації.
2. Вперше візуалізовано розв'язання задачі щодо синтезу багатошарової системи [повітря-поліетилен-германій-повітря] у вигляді атласу оптимальних систем типу $[A(LH)^m A]$.
3. Вперше розроблені фізико-технологічні основи виготовлення багатошарових систем полімер-германій, в яких полімерні плівки мають потрібне значення: інтерференційних шарів з низьким показником заломлення, підкладки на стадії термічного осадження шарів матеріалів з високим показником заломлення і клейового з'єднання для забезпечення оптичного контакту при формуванні багатошарової системи.
4. Вперше встановлені основні фізичні механізми, які визначають відмінність характеристик виготовлених експериментально зразків багатошарових періодичних систем [повітря-поліетилен-германій-повітря] від характеристик, одержаних теоретично за результатами синтезу.
5. Вперше обґрунтована можливість безперервної перебудови межі пропускання БС при використанні дискретного набору товщин шарів одного з матеріалів.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Розроблено простий в практичній реалізації метод синтезу чвертьхвильових відрізаючих бага-

тошарових періодичних систем типу $[A(LH)^m A]$, який дав можливість одержати вичерпне вирішення задачі синтезу у вигляді атласу Парето-оптимальних систем.

2. Розроблено метод виготовлення експериментальних зразків багатошарових інтерференційних систем для фільтрації випромінювання дальнього ІЧ діапазону ($50 \text{ мкм} < \lambda < 300 \text{ мкм}$), основні характеристики яких перевищують комерційні аналоги, наприклад ті, які випускає компанія Lake Shore Cryotronics (USA, Westerville).
3. Метод синтезу БС, який розроблений у дисертації, використовується у ТОВ “Ергос” при створенні вузькосмугових фільтрів дальнього ІЧ діапазону, а також в навчальному процесі НТУ “ХПІ” МОН України при читанні лекцій зі спецкурсів. Схеми технологічного устаткування, опис технологічного процесу та його параметрів використовуються у ДНВП вакуумної металургії конструкційних матеріалів “Рубін” для створення багатошарових полімер-германієвих систем, а також в учбовому процесі НТУ “ХПІ” МОН України як частина циклу лабораторних робіт.

Особистий внесок здобувача. Особисто автор дисертації:

- проаналізував літературні дані за темою проведених досліджень;
- брав участь у формулюванні мети роботи, розробці оригінальних методів, проведенні експерименту, теоретичних розрахунках, обробці і аналізі отриманих результатів;
- виготовив серію БС за розробленою оригінальною технологією;
- провів основні теоретичні розрахунки на основі розробленого ним програмного забезпечення. Постановка завдання і інтерпретація результатів проведені в творчій співпраці з науковим керівником-співавтором відповідних праць;
- отримав основні теоретичні і експериментальні результати, аналіз і трактування яких виконано спільно з науковим керівником.

Апробація результатів дисертації. Результати роботи оприлюднені і обговорені на таких конференціях: Міжнародний симпозиум “Порядок, беспорядок и свойства оксидов” (Сочи, Россия, 2003, 2005); International Conference “Functional Materials” (Crimea, Ukraine, 2003, 2005).

Публікації. Основні результати дисертації опубліковані в 7 наукових працях. З них 3 статті в фахових наукових журналах, 4 – в тезах доповідей наукових конференцій.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел з 114 найменувань та 9 додатків. Загальний об'єм дисертації складає 168 сторінок, зокрема 58 рисунків займають 46 сторінок, 2 таблиці займають 2 сторінки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, визначені мета і задачі роботи, об'єкт,

предмет та методи досліджень, викладено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, повідомлено про особистий внесок здобувача, наведено відомості про апробацію результатів роботи і публікації за темою дисертації.

У першому розділі “Проблеми синтезу і реалізації багат шарових періодичних твердотільних систем і методи їх рішення (літературний огляд)” освітлено сучасний стан досліджень за темою дисертації. На ряді прикладів показано застосування БС для вирішення різних задач в багатьох областях фізики. Відзначено, що незалежно від застосування БС їх створення в рамках фізики твердого тіла має багато спільного, але кожна конкретна задача має свої особливості. У зв'язку з цим, основну увагу в розділі зосереджено на багат шарових періодичних системам з акцентом на перспективу їх використання для фільтрації випромінювання дальнього ІЧ діапазону.

Проведений аналіз особливостей фільтрів ІЧ діапазону. Розглянуті фізичні принципи фільтрації ІЧ випромінювання і основні типи існуючих фільтрів. Особлива увага приділена БІС: наведені їх визначальні характеристики і методи їх математичного опису. Розглянуті особливості взаємодії електромагнітного випромінювання з БІС і матричний метод розрахунку амплітудних коефіцієнтів віддзеркалення. Обговорюються особливості технології створення БІС і труднощі, що пов'язані з їх виготовленням для довгохвильової області спектру.

Проведено аналіз сучасного стану проблеми синтезу БС. Розглянуто існуючі підходи до рішення цих задач, оцінені їх переваги і недоліки. В кінці розділу сформульовані задачі роботи.

