

УДК 535.34

А.Д. Замковець
**Полімер-кристалічні інтерференційні системи для області
спектра 30-50 мкм**

*Інститут молекулярної і атомної фізики Національної Академії наук Беларусі,
м. Мінськ, Беларусь
E-mail: lirp@imaph.bas-net.by*

Показано принципову можливість створення багат шарових інтерференційних систем і фільтрів відсікаючого типу для далекої ІЧ області спектра 30-50 мкм на основі періодичних структур із шарами нерівної оптичної товщини виду $[(H-C)(L+C)]^k(H-C)$, де H і L – чвертьхвильові шари з германію і полімерного матеріалу, C – параметр нерівнотовщинності, k ціле число. Для погашення вторинних смуг пропускання в короткохвильовому діапазоні використаний відсікаючий розсіюючий фільтр поліетилен-кремній.

Ключові слова: інтерференційна система, спектральна характеристика, відсікаючий фільтр.

Стаття поступила до редакції 25.05.2001; прийнята до друку 4.10.2001

I. Вступ

Довгохвильовий спектральний діапазон широко використовується для вивчення різних процесів, які відбуваються в газах, рідинах, твердих тілах. Створюються лазери, які генерують випромінювання в далекій ІЧ області, розробляються фільтри смугового і відсікаючого типу, для даного діапазону. У порівнянні з видимою, ближньою і середньою ІЧ областями спектра, робота в далекому ІЧ діапазоні характеризується додатковими труднощами, які пов'язані з малими інтенсивностями корисних сигналів і великими рівнями фонових випромінювання, які накладають ряд додаткових умов на характеристики використовуваних фільтрів, підвищуючи вимоги до їх контрастності, пропускну здатності в робочій області, крутизни границі відсікання. Тому є актуальними питання розробки й вдосконалення систем фільтрації довгохвильового випроміню-

вання.

У далекому ІЧ діапазоні можна виділити ряд областей, для яких задача фільтрації випромінювання розв'язана в більшій чи меншій мірі. Ступінь вирішення такої задачі багато в чому визначається тим, чи можна для даної області виготовити інтерференційний фільтр, оскільки саме інтерференційні системи є найбільш універсальними й ефективними в порівнянні з фільтрами інших типів. Для довжин хвиль, менших 15-25 мкм у даний час широко використовується технологія створення інтерференційних фільтрів у процесі послідовного осадження у вакуумі ряду шарів на масивну підкладку [1]. Для далекого ІЧ-діапазону (~50-300 мкм розроблені полімеркристалічні інтерференційні системи (ПКІС), у яких полімерна плівка, будучи інтерференційним шаром з низьким показником заломлення, одночасно слугує підкладкою на стадії

