

## ПЛІВКОВЕ ПРОСВІТЛЮЮЧЕ ПОКРИТТЯ НА МОНОКРИСТАЛАХ $\text{In}_4\text{Se}_3$

Запропонований оптичний фільтр для ІЧ області спектру, виготовлений на основі монокристалів  $\text{In}_4\text{Se}_3$  з одношаровим і багатошаровим просвітлюючим покриттям. Одержані фільтри мають широку робочу область пропускання, яка відповідає рівню  $T > 80\%$ . Приведені розрахункові і експериментальні характеристики фільтрів.

The proposed optical filter for infrared spectrum region has been fabricated on the basis of  $\text{In}_4\text{Se}_3$  single crystals with mono- and multilayer anti-reflecting coating. The obtained filters have wide working transmission region corresponding to the level of  $T > 80\%$ . Calculated and experimental characteristics of filters are presented.

В оптичних системах широко використовуються відрізаючі фільтри на основі монокристалічних напівпровідників, край власного поглинання яких знаходиться у заданій області спектру. Одним з перспективних матеріалів для ближньої ІЧ-області спектру є селенід індію  $\text{In}_4\text{Se}_3$ . Це шаруватий напівпровідник, з якого легко виготовляти сколюванням по площинах спайності підкладки необхідної товщини, включаючи цілий ряд технологічних операцій по обробці поверхні. У роботі [1] описаний ІЧ фільтр, виготовлений шляхом нанесення на монокристалічні пластини  $\text{In}_4\text{Se}_3$  просвітлюючого покриття з  $\text{ZnS}$ . Такий фільтр має достатньо високі і стабільні оптичні характеристики.

Необхідно відзначити, що використання просвітлюючого покриття у вигляді моношарової плівки відповідного діелектрика вимагає розрахунку максимуму просвітлення на певну довжину хвилі  $\lambda_0$  з куполоподібною кривою пропускання біля цієї довжини хвилі. У той же час згідно технічних вимог часто необхідні оптичні фільтри з широким плато в спектральній характеристиці, з високим пропусканням у заданому спектральному діапазоні. Крім того, плівкоутворюючий матеріал  $\text{ZnS}$ , який використовується для просвітлення в роботі [1], є гігроскопічним [2], що приводить до нестійкості фільтра при термоциклюванні. Його показник залом-

лення  $n_{\text{ZnS}} = 2,2$  не оптимальний для фільтру на основі  $\text{In}_4\text{Se}_3$  ( $n_{\text{In}_4\text{Se}_3} = 3,2$ ), тому що не відповідає в належній мірі критерію

$$n_{\text{просв. покр.}} = \sqrt{n_{\text{підкл.}}}$$

Більш придатним по механічній стійкості і по оптичній відповідності підкладці  $\text{In}_4\text{Se}_3$  є монооксид кремнію  $\text{SiO}_2$ , який має показник заломлення  $n_{\text{SiO}_2} = 1,45$  і широко використовується в діапазоні 1-25 мкм. У технологічному відношенні він більш зручний, поскільки для його нанесення розроблено конструкцію випаровувача [3], який дозволяє наносити плівки  $\text{SiO}_2$  з великою швидкістю, без розкладання і використовується в серійному виробництві.

У даній роботі поставлена задача виготовлення оптичного фільтру на основі монокристалів  $\text{In}_4\text{Se}_3$ , просвітлених з двох боків плівками  $\text{SiO}_2$ , а також з використанням в якості просвітлюючого покриття трьохшарової плівкової інтерференційної системи  $\text{SiO}_2\text{-Ge-SiO}_2$ , яка після розрахунку відповідних товщин плівок забезпечує наявність широкого плато пропускання у необхідній області спектрального діапазону просвітлення.

Розрахунок оптичних характеристик трьохшарової системи, як і у випадку багатошарових систем інтерференційних фільтрів, зручно проводити матричним методом. Згідно [2] характе-

ристинна матриця трьохшарового просвітлюючого покриття визначається як добуток характеристичних матриць окремих шарів:

$$|M| = |M_p| \cdot |M_q| \cdot |M_p|.$$

Елементи матриці  $|M|$  визначаються згідно формул:

$$\begin{aligned} M_{11} &= M_{22} = \\ &= \cos 2\varphi_p \cos \varphi_q - \frac{1}{2} \left( \frac{n_q}{n_p} + \frac{n_p}{n_q} \right) \sin 2\varphi_p \cdot \sin \varphi_q, \\ M_{12} &= \frac{1}{n_p} \left[ \sin 2\varphi_p \cos \varphi_q + \right. \\ &+ \left. \frac{1}{2} \left( \frac{n_q}{n_p} + \frac{n_p}{n_q} \right) \sin 2\varphi_p \sin \varphi_q + \frac{1}{2} \left( \frac{n_p}{n_q} - \frac{n_q}{n_p} \right) \sin \varphi_q \right], \\ M_{21} &= n_p \left[ \sin 2\varphi_p \cos \varphi_q + \right. \\ &+ \left. \frac{1}{2} \left( \frac{n_p}{n_q} + \frac{n_q}{n_p} \right) \cos 2\varphi_p \sin \varphi_p - \frac{1}{2} \left( \frac{n_p}{n_q} - \frac{n_q}{n_p} \right) \sin \varphi_q \right], \end{aligned}$$

де  $n_p, n_q$  - показники заломлення шарів  $p, q$ , а  $\varphi_p, \varphi_q$  - фазові товщини відповідних шарів, які визначаються по формулі

$$\varphi_j = \frac{2\pi n_j d_j}{\lambda}.$$

В цій формулі  $d_j$  - геометрична товщина  $j$ -го шару.