Другий розділ “Синтез оптимальної багат шарової чвертьхвильової періодичної системи” присвячено детальному дослідженню впливу параметрів системи на її характеристики, що дозволило створити критерій оптимізації, який в явному вигляді містить основні характеристики БС. У зв'язку з тим, що для дальнього ІЧ діапазону найбільш важливими є системи з мінімальним числом шарів, особлива увага приділена проблемам оптимізації таких систем. Отримані результати лягли в основу створення послідовного методу аналізу і формалізації задачі багатокритеріальної оптимізації БС на прикладі відрізаючого фільтру дальнього ІЧ діапазону. Варіація товщини шарів в околі значення, яке дорівнює чверті довжини хвилі, що застосовується на завершальній стадії процесу оптимізації істотно ускладнює технологію, отже робить її більш коштовною. Тому, при постановці задачі синтезу першочерговим є оптимальний вибір матеріалів і кількості шарів, а оптична товщина шарів залишається рівною чверті довжини хвилі.

БС типу $[A(LH)^m A]$, де A – обрамляюче середовище (повітря), L і H – шари матеріалів з високим і низьким показниками заломлення, є базовою конструкцією відрізаючих фільтрів. На рис. 1 (вставка) схематично представлено дану БС з основними фізичними параметрами: n_L і n_H – показники заломлення шарів L і H ($n_L < n_H$); m – кратність елементарної двокомпонентної системи, $m = N/2$ (N – кількість шарів); d – геометрична товщина шарів $i=1..2m$; λ_0 – довжина хвилі, для якої система є чвертьхвильовою (при якій БС має екстремум, що обумовлений інтерференцією променів 1-го по-

ряду). На рис. 1 зображено типовий вигляд спектру БІС відрізаючого типу $[A(LH)^m A]$ і його основні характеристики: найбільше пропускання T_{\max} на межі робочої області прозорості; мінімальне пропускання T_{\min} у області високого відзеркалення (фон) – відповідає $\lambda = \lambda_0$ ($\varphi = 1$); крутизна межі пропускання χ , що дорівнює відношенню довжин хвиль, відповідних пропусканню на рівнях $T_{\min} + 0,1\Delta T$ і $T_{\min} + 0,9\Delta T$, де $\Delta T = T_{\max} - T_{\min}$; ширина області мінімального пропускання Δ_{\min} визначається величиною спектрального інтервалу, на межах якого пропускання дорівнює $T_{\min} + 0,5\Delta T$ (рис. 1). Внесок вторинних мінімумів в пропускання описується таким виразом:

$$I_{\text{проп.}} = \frac{1}{\varphi(T_{\max})} \int_{\varphi(T_{\max})}^2 [1 - T(\varphi)]^2 d\varphi. \quad (1)$$

Для оптимального відзеркалюючого фільтру необхідно, щоб пропускання в точці $\varphi = 1$ ($\lambda = \lambda_0$) було мінімальним, крутизна межі пропускання χ максимальною, а кількість і глибини вторинних мінімумів в робочій області прозорості, що описуються виразом (1), мінімальними. При цьому ширина області мінімального пропускання Δ_{\min} повинна бути не менш ніж 0,5 (див. рис. 1).

Аналіз залежності пропускання системи типу $[A(LH)^m A]$ від безрозмірної величини $\varphi = \lambda_0/\lambda$ при різних значеннях параметрів (n_H , n_L , m) показав необхідність детальнішого дослідження поведінки пропускання $T(\varphi)$ в околі точки $\varphi = 1$ ($\lambda = \lambda_0$). Це пов'язано з тим, що при деяких наборах параметрів в цій точці спостерігається локальний максимум, від якого слід позбавлятися при вирішенні задачі синтезу (рис. 2). Проведений аналіз другої похідної в точці λ_0 , на підставі якого введено обмеження на область значень параметрів, для яких друга похідна має додатне значення, що відповідає мінімуму пропускання в точці λ_0 :

$$\begin{cases} 1 \leq n_L < n_H \leq 5, \\ T''_{\lambda}(\lambda_0, n_H, n_L, m) > 0. \end{cases} \quad (2)$$

Перше обмеження витікає з вимоги $n_L < n_H$, а також враховує обмеження, що пов'язані з номенклатурою матеріалів. На рис. 3 показано область допустимих значень параметрів системи $[A(LH)^3 A]$, що відповідають умові (2). Подальший аналіз показав, що зі зростанням кратності ($m = 4 \div 10$) область, що відповідає умові (2), розширюється і вимоги до параметрів n_H і n_L стають менш жорсткими. Детальний аналіз результатів вивчення залежності характеристик спектру БІС від фізичних параметрів n_H , n_L і m привів до ряду суперечностей і дозволив зробити висновки, принципові для синтезу оптимальних БІС. Якісні результати проведеного аналізу зібрані в таблиці №1, де знаком “+” відмічено поліпшення, знаком “-” – погіршення відповідної характеристики спектру при варіації одного з трьох параметрів системи при фіксованих двох інших. З даних, які містяться в таблиці №1, слідує, що: 1) варіація параметрів системи призводить до поліпшення одних характеристик і до погіршення інших; 2) деякі характеристики змінюються однаково (наприклад, T_{\min} та

χ); 3) при збільшенні параметра n_L (n_H, m – фіксовані) усі характеристики спектру погіршуються, тобто при синтезі БС параметр n_L необхідно вибрати мінімальним з можливих. Отже, постановка завдання синтезу оптимальної системи ускладнюється неоднозначністю вибору її параметрів. Крім того, при синтезі виникає необхідність оптимізації одночасно декількох величин, що суперечать одна одній. Така задача називається задачею багатокритеріальної оптимізації і вимагає для вирішення спеціальних математичних методів.