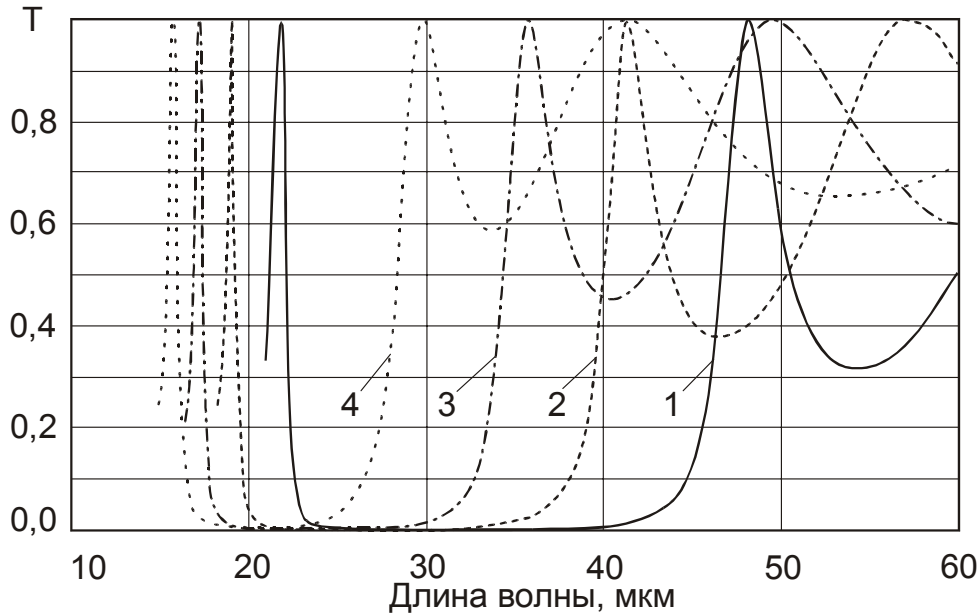


Рис. 1. Розраховані спектри пропускання 7-шарових ПКІС ПЕ-Ge $[(H-C)(L+C)]^2(H-C)$ з фіксованою товщиною ПЕ, рівною 5 мкм: 1 – $C = 0, \lambda_0 = 30$ мкм; 2 – $C = 0,15H, \lambda_0 = 26$ мкм; 3 – $C = 0,3H, \lambda_0 = 23$ мкм; 4 – $C = 0,5H, \lambda_0 = 20$ мкм.

термічного осадження матеріалу з високим показником заломлення [2,3]. Дана технологія дозволяє розділити процес створення інтерференційного фільтра на ряд етапів, і завдяки наявності полімерних плівок, обмежити зростання механічних напруг, що накопичуються в полікристалічних шарах. Однак зі зменшення довжини хвилі необхідно використовувати все більш тонкі полімерні плівки, що володіють все меншими теплостійкістю і міцністю. До того ж, виготовлення таких плівок, однорідних по товщині, також являє собою складну задачу. Внаслідок цих причин для області спектра 30-50 мкм чвертьхвильові ПКІС виготовити не вдається.

II. Методика експерименту

У даній роботі пропонується використовувати для створення багатшарових інтерференційних систем і відсікаючих фільтрів, на дану область нечвертьхвильові інтерференційні системи – періодичні структури із шарами нерівної оптичної товщини виду $[(H-C)(L+C)]^k(H-C)$, де H і L – чвертьхвильові шари з германію і полімерного матеріалу, C – параметр

нерівнотовщинності, k – ціле число. Для такого виду систем нами раніше були проведені розрахунки [4], що свідчили про досить широкі можливості керування спектральним положенням границі відсікання в таких системах. У даній роботі проведені додаткові розрахунки для більш широкого спектрального діапазону, а також для більш широких меж зміни параметра нерівнотовщинності C . Проведене комбінування експериментально виготовленої оптимізованої нечвертьхвильової інтерференційної системи з розсіюючим фільтром.

На рис. 1 приведені розраховані спектри пропускання 7-шарових систем поліетиленгерманій (ПЕ-Ge) із шарами нерівної оптичної товщини, у яких використовується плівка ПЕ фіксованої геометричної товщини – 5 мкм, а зміна граничної довжини хвилі досягається зміною товщини шаруючи Ge. При цьому змінюється довжина хвилі λ_0 , для якої шари H і L є чвертьхвильовими, а також змінюється параметр нерівнотовщинності C . З рис. 1 видно, що такий підхід дозволяє зсувати границю відсікання фільтра в межах 20 мкм – від ~ 30 мкм до ~ 50 мкм. Смуга високого відбивання також зсувається по спектру, дозволяючи, наприклад, створювати інтерференційні відбиваючі дзеркала або