Згідно загальних рекомендацій, що стосуються розміщення шарів і оптимізації конструкції

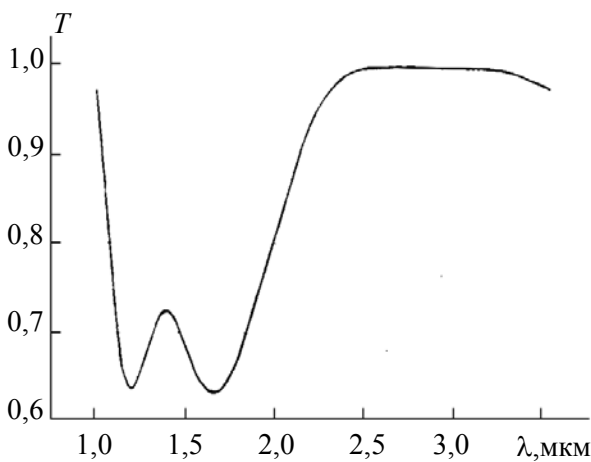


Рис.1. Спектральна залежність пропускання трьохшарового просвітлюючого покриття (розрахункова).

багатошарової структури, показник заломлення підкладки  $n_n$  повинен бути проміжним між високим показником заломлення  $n_q$  і низьким показником заломлення  $n_p$ , причому першим на підкладку наноситься шар з показником заломлення, який найбільше відрізняється від показника заломлення підкладки  $n_n$ .

Стосовно до вибраних нами матеріалів оптимальна конструкція має такий вигляд по послідовності шарів: SiO-Ge-SiO.

Пропускання  $T$  представленої конструкції фільтра описується через компоненти характеристичної матриці:

$$T = 2n_1 n_n / [(M_{11} + n_n M_{12})n_1 + M_{21} + M_{22} n_n]^2,$$

де  $n_1$  - показник заломлення повітря. Застосовуючи даний підхід розраховувались товщини окремих шарів, які забезпечують необхідну смугу прозорості і смугу подавлення. При цьому використовувалась стандартна програма у вигляді циклу для обчислення і множення матриць інтерференції окремих шарів. Отримано розрахункову спектральну характеристику (рис.1), яка відповідає трьохшаровій структурі: SiO ( $d=0,15$  мкм) - Ge ( $d=0,28$  мкм) - SiO ( $d=0,83$  мкм).

Область фонового подавлення забезпечується власним поглинанням підкладки, яке накладається на розрахункову смугу подавлення. Для моношарового просвітлюючого покриття розрахунок товщини проводився звичайним методом [4] як чверть відповідної довжини хвилі  $\lambda_0$ .

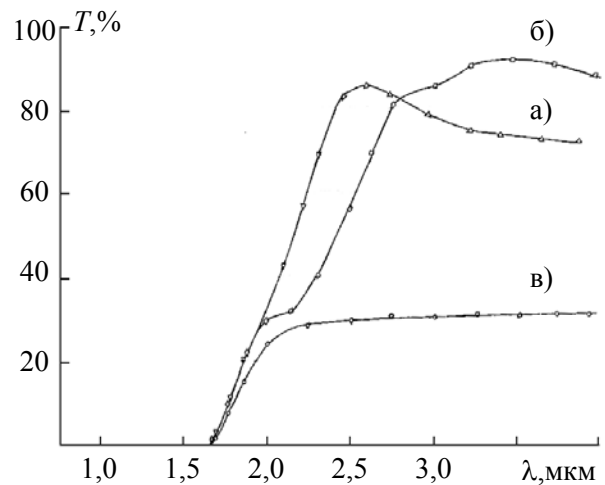


Рис.2. Спектральна залежність пропускання зразків  $In_4Se_3$ : просвітлених (а,б), без просвітлення (в).

Практично були виготовлені зразки фільтрів з просвітлюючим покриттям у вигляді моношару і трьох шарів. Напилення тонких плівок проводилося із застосуванням лазерного контролю товщини методом “на відбивання” від скла-свідка. Вакуум у системі був  $5 \cdot 10^{-6}$  мм.рт.ст., температура підкладки знаходилась в межах  $T_{\text{п}}=383 \div 393$  К.

Перед напиленням підкладки були очищені методом іонної очистки в аргоні. Одержані фільтри мали добру адгезію плівок до підкладки і високе пропускання. На рис.2 приведені спектральні характеристики пропускання для конструкцій фільтрів з одним шаром (а) і з трьома шарами (б), а також для монокристалу  $\text{In}_4\text{Se}_3$  без просвітлення (в).

З рис.2 бачимо, що фільтр з трьохшаровим просвітлюючим покриттям має більш широку робочу область пропускання, яка відповідає рівню  $T > 80\%$ , що потрібно звичайно для практичного використання в ІЧ техніці. Розроблений нами фільтр має високу механічну міцність, стабільні в часі оптичні характеристики і може бути рекомендований для практичного застосування.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гертович Т.С., Гринєва С.И., Грицюк Б.Н. и др. Получение монокристаллов  $\text{In}_4\text{Se}_3$ , пригодных для изготовления оптических фильтров // УФЖ. - 1982. - 27, №8. - С.1191-1194.
2. Беляева А.И., Сиренко В.А. Криогенные многослойные покрытия. - Киев: Наук.думка, 1991.
3. Слуцкая В.В. Тонкие пленки в технике СВЧ. - М: Сов. радио, 1967.
4. Технология тонких пленок. Справочник: В 2 т. / Под ред. Л.Майселла, Р.Глэнга. - М.: Сов. радио, 1977. Т.2.