Таблиця №1

Поведінка характеристик спектру багатозарової відзеркалючої періодичної системи залежно від фізичних параметрів

Фізичні параметри	Характеристики спектра			
	T_{\min}	χ	Δ_{\min}	$I_{\text{проп.}}$
Збільшення n_H (n_L, m – фіксовані)	+	+	+	–
Збільшення n_L (n_H, m – фіксовані)	–	–	–	–
Збільшення m (n_H, n_L – фіксовані)	+	+	–	–

Як критерії оптимальності системи в задачі багатокритеріальної оптимізації було використано характеристики χ і $I_{\text{проп.}}$, а характеристики T_{\min} і Δ_{\min} для гарантування їх певних значень винесені в обмеження:

$$\begin{cases} T_{\min} \leq G_1, \\ \Delta_{\min} \geq G_2. \end{cases} \quad (3)$$

де G_1, G_2 – деякі додатні константи ($G_1 \approx 0,1$; $G_2 \approx 0,6$). На рис. 4 заштрихована область значень параметрів n_L і n_H , яка задовольняє умовам (2) і (3) для системи $[A(LH)^3A]$. Зафіксувавши, згідно результатам аналізу таблиці №1, мінімальне з допустимої області значення $n_L=1$, задачу оптимізації можна звести до пошуку двох оптимальних параметрів: n_H і m . У результаті задача багатокритеріальної оптимізації набуває такого вигляду:

$$F(n_H, m) = \alpha f_1(n_H, m) + (1 - \alpha) f_2(n_H, m). \quad (5)$$

де α - ваговий коефіцієнт.

Повним розв'язком такої задачі є не одна точка в просторі варійованих змінних, а деяка множина точок, що відповідають різним значенням вагових коефіцієнтів. Ця множина є множиною непокрещуваних рішень, оскільки кожна її точка є оптимальною для свого набору вагових коефіцієнтів. Кожній такій точці відповідає набір оптимальних параметрів. Детальний аналіз поведінки кожної характеристики спектру, а, отже, і відповідного критерію, від параметрів БС показав, що в області, що задовольняє умовам (2) і (3) (рис. 4), їх перші похідні є монотонними функціями параметрів системи. Отже, лінійна комбінація критеріїв має не більше одного екстремуму. Отже,

проведений попередній аналіз дозволив гарантувати однозначність одержаного розв'язку поставленої задачі. На рис. 5 наведено повне рішення задачі синтезу БС в багатокритеріальному формулюванні (4) (пунктирна лінія – множина непокрашуваних рішень в просторі критеріїв). Отже, проектувальнику системи надається можливість вибору оптимального рішення, що відповідає вирішуваній їм задачі. Недоліком задачі (4) є неможливість явно впливати на значення кратності, що у ряді випадків може обмежувати її застосування в даному формулюванні. Оскільки надалі будуть проаналізовані системи, для яких кількість шарів повинна бути мінімальною, розглянемо ще одне математичне формулювання задачі синтезу, в якому враховано можливість впливу на значення кратності системи шляхом додавання критерію f_3 . У цьому випадку задача (4) набуває такого вигляду:

$$\begin{array}{ll}
 \text{Критерії:} & \text{Обмеження:} \\
 \left\{ \begin{array}{l} f_1 = N_1 \cdot (1 - \chi) \rightarrow \min, \\ f_2 = N_2 \cdot I_{\text{прон.}} \rightarrow \min, \\ f_3 = N_3 \cdot m \rightarrow \min, \end{array} \right. & \left\{ \begin{array}{l} n_L < n_H \leq 5; n_L = 1; \\ m = 2, 3, \dots, 10; \\ T''_{\lambda}(\lambda_0, n_H, n_L, m) > 0, \\ T_{\min} \leq G_1; \Delta_{\min} \geq G_2. \end{array} \right. \quad (6)
 \end{array}$$

Повний критерій – лінійна згортка критеріїв f_i :

$$F(n_H, m) = \sum_{i=1}^3 \alpha_i f_i(n_H, m), \quad (7)$$

де α_i - вагові коефіцієнти.

На рис. 5 представлено повний розв'язок задачі синтезу багатошарової системи в багатокритеріальному формулюванні (6) у вигляді сімейства двовимірної множини непокрашуваних розв'язків в просторі $f_1 - f_2$ для різних значень кратності m . Аналіз рис. 5 показує, що додавання критерію f_3 привело до появи множини розв'язків для кожної кратності (суцільні лінії на графіку). Очевидно також, що підбором матеріалів можна при фіксованій кратності значно зменшувати вторинні екстремуми, при незначному зниженні крутизни. Причому, чим більше m , тим важливішим стає правильний вибір матеріалів, оскільки при кратностях $m \geq 6$ можна добитися зменшення вторинних екстремумів більш ніж у 2 рази практично не зменшуючі крутизну (лінії практично паралельні $I_{\text{прон.}}$). Отже, запропонований метод синтезу БС складається з таких етапів: 1) представлення спектру БС набором характерних величин (крутизна, пропускання на робочій довжині хвилі і т.д.); 2) формування критеріїв оптимальності на підставі набору характерних величин з п.1; 3) побудова узагальненого критерію оптимальності; 4) побудова множини непокрашуваних розв'язків; 5) вибір відповідної системи з множини непокрашуваних розв'язків. Створений метод має такі переваги: 1) простота формулювання і наочний фізичний зміст критеріїв якості; 2) можливість безпосередньо

впливати на характеристики системи через вагові коефіцієнти; 3) можливість фіксувати набір значень окремих характеристик або параметрів; 4) однокстремальність функціонала, що мінімізується, а, отже, гарантія однозначності одержаного розв'язку; 5) оскільки метод дозволяє отримати всі системи з наборами оптимальних параметрів без прив'язки до спектрального діапазону, то можлива візуалізація у вигляді атласу оптимальних систем даного типу; 6) простота програмної реалізації. Всі зазначені переваги досягнуті за рахунок урахування особливостей конкретної системи, під яку метод має бути адаптований.

