

І.Я. Яремчук, Г.А. Петровська, В.М. Фітьо, Я.В. Бобицький  
 Національний університет “Львівська політехніка”,  
 кафедра фотоніки

## ПРИДУШЕННЯ ПОБІЧНИХ МАКСИМУМІВ КОЕФІЦІЄНТА ПРОПУСКАННЯ ВУЗЬКОСМУГОВИХ ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНИХ ФІЛЬТРІВ

© Яремчук І.Я., Петровська Г.А., Фітьо В.М., Бобицький Я.В., 2008

I.Ya. Yaremchuk, G.A. Petrovska, V.M. Fitio, Ya.V. Bobitski

## SIDEBANDS OF TRANSMITTANCE SUPPRESSION OF NARROWBAND INTERFERENCE FILTERS

© Yaremchuk I.Ya., Petrovska G.A., Fitio V.M., Bobitski Ya.V., 2008

Запропоновано спосіб придушення побічних максимумів коефіцієнта пропускання вузькосмугових фільтрів без використання відсічних фільтрів. Спосіб полягає у тому, що на базову багат шарову структуру напилюють додатковий фільтр, основна смуга пропускання якого збігається зі смугою пропускання базового фільтра, а бічні смуги пропускання є зміщеними. Використана структура базового вузькосмугового фільтра, в якій підкладка одночасно виконує роль роздільного шару. Під час використання запропонованого методу кінцева структура інтерференційного фільтра має вигляд  $BH\ 500B\ HB\ H\ (BH)^3\ 4B\ (HB)^3$ . Оптимізація структури дала змогу не лише придушити бічні смуги пропускання, але й отримати спектр пропускання без істотних втрат поглинання для робочої довжини хвилі.

The method of sidebands suppression is proposed in a narrowband filter without the use of longwave and shortwave filters. A method consists in that the additional filter of simple construction is deposited on a base narrowband filter. A basic transmission band this filter is on a working wavelength base filter, and sidebands are displaced. The base interference narrowband filter is structure in which substrate is dividing layer. At the use of the offered method the final structure of interference filter will has the form  $HL\ 500H\ LH\ L\ (HL)^3\ 4H\ (LH)^3$ . Optimization of structure allowed not only suppressed of transmissions sidebands but also gets the transmissions spectrum without significant losses on absorption on working wavelength.

### Вступ

Синтез багат шарових оптичних систем за останні роки набув чималого розвитку, успіхи цих досліджень впливають як на розвиток оптики, так і інших галузей науки та техніки. Тепер отримують інтерференційні фільтри будь-якого типу для всього оптичного діапазону з заданими спектральними характеристиками. Одним із найактуальніших завдань в оптичному приладобудуванні є створення вузькосмугових фільтрів, оскільки галузь застосування дуже широка – це астрофізика, хімія, медицина, матеріалознавство, сенсорика, приладобудування [1–3].

Як відомо, однією з основних характеристик вузькосмугових фільтрів вважається величина смуги придушення (attenuation range) – величина спектрального інтервалу, в якому коефіцієнт пропускання є низьким (0,1 %) [4]. Проте, синтезувати інтерференційний вузькосмуговий фільтр з широкою смугою придушення побічних максимумів пропускання без істотних втрат для робочої довжини хвилі достатньо складно. Традиційно цю проблему вирішували використанням додатко-

вих короткохвильового та довгохвильового відсічних фільтрів [5], що істотно ускладнювало конструкцію фільтра, збільшувало поглинання, а також зменшувало величину коефіцієнта пропускання для робочої довжини хвилі. Все це призвело до спроби сконструювати чи оптимізувати фільтр так, щоб придушити побічні піки коефіцієнта пропускання та отримати криву пропускання без істотних втрат поглинання для робочої довжини хвилі.

У працях [6–7] запропонована структура вузькосмугового інтерференційного фільтра, перевага якого полягала у тому, що він складався лише з п'яти шарів, причому підкладка була основою фільтра і одночасно одним із основних шарів всієї багатошарової системи  $BH\ 500B\ HB$ , де  $B$  і  $H$  шари матеріалів відповідно з високим ( $n_B = 4.01$ ) та низьким ( $n_H = 1.44$ ) показниками заломлення, оптична товщина яких дорівнює чверті робочої довжини хвилі  $I_0/4$ , величина 500 означає, що оптична товщина роздільного шару дорівнює  $500I_0/4$ . Такий фільтр може бути спроектований на будь-яку довжину хвилі. На рис. 1. зображено криву коефіцієнта пропускання такого фільтра, розрахованого для робочої довжини хвилі 3,85 мкм, однак як бачимо спектральна характеристика містить близько розташовані побічні максимуми. У цій роботі виконано оптимізацію структури такого фільтра з метою покращання селективних властивостей за рахунок придушення побічних максимумів коефіцієнта пропускання з мінімальними втратами поглинання для робочої довжини хвилі. Розрахунки коефіцієнта пропускання виконували за допомогою матричного методу [8].

