ФІЗИКА І ХІМІЯ ТВЕРДОГО ТІЛА
Т. 11, № 1 (2010) С. 211-213

PHYSICS AND CHEMISTRY OF SOLID STATE
V. 11, № 1 (2010) P.

УДК: 621.375.826.543.42

ISSN 1729-4428

Я.О. Довгий[1], І.М. Хомич[2]

Синтез та використання багатошарових інтерференційних фільтрів для позарезонаторної селекції ліній генерації „білих” лазерів

[1]Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Кирила і Мефодія, 8, Львів, 79005,Україна
e-mail: dovgy@physics.wups.lviv.ua
[2]Український державний науково-дослідний інститут „Еротрон” (м.Львів)
вул. Антоновича, 90 , Львів, 79057, Україна

Пропонується позарезонаторний метод селекції ліній генерації гелій-селенового лазера у видимому діапазоні спектра. Метод базується на ефекті спектрального зміщення смуги відбивання спеціально розрахованого та виготовленого 15-шарового вузькосмугового фільтра при зміні кута падіння лазерного пучка.

Ключові слова: багатошарові діелектричні покриття, „білі” лазери, селекція ліній генерації, синтез лазерних дзеркал.

Стаття поступила до редакції 10.03.2009; прийнята до друку 15.12.2009.

Вступ

Лазери, що одночасно генерують у широкій ділянці видимого спектра або на багатьох дискретних лініях генерації – так звані „білі” лазери – нині широко використовуються в голографічних технологіях, у фотобіології та медицині, в оптичній томографії, мікроскопії і навіть у лазерному шоу-бізнесі. Є два класи таких лазерів. Базовим генератором першого типу „білих” лазерів є фемтолазер, надкороткий ІЧ-імпульс якого при проходженні крізь фотонно-кристалічне волокно суттєво спектрально розширюється, даючи на виході контунуум білого світла. У наших дослідах використано другий тип „білого” лазера – гелій-селенові лазери. Вони генерують одночасно на декількох десятках переходів у SeII в області 0,44 – 1,25 мкм [1]. Найінтенсивніші лінії генерації цих лазерів подані в таблиці.

В даній роботі пропонується простий позарезонаторний метод селекції ліній генерації у широкому діапазоні видимої ділянки спектра. Метод базується на ефекті спектрального переміщення смуги відбивання багатошарового тонкоплівкового інтерференційного вузькосмугового фільтра при зміні кута падіння лазерного пучка.

Розрахунок багатошаровика здійснювався з використанням методу колових діаграм [2], в основі якого – узагальнені рекурентні співвідношення для амплітудних коефіцієнтів відбивання **r** (λ, φ, d) і пропускання **t** (λ,φ, d):

$$\mathbf{r}(\lambda,\varphi,d)=\frac{r_k+r_{k+1}e^{2i\beta_{k+1}}}{1+r_{k+1}e^{2i\beta_{k+1}}}, \quad (1)$$

$$\mathbf{t}(\lambda,\varphi,d)=\frac{t_k t_{k+1}e^{i\beta_k}}{1+r_k r_{k+1}e^{2i\beta_k}}, \quad (2)$$

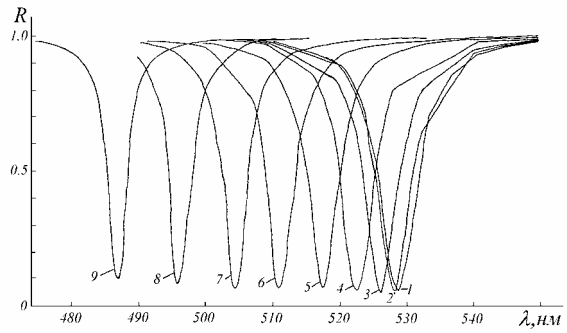

Рис. 1. Зміни спектральних характеристик 15-шарового інтерференційного світлофільтра у залежності від кута падіння: *1 – φ = 0°, 2 – φ = 5°, 3 – φ = 10°, 4 – φ =15°, 5 – φ =20°, 6 – φ =25°, 7 – φ =30°, 8 – φ =35°, 9 – φ =40°.*

де r_k – френелівський амплітудний коефіцієнт відбивання від k-ої межі розділу між k-им і (k+1)-им шарами, $\beta_k=(2\pi/\lambda)d_k\left(n_k^2-\sin^2\varphi\right)^{1/2}$, d_k – товщина