У третьому розділі “Багатошарові полімер-кристалічні системи відрізаючого і смугового типу (вибір матеріалів і особливості технології)” проаналізовано труднощі, що пов'язані з вибором матеріалів для БС дальнього ІЧ діапазону: а) значно обмежено набір матеріалів, що можуть бути використані (немає прозорих, тобто мають значне поглинання); б) зі збільшенням довжини хвилі ІЧ області суттєво збільшується геометрична товщина шарів, особливо шарів з низьким показником заломлення. При такій товщині відомі способи виготовлення БС не придатні, оскільки виготовити стопу з пластин неможливо (товщина мала для поліровки), термічне напилення не придатне, оскільки через велику товщину значно спотворюються характеристики спектру (дуже неоднорідні шари) або БС руйнуються. Матеріалами, що становлять інтерес для нашої задачі, є полімерні плівки. Вони достатньо прозорі в дальньому ІЧ діапазоні ($75 \text{ мкм} < \lambda < 300 \text{ мкм}$) і значення їх показника заломлення невелике, т.ч. їх можна використовувати в БС як L шари. Слід зазначити, що спектр поглинання поліетилену у вказаному діапазоні не залежить від його модифікації (використано поліетилен високої густини $0,95\text{-}0,96 \text{ г/см}^3$ з температурою плавлення $T_{\text{пл.}} = 129\div 135^\circ\text{C}$), для фторопласту спостерігається смуга поглинання у області $\lambda \approx 50 \text{ мкм}$, тому його застосування в БС доцільне в спектральному діапазоні $\lambda > 50 \text{ мкм}$. Як матеріали з високим показником заломлення в поєднанні з полімерними плівками в БС для довгохвильового ІЧ діапазону можуть бути використані діелектричні (напівпровідникові) матеріали (Ge, LiF KRS-5). Створено оригінальний метод нанесення шарів з Ge, LiF і KRS-5 на тонкі полімерні плівки. Він складається з таких основних етапів. На першому етапі проводиться підготовка поверхні полімерних плівок перед осадженням матеріалів з високим показником заломлення, що полягає в ретельному очищенні плівок від забруднень і активації їх фізичних і хімічних зв'язків для підвищення адгезії (обробка електричним розрядом у вакуумній камері). На другому етапі проводиться осадження покриттів (LiF, KRS-5) на полімерні підкладки термічним випаровуванням у вакуумі. Під час нанесення покриттів необхідно не допускати перегріву і розплавлення підкладки, з цією метою здійснювалося екранування випарників, а сам процес осадження проводився в декілька прийомів з охолодженням підкладки. Знайдені оптимальні умови утворення оптичного контакту поверхонь поліетиленова плівка-покриття. Для нанесення на поліетиленові плівки покриттів з тугоплавких матеріалів (Ge, $t_{\text{пл.}} > 1000^\circ\text{C}$) розроблено спеціальний метод з використанням проміжної підкладки, що полягає у такому. Спочатку покриття

осаджується на більш теплостійку підкладку, потім на його поверхню накладається поліетиленова плівка і уся тришарова система поліетилен-покриття-проміжна підкладка нагрівається під тиском, потім проміжна підкладка усувається. Такий процес можливий, якщо величина адгезії покриття до проміжної підкладки менша за величину адгезії покриття до поліетиленової плівки. У якості проміжної підкладки використовували фторопластові плівки, температура плавлення яких ($t_{пл.} = 325^{\circ}\text{C}$) набагато перевищує температуру плавлення плівок поліетилену ($t_{пл.} = 129\div 135^{\circ}\text{C}$).

Оцінено вплив розсіювання випромінювання на оптичні характеристики покриттів, що наносяться на полімерні підкладки. Встановлено, що розсіювання на шорсткостях поверхні полімерних підкладок і на мікронеоднорідностях структури нанесених покриттів не приводить до помітного ослаблення довгохвильового інфрачервоного випромінювання $\lambda > 50$ мкм.

На третьому етапі проводиться з'єднання одержаних двошарових компонент поліетилен-покриття в БС. Утворення БС ведеться без використання спеціальних склеюючих засобів, оскільки в гарячому стані поліетилен має значення в'язкості, що є достатнім для зварювання його поверхні з поверхнею діелектричного (напівпровідникового) матеріалу і забезпечення оптичного контакту на межі поліетилен-покриття. Важливим є дотримання режимів зварювання, щоб не вийти за межі пружної деформації поліетилену, інакше може відбутися зміна його оптичної товщини за рахунок розтікання. Для цього необхідно проводити процес зварювання при нижчих температурах, ніж температура текучості поліетилену, тобто за таких термічних умов, коли не накопичуються незворотні деформації.