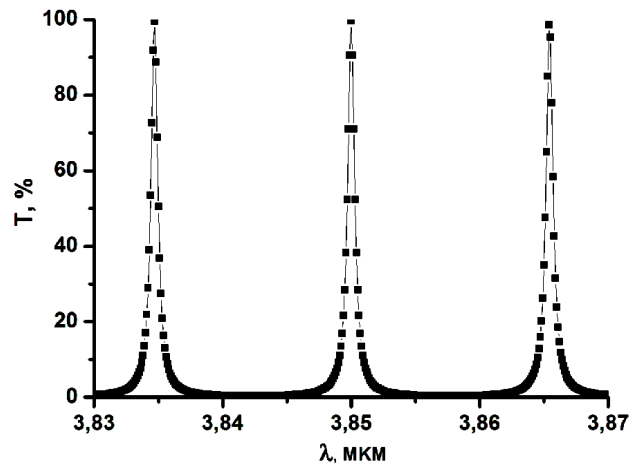


Рис. 1. Спектр пропускання вузькосмугового фільтра зі структурою  $BH\ 500B\ HB$

#### Додатковий інтерференційний фільтр для придушення побічних смуг пропускання

Для придушення побічних максимумів коефіцієнта пропускання у вузькосмуговому фільтрі запропоновано використання додаткового фільтра, напиленого на базову конструкцію. Розв'язок поставленої задачі виконано в два етапи: 1) моделювання додаткового вузькосмугового фільтра, основний максимум пропускання якого повинен збігатись з максимумом коефіцієнта пропускання для робочої довжини хвилі основного фільтра, ширина смуги пропускання повинна бути не більшою за відстань між двома побічними смугами пропускання основного фільтра. Побічні максимуми коефіцієнта пропускання додаткового фільтра не повинні збігатись з побічними максимумами коефіцієнта пропускання основного; 2) узгодження цих двох фільтрів через перехідний шар з метою отримання заданої спектральної кривої.

Для придушення побічних максимумів коефіцієнта пропускання інтерференційного вузькосмугового фільтра типу  $BH\ 500B\ HB$ , поставлено завдання одержання такого додаткового інтерференційного фільтра, в якого основна смуга пропускання знаходиться на робочій довжині хвилі  $I_0 = 3,85\text{ мкм}$ , і шириною  $\Delta I \leq 0,02\text{ мкм}$ , оскільки фільтр з більшим значенням  $\Delta I$  пропускатиме побічні смуги.

Як відомо, найпростішим варіантом такого фільтра є фільтр за структурою подібний до еталону Фабрі-Перо [9] – інтерференційні дзеркала, що складаються із шарів з високим та низьким показниками заломлення однакової оптичної товщини  $I_0/4$ , які розділені шаром з високим показником заломлення, оптична товщина якого кратна  $I_0/2$ . Для розрахунку фільтра на такій

основі використано такі самі матеріали, які використовуються для синтезу базового фільтра: це Ge і  $\text{SrF}_2$  з показниками заломлення  $n_B = 4,01$  та  $n_H = 1,44$  і коефіцієнтами поглинання  $0,02 \text{ см}^{-1}$  і  $0,001 \text{ см}^{-1}$  відповідно [10].

Для досягнення заданої ширини смуги пропускання вибирались оптимальна кількість шарів в системі та товщина розділювального шару. Як зрозуміло з рис. 2 (крива 1), коли використовували структури з 9 шарів, смуга пропускання була достатньо широкою і на довжинах хвиль 3,835 та 3,865 мкм коефіцієнт пропускання більший за 10 %. Під час використання такого додаткового фільтра оптимізований фільтр пропускатиме не лише основну смугу, але й побічні. Звужити ширину смуги пропускання можна за рахунок збільшення товщини середнього шару, проте такий крок не дав бажаного результату (рис. 2, крива 2). Використання 13 шарів у системі і товщини середнього шару  $d = I_0 / 2$  дало потрібну нам ширину смуги та нуль коефіцієнта пропускання поза її межами (рис. 2, крива 3).