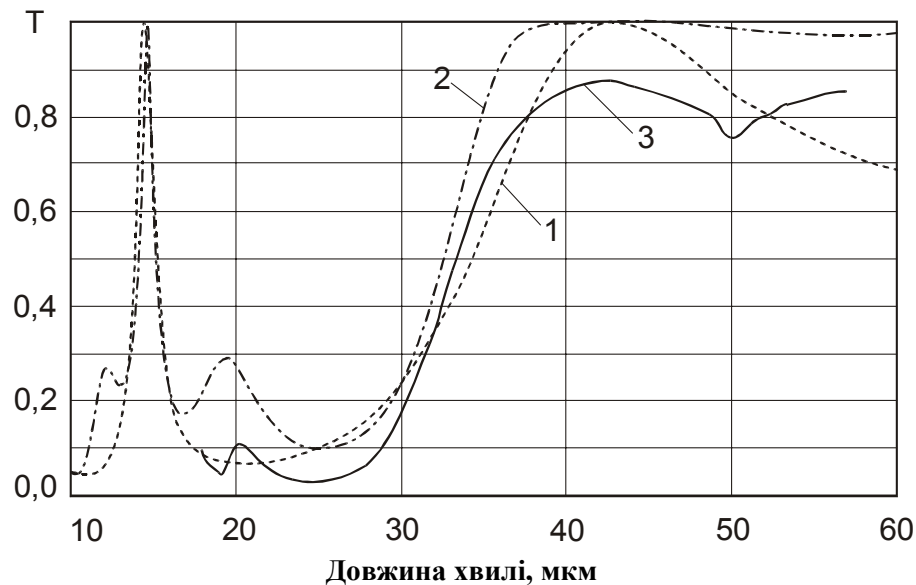


Рис. 2. Спектри пропускання 3-шарових систем Ge-ПТФЕ-Ge з параметром нерівнотовщинності $C = 0,4H$: 1 – розрахованої неоптимізованої, 2 – розрахованої оптимізованої, 3 – виготовленої оптимізованої.

спектровизначники на різні довжини хвиль даного діапазону. Збільшення значень параметру нерівнотовщинності C приводить до зменшення порівняно з чвертьхвильовою системою (крива 1) глибини вторинних екстремумів у робочій області відсікаючого фільтра а також до звуження смуги високого відбивання, яке формується в околиці довжин хвиль λ_0 . Звуження смуги високого відбивання в представлених на рис. 1 системах досить значне через те, що із збільшенням параметра нерівнотовщинності C при переході від системи 1 до систем 2, 3, 4 одночасно зменшується період структури. Як видно з рис. 1, зміни в спектрах пропускання не перешкоджають формуванню інтерференційного чи дзеркала характеристики відсікаючого фільтра, навіть при $C = 0,5 H$.

При експериментальній реалізації не чвертьхвильових інтерференційних систем як полімерні плівки використовувалися ПЕ і політетрафторетилен (ПТФЕ). У спектральному діапазоні 30-50 мкм ПЕ має високу прозорість і не має смуг поглинання. У ПТФЕ є невелика смуга поглинання в області (~ 50 мкм, однак у плівках ПТФЕ товщиною 5 мкм ця смуга невелика – пропускання для даного діапазону через наявність поглинання зменшується менш,

ніж на 10 %. Плівки ПТФЕ більшої товщини використовувати не рекомендується.

Плівки ПТФЕ і ПЕ товщиною 5 мкм мають достатню теплостійкість і міцність, однак їхню поверхню необхідно фіксувати натягом для забезпечення рівномірного розподілу напруг у процесі термічного осадження Ge і при формуванні багатошарової структури. Дана мета досягалася використанням системи з концентричних кілець. Розроблена технологія дозволяє одержувати 3-х, 5-ти, 7-шарові ПКІС, а також ПКІС, що складаються з більшого числа шарів. Оптичний контакт на границі розділу ПТФЕ-Ge забезпечується в процесі вакуумного осадження, а на границі розділу ПЕ-Ge може формуватися або в процесі вакуумного осадження, або при визначених термічних і баричних умовах. В останньому випадку ПЕ проявляє себе як інтерференційний шар з низьким показником заломлення, і як “склеюючий” засіб.

Використання Ge як матеріалу з високим показником заломлення ($n = 4$) у поєднанні з полімерними матеріалами ($n_L \sim 1,5$) дозволяє одержати високе відношення $n/n \sim 2,67$ і в цьому випадку при невеликій кількості шарів може досягатися досить високий коефіцієнт відбивання в інтерференційному дзеркалі і формуватися спектральна

характеристика відсікаючого типу. Звичайно ж, при цьому виявляються глибокі вторинні екстремуми в робочій області, які вимагають згладжування. Традиційний підхід до даної проблеми – використання обмежуючих шарів $\lambda/8$ з матеріалу з високим показником заломлення – є малоефективним для ПКІС [5]. Для чвертьхвильових ПКІС PE-Gi розроблений інший метод, що полягає в додаванні до чвертьхвильової структури обрамляючих полімерних плівок певної оптичної товщини, яка залежить від місця розташування вторинних мінімумів [5]. Такий метод може виявитися досить ефективним і при застосуванні до нерівнотовщинних ПКІС – додавання обрамляючих шарів певної товщини з PE до основної, базової структури $[(H-C)(L+C)]^k(H-C)$.