Запропонований метод дав можливість виготовити БС відрізаючого і смугового типу на спектральний діапазон $30 \text{ мкм} < \lambda < 300 \text{ мкм}$, для якого такі системи раніше не виготовлялися.

У четвертому розділі “Синтез і експериментальна реалізація оптимальної багатошарової періодичної системи типу поліетилен - германій” розглянуті фізичні аспекти технології створення багатошарових періодичних двокомпонентних систем, які є перспективними для практичних застосувань. Для детального аналізу вибрана конкретна БС [повітря-поліетилен-германій-повітря], яка може бути використана як відрізаючий фільтр дальнього ІЧ діапазону. На цій системі реалізовані результати методу синтезу (розділ 2).

За запропонованим в розділі 2 методом синтезована БС типу $[A(LH)^m A]$ на основі поліетилену з $n_L=1.5$, вибір якого обґрунтовано в розділі 3. При фіксованому значенні $n_L=1.5$ задача оптимізації зводиться до пошуку двох оптимальних параметрів (n_H і m) й набуває такого вигляду:

Критерії :

$$\begin{cases} f_1 = N_1 \cdot (1 - \chi) \rightarrow \min, \\ f_2 = N_2 \cdot I_{\text{прон.}} \rightarrow \min, \\ f_3 = N_3 \cdot m \rightarrow \min, \end{cases}$$

Обмеження:

$$\begin{cases} n_L < n_H \leq 5; n_L = 1,5; \\ m = 2, 3, \dots, 10; \\ T_{\lambda}''(\lambda_0, n_H, n_L, m) > 0, \\ T_{\min} \leq G_1; \Delta_{\min} \geq G_2. \end{cases} \quad (8)$$

На рис. 6 наведено повний розв'язок задачі синтезу такої БС у вигляді сімейства двовимірної множини непокресуваних рішень в просторі критеріїв, що характеризують крутизну межі пропускання і вторинні екстремуми для різних значень кратності m . У результаті аналізу одержаного рішення з множини оптимальних систем вибрана система з параметрами: $m=3$; $n_H=4,4$; $n_L=1,5$ (точка S на рис. 6). При виборі системи для цієї задачі керувалися таким: з технологічних міркувань кратність системи повинна бути мінімальною, синтезовані показники заломлення шарів повинні бути близькі до показників заломлення матеріалів, що можуть бути використані в даній задачі. У данному випадку як шар Н вибраний германій, показник заломлення якого ($n=4$) в дальній ІЧ області спектру найбільш близький до синтезованого ($n_H=4,4$).

Експериментально досліджено вплив фізичних параметрів на характеристики відрізаючих полімер - кристалічних систем з шарами, що кратні $\lambda_0/4$. Проаналізовані фізичні причини, які погіршують характеристики реальної системи на прикладі комбінацій з різних функціональних матеріалів. Показано, що синтезована БС, з параметрами $m=3$; $n_L=1,5$ і n_H , найбільш близьким до показника заломлення германію, є найбільш ефективною для формування межі пропускання фільтрів дальньої ІЧ області спектру. На рис. 7 показано спектри пропускання теоретично синтезованої (крива 1) і експериментально реалізованої (крива 2) БС $[A(HL)^3A]$ з $m=3$; $n_L=1,5$, $n_H=4$. З рис. 7 видно, що для виготовленої БС є деякі кількісні відмінності в порівнянні з розрахунковими даними. Ці відмінності можуть бути пов'язані з ідеалізацією моделі, яка використовувалася при синтезі. У цій моделі не враховано такі чинники: 1) дисперсія показників заломлення матеріалів шарів; 2) поглинання в шарах; 3) відхилення від оптимальних розмірів товщини шарів, що наносяться (відхилення від чвертьхвильовості); 4) розсіяння на шорсткостях меж шарів і мікронеоднородностях масивів шарів. Крива 3 на рис. 7 показує, що урахування чинників 2 і 3 дозволяє істотно наблизити за характеристиками спектри теоретично синтезованої і експериментальної реалізованої систем. Одержана в даній роботі БС поліетилен-германій має кращі характеристики (пропускання в робочій області, крутизна межі пропускання) в порівнянні з комерційним аналогом компанії Lake Shore Cryotronics (рис.7, крива 4).

Для згладжування вторинних екстремумів в смузі прозорості чвертьхвильової відрізаючої багатошарової системи поліетилен-германій використано відомий спосіб, що заснований на явищі "просвітлення" системи додаванням додаткових інтерференційних шарів, у данному випадку шарів з поліетилену.

У п'ятому розділі "Полімер - кристалічні багатошарові відрізаючі системи з безперервною перебудовою меж" запропонований метод синтезу БС розвинуто на випадок дискретного набору товщини одного з матеріалів шарів з метою забезпечення безперервної перебудови межі пропускання. Досліджено можливість безперервної перебудови межі пропускання БС що полягає у використанні систем з шарами нерівної оптичної товщини, тобто систем типу $[A(L^*H^*)^m A]$, де А –

обрамляюче середовище (повітря); L^* і H^* – шари матеріалів з низьким і високим показником заломлення:

$$L^* : n_L d_L^* = n_L d_L (1 + C) = \lambda_0 (1 + C) / 4 \quad (9)$$

$$H^* : n_H d_H^* = n_H d_H (1 - C) = \lambda_0 (1 - C) / 4 \quad (10)$$

C – параметр нерівнотовщинності шарів $|C| < 1$; m – кратність двошарової компоненти, що повторюється.