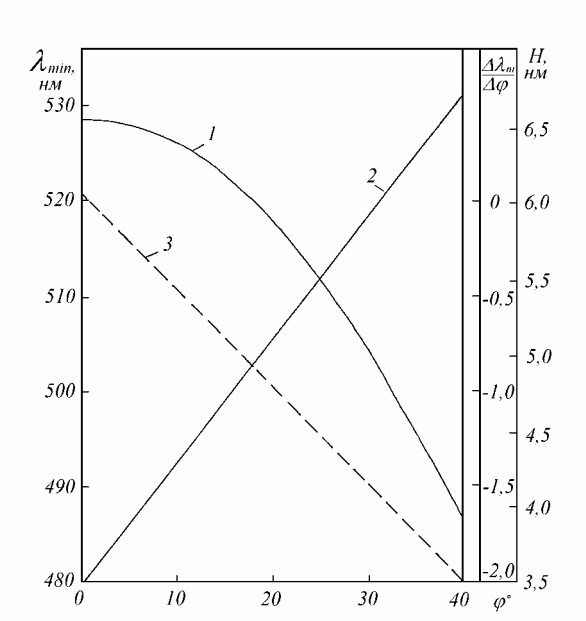

Рис. 2. Кутові зміни параметрів смуги відбивання багатошаровика: *1* – λ_{min}; *2* – *H*; *3* – $\Delta\lambda_{min}/\Delta\varphi$.

k-го шару, n_k – комплексний показник заломлення *k*-го шару, λ – довжина хвилі випромінювання, що падає на багатошаровик з вакууму під кутом φ.

Проблема оптимізованого синтезу багатошаровиків зводиться до встановлення умов набуття екстремумів цільових функцій $\mathbf{r}(\lambda,\varphi, d)$ або $\mathbf{t}(\lambda,\varphi, d)$ у залежності від призначення багатошаровиків. Якщо для лазерних дзеркал чи для цілей просвітлення оптики пробною є функція $\mathbf{r}(\lambda,\varphi, d)$ [3,4], то для наших цілей це може бути як функція $\mathbf{r}(\lambda,\varphi, d)$, так і функція $\mathbf{t}(\lambda,\varphi, d)$. Ця багатопараметрична задача (йдеться про варіацію параметрів λ, φ *і* d) є непростою навіть за умови ідельно гладких міжшарових меж. Якщо ж є необхідність враховувати ще й параметри шорсткості σ_k, задача суттєво ускладнюється. У першому наближенні відповідні поправки на цей пердмет можна було б врахувати за допомогою ефективних факторів Дебая-Валлера [3].

Співвідношення (1)–(2), що отримані у рамках квазікласичного наближення, а також розроблений на їх основі метод колових діаграм виявилися вельми зручним для вирішення задачі синтезу оптимізованих багатошаровиків [5].

За спеціальною програмою шляхом комп'ютерного моделювання при варіації таких параметрів, як кількість шарів (13 ÷ 19), їх почерговість, показники заломлення (у першу чергу підбір компонент з високими показниками заломлення – TiO_2, HfO_2, ZnS, ZrO_2 та ін., – для яких в даній області спектра n~2,0÷2,35) оптимізувалися умови синтезу інтерференційного фільтра.

Для селекції ліній генерації гелій-селенового лазера була змодельована 15-шарова система, що відповідала формулі

$$n_1\left|(BH)^4\,(HB)^4\right|n_2, \qquad (3)$$

де n_1 – показник заломлення повітря ($n_1 \cong 1$), B – четвертьхвильова плівка TiO_2 ($n = 2{,}30$), H – четвертьхвильова плівка SiO_2 ($n = 1{,}46$), n_2 – показник заломлння підкладки (скло, $n_2 = 1{,}52$). Для інших комбінацій (наприклад, HfO_2 – SiO_2, ZrO_2 – SiO_2) формула (3) відповідає конкретним вимогам щодо використання багатошаровиків.