Покриття з Ge наносилися у вакуумній установці ВУ-1А. Спектри пропускання в спектральній області $\lambda < 25$ мкм записувалися на спектрофотометрі UR-20, для $\lambda > 25$ мкм – на спектрофотометрі FIS-3 і на фур'є-спектрометрі ЛАФС-1000.

III. Результати і їх обговорення

На рис. 2 наведені спектри пропускання 3-шарових систем Ge-ПТФЕ-Ge з параметром нерівнотовщинності $C=0,4$ Н.

Крива 1 на рис. 2 відповідає розрахованій неоптимізованій системі, а крива 2 – оптимізованій. Оптимізація полягає в додаванні до 3-шарової структури обрамляючих шарів, з PE оптичною товщиною $2,8L$ ($\lambda_0 = 21,5$ мкм для всіх систем на рис. 2). Такі товщини обрамляючих шарів, є оптимальними для досягнення високого пропускання в робочій області. До того ж, у даному випадку збільшення пропускання з максимумом на довжині хвилі ~ 20 мкм в області високого відбивання інтерференційного дзеркала приходить на діапазон, де наявна сильна смуга поглинання ПТФЕ [6], що може полегшити погашення вторинних максимумів у короткохвильовому діапазоні при створенні відсікаючого фільтра. Крива 3 на рис. 2 є спектральною характеристикою виготовленої оптимізованої 3-шарової системи Ge-ПТФЕ-Ge із обрамляючими шарами з PE такої ж товщини. Слід зазначити, що Ge має невелике поглинання в спектральному діапазоні (~ 30 мкм, зв'язаним з коливаннями кристалічних ґраток [7]). Крім того, для деяких модифікацій Ge у спектральному діапазоні 30-50 мкм можуть розташовуватися смуги плазмового поглинання [8]. Оптичні властивості шарів, які осаджуються у вакуумі, Ge залежать від їхньої мікроструктури, яку можна варіювати зміною технологічних режимів одержання

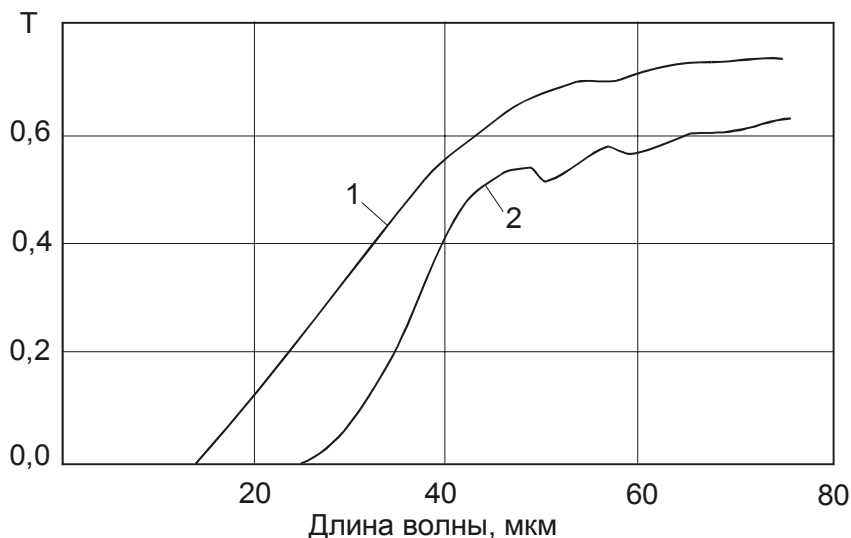


Рис. 3. Спектральні характеристики виготовлених фільтрів: 1 – розсіюючого, 2 – інтерференційно-розсіюючого комбінованого.

плівок. Шари Ge можуть бути виконані або суцільними, або наноструктурованими, тобто гранулярними, або мають у своєму складі ті чи інші області. Така можливість варіювання мікроструктури інтерференційного шару з високим показником заломлення може дозволити, наприклад, цілеспрямовано впливати на фонові резонанси в далекому ІЧ діапазоні, а також регулювати величину розсіючого випромінювання на локальних мікронеоднорідностях у короткохвильовій області $\lambda < 10$ мкм. Шари Ge у даній роботі виготовлялися так, щоб зменшити пропускання в діапазоні 20-30 мкм, що прилягає до смуги високого відбивання ПКІС. Для цієї мети використовувалося 2 модифікації Ge з різним ступенем легування – монокристалічний Ge для оптичного використання і Ge для електронного використання.