Проведено теоретичний аналіз залежності характеристик спектру системи $[A(L^*H^*)^3A]$ з $n_L=1,5$; $n_H=4$ від параметра нерівнотовщинності шарів при фіксованій оптичній товщині пари шарів L^*H^* , що дорівнює $\lambda_0/2$. Аналіз показав, що при значеннях параметра нерівнотовщинності шарів з діапазону $-0,5 \leq C \leq 0,5$ характеристики спектру задовольняють накладеним на них обмеженням, при цьому спектральне положення межі пропускання змінюється незначно.

У разі зміни параметра нерівнотовщинності шарів C і оптичної товщини пари шарів, можна, маючи матеріал одного з шарів фіксованої геометричної товщини, за рахунок використання шарів іншого матеріалу різної товщини, безперервно зміщувати спектральне положення межі пропускання системи. Теоретичне обґрунтування методу безперервної перебудови межі пропускання при дискретному наборі товщини одного з матеріалів шарів може бути представлено у вигляді наступних етапів. На першому етапі розглядається, як початкова, оптимальна чвертьхвильова БІС типу $[A(LH)^m A]$, що синтезована в розділі 2. На другому етапі проводиться зсув межі пропускання БІС за рахунок пропорційної зміни товщини шарів L і H : $n_L d_L X = \lambda_0 X / 4$, $n_H d_H X = \lambda_0 X / 4$, де X – параметр зсуву, $X > 0$ (при $X > 1$ відбувається зсув у довгохвильову область, при $X < 1$ – у короткохвильову). Пропорційна зміна товщини шарів не впливає на характеристики спектру. Оптична товщина пари шарів LH дорівнює: $n_L d_L X + n_H d_H X = \lambda_0 X / 4 + \lambda_0 X / 4 = \lambda_0 X / 2 = \lambda_0^* / 2$, де $\lambda_0^* = \lambda_0 X$. На третьому етапі оптична товщина шарів L і H перерозподіляється для повернення до початкової геометричної товщини шару L при збереженні оптичної товщини пари шарів. У процесі перерозподілу відбувається перетворення чвертьхвильової системи в систему з шарами нерівної оптичної товщини (9), (10): $n_L d_L^* = n_L d_L X (1 + C) = \lambda_0 X \times \times (1 + C) / 4$, $n_H d_H^* = n_H d_H X (1 - C) = \lambda_0 X (1 - C) / 4$. Для повернення до початкової товщини шару L необхідно, щоб $X(1 + C) = 1$, звідки $X = 1 / (1 + C)$. Аналіз такої системи було виконано і одержано допустимий інтервал зміни C , на підставі якого визначений допустимий інтервал зміни X : $0,67 \leq X \leq 2$. Таким чином, використання систем з шарами нерівної оптичної товщини дозволяє зміщувати спектральне положення межі пропускання БІС, яке головним чином визначається оптичною товщиною пари шарів L^*H^* .

Алгоритм синтезу квазіоптимальних БІС поліетилен-германій при дискретному наборі товщини поліетиленових плівок складається з таких етапів: 1) отримання оптимальної чвертьхвильової системи в результаті рішення задачі синтезу (розділ 4) (оптична товщина шарів рівна $\lambda_0^*/4$); 2) з набору поліетиленових плівок, що випускаються промисловим способом, вибирається плівка з оптичною товщиною близькою до потрібної ($n_L d_L = \lambda_0/4$); 3) розглядається система $[A(L^*H^*)^3A]$ поліетилен-германій з шарами нерівної оптичної товщини і визначається товщина шарів германію, що необхідна для отримання оптичної товщини пари шарів L^*H^* рівної $\lambda_0/2$. Геометрична товщина шарів германію визначається зі співвідношення (при $n_L=1,5$; $n_H=4$):

$$d_H = (\lambda_0/2 - n_L d_L) / n_H = (\lambda_0 - 3d_L) / 8, \quad (11)$$

при цьому з урахуванням обмеження на параметр C геометрична товщина шару H^* відносно товщини шару L^* змінюється в діапазоні:

$$d_H = (0,1 \div 1,1) d_L. \quad (12)$$

Показано, що використання плівок поліетилену всього трьох товщин 10, 15 і 20 мкм, що виготовляються промисловим способом, в поєднанні з шарами германію дозволяє виготовити БІС з межею пропускання на будь-яку довжину хвилі в діапазоні $\lambda \approx 60 \div 380$ мкм. На рис. 8 зображено діапазони зсуву межі пропускання такої системи при більш строгих обмеженнях на параметр нерівнотовщинності шарів: $-0,2 \leq C \leq 0,2$. Очевидно, що, не дивлячись на звуження можливого діапазону зсуву межі пропускання, наявними в розпорядженні плівками можна перекрити діапазон $\lambda \approx 80 \div 240$ мкм.

Спектр пропускання виготовленої системи $[A(L^*H^*)^3A]$ поліетилен - германій з $C=0,2$ представлено на рис. 9 (крива 2). Очевидно, що є певні кількісні відмінності в порівнянні з розрахунковими даними (крива 1). Це стосується дещо заниженої розрахункової величини пропускання, крутизни межі пропускання і часткової деформації вторинних екстремумів у області прозорості. Як було показано у розділі 4, ці відмінності пов'язані з ідеалізацією розрахункової моделі, що не враховує поглинання в шарах і помилки в товщині шарів, що наносяться. Крива 3 на рис. 9 показує, що урахування цих чинників дозволяє істотно наблизити спектри експериментальної і синтезованої систем. Досягнуті на практиці значення крутизни межі пропускання $\chi \approx 0,8$ для системи $[A(L^*H^*)^3A]$ поліетилен-германій з параметром $C = 0,2$, достатньо високі, що робить такі системи перспективними для встановлення межі пропускання відрізаючих фільтрів.