Звичайно смугу пропускання можна ще звужити, збільшивши оптичну товщину середнього шару, проте система  $(BH)^3 2B (HB)^3$  повністю відповідає поставленим вимогам до додаткового інтерференційного вузькосмугового фільтра, тому в подальших розрахунках використано саме її.

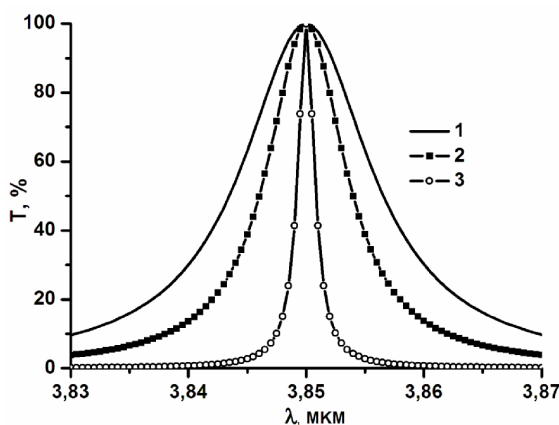


Рис. 2. Спектр пропускання додаткового вузькосмугового фільтра зі структурою  $(BH)^2 2B (HB)^2$  – крива 1,  $(BH)^2 4B (HB)^2$  – крива 2,  $(BH)^3 2B (HB)^3$  – крива 3

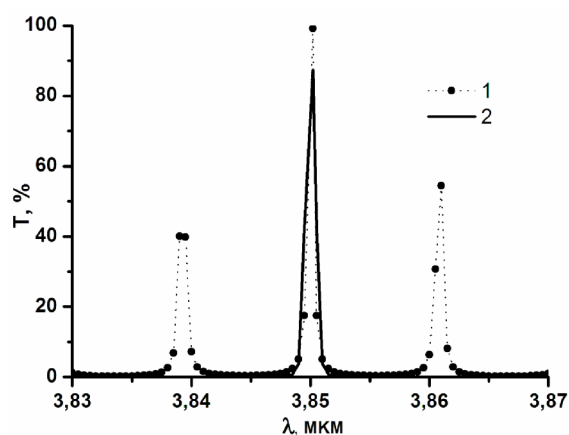


Рис. 3. Спектр пропускання вузькосмугового фільтра зі структурою  $BH 500B HB 4H (BH)^3 2B (HB)^3$  – крива 1,  $BH 500B HB H (BH)^3 2B (HB)^3$  – крива 2

### Оптимізований вузькосмуговий інтерференційний фільтр

Якщо на базовий вузькосмуговий фільтр напилити додатковий фільтр ми не тільки не придушимо побічні максимуми коефіцієнта пропускання, але і ще приблизимо їх до основного, оскільки за такого з'єднання верхній шар з високим показником заломлення основного фільтра і перший шар додаткового фільтра утворюють ще один роздільний шар з високим показником заломлення. Щоб об'єднати ці два фільтри, використали перехідний шар з низьким показником заломлення, який виключить створення додаткового резонансного шару. Коли оптична товщина перехідного шару дорівнює  $I_0 / 4$ , придушуються побічні максимуми коефіцієнта пропускання (рис. 3, крива 2). Спектр пропускання оптимізованої структури зображено на рис. 4, а. Крива пропускання містить провал на робочій довжині хвилі (рис. 4, б), однак коефіцієнт пропускання дорівнює 87 % при врахуванні поглинання в матеріалах, що відповідає вимогам до такого типу фільтрів. Варто зазначити, що товщину перехідного шару можна використовувати більшою за  $I_0 / 4$ , наприклад  $3I_0 / 4$ , проте крива пропускання буде деформуватись (рис. 5).