Напилення проводилося на установці А1504

Таблиця

Лінії генерації і квантові переходи в He-Se лазерах

Довжина хвилі, *нм*	Перехід	Довжина хвилі, *нм*	Перехід
446,76	$5s^2P_{1/2}$–$5p^2P_{1/2}$	559,11	$5s^2P_{1/2}$–$5p^4P_{3/2}$
460,43	$5s^4P_{5/2}$–$5p^2D_{5/2}$	562,31	$5s^4P_{1/2}$–$5p^4P_{1/2}$
461,87	$5s^4P_{3/2}$–$5p^4D_{5/2}$	569,78	$5s^4P_{3/2}$–$5p^4D_{1/2}$
464,84	$5s^4P_{1/2}$–$5p^4P_{3/2}$	574,76	$5s^4P_{5/2}$–$5p^4D_{5/2}$
471,82	$5p^2D_{5/2}$–$5d^4F_{3/2}$	584,26	$4p^{42}P_{3/2}$–$5p^2S_{1/2}$
474,09	$4p^{42}P_{3/2}$–$5p^2P_{3/2}$	586,62	$5s^2P_{3/2}$–$5p^4P_{5/2}$
476,36	$5s^4P_{3/2}$–$5p^2D_{3/2}$	605,59	$5s^2P_{1/2}$–$5p^2P_{3/2}$
476,55	$4p^{42}P_{3/2}$–$5p^2P_{1/2}$	606,58	$4p^{42}P_{3/2}$–$5p^4P_{3/2}$
484,06	$5s^4P_{5/2}$–$5p^2S_{1/2}$	610,19	$5s^2P_{3/2}$–$5p^2D_{3/2}$
484,49	$5s^4P_{5/2}$–$5p^4S_{3/2}$	644,42	$5s^4P_{1/2}$–$5p^2D_{5/2}$
497,56	$5s^2P_{1/2}$–$5p^4S_{3/2}$	649,05	$5s^2P_{1/2}$–$5p^4D_{1/2}$
499,27	$5s^4P_{3/2}$–$5p^2P_{3/2}$	653,49	$5s^2P_{3/2}$–$5p^2P_{1/2}$
506,86	$5s^4P_{5/2}$–$5p^4P_{5/2}$	706,40	$5s^2P_{1/2}$–$5p^4P_{1/2}$
509,65	$4d^4F_{9/2}$–$5p^4D_{7/2}$	739,19	$5p^2D_{5/2}$–$4p^26s^2P_{3/2}$
514,21	$5s^4P_{1/2}$–$5p^4D_{3/2}$	767,48	$5s^2D_{5/2}$–$5p^2P_{3/2}$
517,59	$5p^4D_{3/2}$–$4p^26s^4P_{1/2}$	772,40	$5s^2P_{3/2}$–$5p^4D_{1/2}$
522,75	$5s^4P_{5/2}$–$5p^4D_{7/2}$	779,61	$5s^2D_{3/2}$–$5p^2P_{1/2}$
525,36	$5s^4P_{1/2}$–$5p^4D_{1/2}$	783,88	$4p^{42}P_{3/2}$–$5p^4P_{1/2}$
527,12	$5s^2D_{3/2}$–$5p^2D_{5/2}$	830,95	$5s^2D_{5/2}$–$5p^2D_{5/2}$
530,53	$5s^2P_{1/2}$–$5p^2D_{3/2}$	995,50	$5s^2D_{5/2}$–$5p^4D_{5/2}$
552,24	$5s^4P_{5/2}$–$5p^4P_{3/2}$	1040,90	$4p^{42}P_{3/2}$–$5p^4D_{1/2}$
556,69	$5s^4P_{3/2}$–$5p^4D_{3/2}$	1259,70	$5s^2D_{3/2}$–$5p^2P_{1/2}$

фірми „Leybold AG”. Режим напилення: електронно-променевий випарник, швидкість нанесення плівки TiO_2 – 0,25 нм/с, SiO_2 – 0,40 нм/с. Тиск O_2 в камері – 10^{-5} тор, температура підкладки витримувалась строго 300°С. Установка автоватизована.

На рис. 1 показані спектральні характеристики одержаного багатошаровика при різних кутах падіння світла φ. Коефіцієнти відбивання R вимірювали на прецизійній спектрофотометричній установці „Lambda-2” фірми Perkin-Elmer з точністю ± 0,1 %. Зміни параметрів смуги відбивання (спектральне положення мінімуму смуги λ_{min}, напівширини H смуги відбивання та відношення $\Delta\lambda_{min}/\Delta\varphi$) у залежності від φ (рис. 2) вказують, що інтерференційні фільтри такого типу можуть використовуватися як зовнішні приставки для селекції потрібних ліній генерації в „білих” лазерах при їх застосуванні, наприклад, в оптичній томографії або в схемах кольорового голографування.

Довгий Я.О. – доктор фізико-математичних наук, професор;
Хомич І.М. – науковий співробітник.

[1] Я.О. Довгий, М.К. Заморский, И.В. Китык, В.Л. Колтун. Гелий-селеновые лазеры. (Обзор) // *Квантовая электроника*, **39**, сс. 14-25 (1990).
[2] Я.О. Довгий, Б.В. Микитюк. Розрахунок відбивної здатності багатошарових діелектричних дзеркал з викоритсанням діаграмної методики // *Доповіді АН України. Сер.А*, (4), сс. 62-64 (1983).
[3] Д.С. Буренков, Ю.А. Успенский, И.А. Артюков, А.В. Виноградов. Алгоритм для вычисления оптимальных параметров многослойных апериодических зеркал, предназначенных для мягкого рентгеновского диапазона // *Квантовая электроника*, **35**(2), сс.195-199 (2005).
[4] Ю.О. Первак, І.В. Фекешгазі. Просвітлюючі покриття на основі симетричних періодів // *Укр. фіз. журнал*, **39**(9-10), сс. 934-037 (1994).
[5] Я.М. Бондарчук, Я.О. Довгий. Теоретичні і технологічні аспекти синтезу лазерних дзеркал. (Огляд) // *Фізика і хімія твердого тіла*, **3**(2), сс. 199-214 (2002).

Ya.O. Dovhyj[1], I.M. Homych[2]

Synthesis and Use of Multilayer Interference Filters for Outside Rezonator Selection the Lines of Generation the „White” Lasers

[1]Ivan Franko Lviv National University, 8, Kyrylo and Mefodij Str., Lviv, 79005, Ukraine
e-mail: dovgy@physics.wups.lviv.ua
[2]Erotron Research Institute (Lviv), 90, Antonovych Str., Lviv, 79057, Ukraine

The outside resonator method of selection the line of generation the “white” He-Se laser has been proposed in the lengs wave of 0.44-1.25 μm. This method base upon the effect of spectral displacement of reflection band of the special calculated and maked 15-th layers narrow (-band) filter when the angle of incidence of the laser beam was changed.