У додатку А представлено комплекс програм для вирішення задачі щодо синтезу БС, реалізований у системі Maple. **У додатках Б, Г, Ж** представлені атласи оптимальних БС, відповідних точкам множин Парето, отриманим у розділах 2 та 4, а **у додатках В, Д** – значення параметрів, відповідних точкам цих множин. **У додатках З, К, Л** представлені акти впровадження, що підтвер-

джують використання отриманих у дисертації результатів: 1) методу та алгоритму синтезу БС у ТОВ “Ергос” (м. Харків), а також у НТУ “ХПІ” МОН України; 2) схем технологічного устаткування, опис технологічного процесу та його параметрів у ДНВП вакуумної металургії конструкційних матеріалів “Рубін” (м. Харків) та НТУ “ХПІ” МОН України.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено поставлену задачу щодо розробки фізико-технологічних основ виготовлення нової ефективної багатошарової періодичної системи полімер-германій з оптимальними параметрами для фільтрації випромінювання дальнього інфрачервоного діапазону. Основні наукові і практичні результати можуть бути сформульовані у вигляді таких висновків:

1. Запропоновано новий підхід до вирішення задачі синтезу багатошарових систем, який заснований на багатокритеріальній оптимізації. Фізичною основою вибору критеріїв якості є аналіз характеристик спектру чвертьхвильових БС.
2. За результатами синтезу обґрунтовано вибір матеріалів періодичної системи поліетилен - германій, яка реалізована експериментально.
3. Створено атлас оптимальних систем типу $[A(LH)^m A]$.
4. Розроблено фізико-технічні умови створення полімер - кристалічних БС, в яких шари з низьким показником заломлення мають потрібне значення – інтерференційних шарів з низьким показником заломлення, підкладки на стадії термічного осадження матеріалів шарів з високим показником заломлення і клейового з'єднання для забезпечення оптичного контакту при створенні багатошарової системи.
5. Встановлено фізичну причину відмінностей спектрів експериментально реалізованої системи і теоретично синтезованої.
6. Обґрунтовано можливість здійснення безперервного зрушення межі пропускання системи при використанні поліетиленових плівок однієї товщини без принципового погіршення її характеристик.

ПЕРЕЛІК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Беляева А.И., Коломиец С.Н. Многослойные полимер - кристаллические интерференционные системы отрезающего и полосового типа // Физика и техника высоких давлений. – 2004. – Т.14, №1. – С.96-108.
2. Belyaeva A.I., Kolomiets S.N. Polymer-crystalline structures of cutoff type with homogeneous layers of high refraction index // Functional Materials. – 2004. - V.11, No.3. – P.620-625.
3. Belyaeva A.I., Kolomiets S.N. Cutoff interference polymer-crystalline multilayer systems with the

passband edge smooth turning // *Functional Materials*. – 2005. – V.12, No.1. – P.28-34.

4. Беляева А.И., Коломиец С.Н. Полимер - кристаллические интерференционные системы для дальней ИК области спектра // Сборник трудов Международного симпозиума “Порядок, беспорядок и свойства оксидов”. – Сочи (Россия). – 2003. – С.149.
5. Belyaeva A.I., Kolomiets S.N. Multilayer polymer - crystalline cutoff and band pass interference systems // Abstracts International Conference “Functional Materials”. – Partenit (Ukraine). – 2003. – P.99.
6. Беляева А.И., Галуза А.А., Коломиец С.Н. Анализ спектральных характеристик и процедура оптимизации многослойных периодических систем // Сборник трудов Международного симпозиума “Порядок, беспорядок и свойства оксидов”. – Сочи (Россия). – 2005. – Ч.1. – С.3-6.
7. Belyaeva A.I., Galuza A.A., Kolomiets S.N. Synthesis of optimal multilayer periodic polyethylene-germanium systems // Abstracts international conference “Functional Materials”. – Partenit (Ukraine). – 2005. – P.130.

АНОТАЦІЯ

Коломієць С.М. Синтез і реалізація оптимальної багатошарової періодичної системи типу поліетилен - германій. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла. – Інститут електрофізики і радіаційних технологій НАН України, Харків, 2006.

Дисертація присвячена отриманню оптимальних параметрів і створенню нової ефективної багатошарової твердотільної системи для фільтрації випромінювання дальнього інфрачервоного діапазону. Розроблено новий метод синтезу відрізаючих чвертьхвильових багатошарових систем, що заснований на багатокритеріальній оптимізації. На прикладі рішення задачі синтезу чвертьхвильової багатошарової інтерференційної системи показано, як розроблений метод може бути адаптований для синтезу ряду твердотільних систем із специфічними вимогами. Створенно фізико-технологічні основи виготовлення багатошарових систем полімер - германій, в яких полімерні плівки мають потрійне значення: інтерференційних шарів з низьким показником заломлення, підкладки на стадії термічного осадження матеріалів шарів з високим показником заломлення і клеєвого з'єднання для забезпечення оптичного контакту при формуванні багатошарової структури. Вивчені фізичні принципи і експериментальні можливості варіації і поліпшення характеристик полімер - кристалічних багатошарових систем.