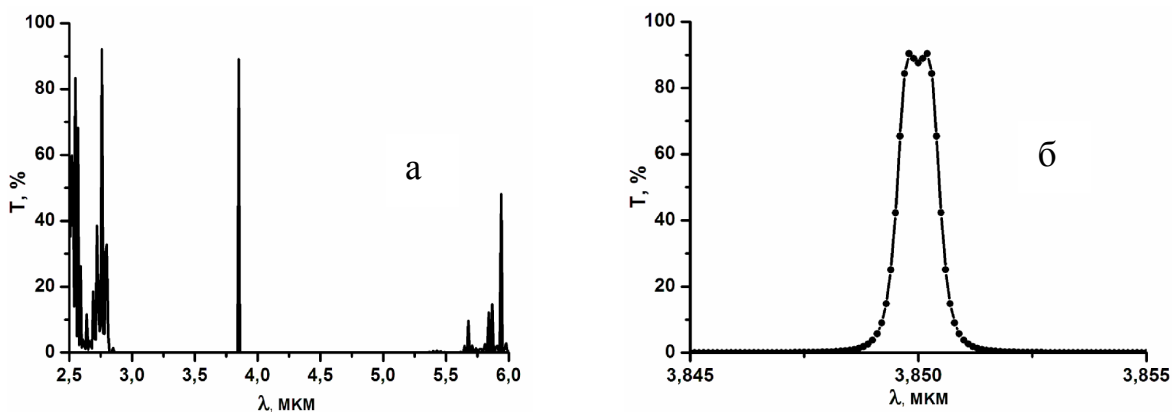


Рис. 4 Спектр пропускання вузькосмугового фільтра зі структурою  $BH\ 500B\ HB\ H\ (BH)^3\ 2B\ (HB)^3$ ,

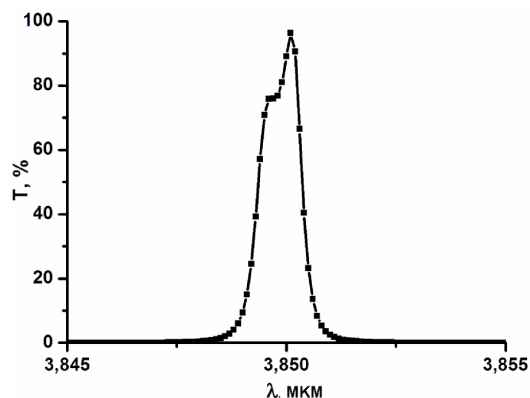


Рис. 5 Спектр пропускання вузькосмугового фільтра зі структурою  $BH\ 500B\ HB3/4\ H\ (BH)^3\ 2B\ (HB)^3$

### Висновки

У цій роботі запропоновано спосіб придушення побічних максимумів коефіцієнта пропускання без використання додаткових відсічних фільтрів. Проблема вирішена застосуванням структури, яка містить додатковий вузькосмуговий фільтр, який узгоджений з основним за допомогою перехідного шару. Кінцева структура оптимізованого фільтра має вигляд  $BH\ 500B\ HB\ H\ (BH)^3\ 2B\ (HB)^3$ . У цьому інтерференційному фільтрі побічні максимуми придушуються на ділянці від 2,7 до 5,7 мкм, а ширина смуги пропускання дорівнює 0,002 мкм. Для робочої довжини хвилі коефіцієнт пропускання дорівнює 87 %, враховуючи поглинання в матеріалах. Такий фільтр може бути змодельований для будь-якої довжини хвилі в інфрачервоній області спектра. Оптимізація структури дала змогу придушити побічні максимуми пропускання та отримати криву пропускання без істотних втрат поглинання для робочої довжини хвилі.

1. Kong S.H., et al. // *STW*. – 1998. – 10. – P. 291–294. 2. Erdogan T., Mizrahi V. // *Spectroscopy*. – 2004. – 19 (12). – P. 113–116. 3. Li. L. // *Optics and Photonics News*. – 2003. – 9. – P. 24–30. 4. *Photo-optic-Filters*. Режим доступу [www.photooptic-filters.com](http://www.photooptic-filters.com) 5. *Optical coatings Japan*. Режим доступу [www.ocj.co.jp](http://www.ocj.co.jp). 6. Пат. 26850 Україна, МПК G02B 5/28. Інтерференційний фільтр / І.Я. Яремчук., В.М. Фітьо, Я.В. Бобицький. (Україна). – № u 200705597. – 4 с. 7. Yaremchuk I.Ya., Fitio V.M., Bobitski Ya.V. // *Sem. Phys. Quant. Elect. Optoel.* – 2008. – 11 (1). – P. 23–25. 8. Maitland B., Dunn M. *Laser Physics*. – North-Holland Publishing Company. – Amsterdam-London, 1969. 9. Борисевич Н., Верещакін В., Валідов М. *Инфракрасные фильтры*. – Минск: Наука и техника, 1971. 10. CRYSTAL Gmbn, Ostendstrabe 2-14, D-12459 Berlin, Germany, [www.crystal-gmbn.com](http://www.crystal-gmbn.com).