На рис. 3 (крива 1) наведена спектральна характеристика відсікаючого розсіюючого фільтра ПЕ-кремній (ПЕ-Si), призначеного для видалення вторинних смуг пропускання в ПКІС у короткохвильовому діапазоні. Розсіюючий фільтр ПЕ-Si являє собою частинки Si із середнім розміром 2-5 мкм, які хаотично розподілені в поліетиленовій матриці. Границя відсікання такого фільтра може зсуватися по спектру зміною розміру частинок Si, а величина пропускання в короткохвильовому і довгохвильовому діапазонах – щільністю упакування розсіюючих частинок, і їхньою масою [3]. У даному випадку щільність упакування

частинок Si $\alpha \sim 0,08$, а маса наважки $m \sim 2,4$ мг/см². Спектр пропускання комбінованого фільтра, який складається з розсіюючого компонента ПЕ-Si і інтерференційної системи 3 (рис. 2) представлений кривою 2 на рис. 3. Пропускання комбінованого фільтра в робочій області досягає 60%. Крутизна границі відсікання складає $\sim 0,7$. Крутизну границі відсікання можна підвищити, збільшуючи кількість шарів в інтерференційному компоненті. При збільшенні кількості шарів формується більш ширша смуга високого відбивання, що полегшує виконання умов комбінування з розсіюючим фільтром. У цьому випадку може досягатися крутизна границі відсікання порядку 0,8.

IV. Висновок

На закінчення слід зазначити, що в даній роботі задача досягнення граничних характеристик для фільтрів як мета не ставилася, а досліджувалася принципова можливість їхнього створення. Отримані результати свідчать про перспективність використання ПКІС із шарами нерівної оптичної товщини для створення в спектральному діапазоні 30-50 мкм інтерференційних дзеркал, спектророзподілювачів і фільтрів відсікаючого типу.

Робота виконана при частковій підтримці Фонду Фундаментальних досліджень Республіки Беларусь, проект ФФІ 2000-121.

- [1] Ш.А. Фурман. *Тонкослойные оптические покрытия*. Машиностроение, Л., 250 с. (1977).
- [2] В.Г. Верещагин, А.Д. Замковец. Полимер-кристаллические многослойные интерференционные системы для далекой ИК-области // *Журн. прикладн. спектр.*, **47**(1), сс. 132–135 (1987).
- [3] А.Д. Замковец, М.П. Захарич., В.П. Комар, И.В. Скорняков. Инфракрасные фильтры и анализаторы состава веществ на их основе // *Журн. прикладн. спектр.*, **65**(5), сс. 734-744 (1998).
- [4] В.Г. Верещагин, А. Д. Замковец, А.Н. Понявина, Н.И. Сильванович. Исследование возможности плавной перестройки интерференционного полимер-кристаллического фильтра // *Журн. прикл. спектр.*, **51**(6), сс. 1001-1051 (1989).
- [5] А.Д. Замковец. Сглаживание вторичных экстремумов в полосе прозрачности полимер-кристаллической системы // *Оптич. журн.* (в печати).
- [6] И. Дехант, Р. Данц, В. Киммер, Р. Шмольке. *Инфракрасная спектроскопия полимеров*. Химия, М., 221с. (1976).
- [7] В.М. Золотарев, В.Н. Морозов, Е.В. Смирнова. *Оптические постоянные природных и технических сред*. Машиностроение, Л. 152 с. (1987).
- [8] Ю.И. Уханов. *Оптические свойства полупроводников*. Наука, М., 160 с. (1977).

A.D. Zamkovetz

Polymer-Crystal Interference Systems for the Spectral Region of $30 \div 50 \mu\text{m}$

Institute of Molecular and Nuclear Physics NAS Belarusj,

Minsk, E-mail: lirp@imaph.bas-net.by

We show the principal possibility of creation of manylayer interference systems and cutoff filters for far IR ($30 \div 50 \mu\text{m}$) on the base of periodical structures with unequal thickness type of $[(\text{H-C})(\text{L+C})]^k(\text{H-C})$, where H and L are the quarter-wave layers made of Ge and a polymer, C is the unequal thickness parameter, k is an integer. For suppression of secondary transmission bands at the short-wave range a disperse cutoff filter type of polyethylene-silicon has been used.