Ключові слова: синтез, багатошарова система, характеристики спектру, багатокритеріальна оптимізація, відрізаючий фільтр, дальня інфрачервона область.

АННОТАЦИЯ

Коломиец С.Н. Синтез и реализация оптимальной многослойной периодической системы типа полиэтилен - германий. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04. 07 – физика твердого тела. – Институт электрофизики и радиационных технологий НАН Украины, Харьков, 2006.

Диссертация посвящена выбору оптимальных параметров и созданию новой эффективной многослойной твердотельной системы для фильтрации излучения дальнего инфракрасного диапазона.

Развит новый метод синтеза отрезающих четвертьволновых многослойных систем, основанный на многокритериальной оптимизации. Физической основой выбора частных критериев качества явился детальный анализ характеристик спектра многослойной системы в зависимости от основных физических параметров, который позволил построить область допустимых значений параметров и сформулировать частные критерии качества системы. Показано, что детальный предварительный теоретический анализ многослойной системы позволяет значительно упростить процедуру оптимизации. На конкретном примере продемонстрировано, что: 1) для синтеза четвертьволновых многослойных систем нет необходимости учитывать все характеристики спектра, поскольку некоторые из них имеют одинаковый характер зависимости от параметров и могут быть использованы в качестве ограничений. Поэтому для синтеза четвертьволновых многослойных систем оптимизацию достаточно проводить только по двум из трех основных физических параметров (n_H и m), тогда как n_L достаточно выбрать минимально возможным; 2) в случае четвертьволновых многослойных систем критерий качества имеет единственный экстремум в области допустимых значений параметров.

На примере решения задачи синтеза четвертьволновой многослойной системы, для которой приведена соответствующая область Парето, показано, как разработанный метод может быть адаптирован для синтеза ряда твердотельных систем со специфическими требованиями.

Разработанный метод синтеза применен для определения оптимальных параметров интерференционного фильтра дальнего ИК диапазона. По результатам синтеза произведен выбор материалов периодической системы полиэтилен - германий. Установлена физическая причина различий спектров экспериментально реализованной системы и результата синтеза, которая связана с пренебрежением в задаче синтеза: 1) дисперсией показателей преломления материалов слоев, 2) поглощением в слоях, 3) ошибками в толщинах наносимых слоев (отклонения от четвертьволновости), 4) рассеянием на шероховатостях границ слоев и микронеоднородностях массивов слоев.

Созданы физико-технологические основы изготовления многослойных систем поли-

мер-германий, в которых полимерные пленки выполняют тройную роль – интерференционных слоев с низким показателем преломления, подложки на стадии термического осаждения материалов слоев с высоким показателем преломления и клеявого соединения для обеспечения оптического контакта при создании многослойной системы. Разработаны методы нанесения оптических покрытий из диэлектрических и полупроводниковых материалов с высоким показателем преломления и различной температурой плавления на тонкие пленочные подложки из полиэтилена, лавсана и фторопласта. Найдены оптимальные условия образования оптического контакта поверхностей полиэтиленовая пленка-диэлектрическое (полупроводниковое) покрытие.

Изучены физические принципы и экспериментальные возможности вариации и улучшения характеристик полимер - кристаллических многослойных систем. Реализован метод сглаживания вторичных экстремумов в спектре многослойной системы полиэтилен-германий добавлением слоев полиэтилена, играющих роль “просветляющих” покрытий. На основании детального теоретического и экспериментального исследования влияния параметра неравнотолщинности на характеристики системы полиэтилен - германий обоснована возможность осуществления непрерывного сдвига границы пропускания системы полиэтилен - германий при использовании полиэтиленовых пленок одной геометрической толщины без принципиального ухудшения ее характеристик. Экспериментально достигнуты значения крутизны границы пропускания $\chi \approx 0,8$ многослойных систем со слоями неравной оптической толщины в спектральном диапазоне $\lambda < 100$ мкм, где характеристики известных коммерческих фильтров ниже.

Ключевые слова: синтез, многослойная система, характеристики спектра, многокритериальная оптимизация, отрезающий фильтр, дальняя ИК область.

ABSTRACT

Kolomiets S.N. Synthesis and realization of optimal multilayer periodic system of polyethylene - germanium type. – Manuscript.

Thesis for PhD degree in technics by speciality 01.04. 07 – solid state physics. – Institute of electrophysics and radiation technologies of the National academy of science of Ukraine, Kharkiv, 2006.

Thesis is devoted to creation new effective synthesis technique of a multilayer system. The basic characteristics of a system spectrum are used as criteria of quality to formulate multicriteria optimization problem. It is shown, that the preliminary analysis of concrete system allows to simplify the optimization procedure essentially and to obtain single solution of the problem. A set of examples illustrates how the developed technique can be adopted to synthesis of number of system with specific requirements. Physical reasons of the deviations of experimentally released from the synthesized system are formulated.

New type of multilayer interference system is presented. The technique of multilayer interference system creation allows to use interference layers with low refractive index as substrate for layers with high refractive index. In the technology, polymer is used as substrate, low refractive index interference layer and glue at the same time.

Physical principles and experimental possibilities of variation and improvement of characteristics polymer-crystalline multilayer system are studied.

Key words: synthesis, multilayer system, spectrum characteristics, multicriteria optimization, cutoff filter, far infrared region.