

Хомич І.М.

Дердавне підприємство "Науково-дослідний інститут приймальних електронно-променевих трубок "ЕРОТРОН" (ДП "НДІ "ЕРОТРОН"). Україна, м. Львів.

ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНІ ЛАЗЕРНІ ДЗЕРКАЛА

Анотація

В статті показана можливість створення вітчизняних лазерних дзеркал на базі інтерференційних покриттів. Наведені графіки основних параметрів виготовлених макетів дзеркал та їх конструкції (матеріал, послідовність нанесення, товщини).

Abstract

Capability to create domestic laser mirrors based on interference coatings is shown in the paper. The diagrams of developed mirror models with key parameters and their constructions are also given in the paper (material, coating order, depths).

Сучасний етап розробки і виробництва лазерів [1] характеризується перенесенням акценту робіт на створення високоякісних оптичних вузлів, основними параметрами котрих є дзеркала резонаторів. Параметри довговічності приладів, особливо з внутрішніми дзеркалами, рівень лінійної і питомої потужності, а також параметри часової і просторової стабільності вихідного випромінювання визначаються основними експлуатаційними характеристиками оптичних елементів, що використані, у т.ч. інтерференційних дзеркал. Вони являють собою сконденсовані на підкладках з кварцу або прозорого оптичного скла, наприклад, К8, тонкоплівкові структури з почергових шарів з високим (n_B) і низьким (n_H) показниками заломлення.

Загальна кількість шарів таких покриттів визначається з необхідності забезпечити потрібний коефіцієнт відбивання на робочій довжині хвилі $\lambda_{роб}$, що в більшій мірі залежить від показників заломлення плівкоутворювальних матеріалів і в меншій мірі від показникам заломлення підкладки.

Донедавна основними матеріалами дзеркал були сульфід цинку (ZnS), селенід цинку (ZnSe), фторид

магнію (MgF_2) і кріоліт (Na_3AlF_6) з різними оптичними параметрами: прозорістю і показником заломлення (див. табл. 1), вакуумне напилення яких є технологічно нескладне. Недоліком їх є недостатня хімічна стійкість, зокрема, проти вологи, і також слаба механічна міцність.

Останнім часом з метою підвищення надійності дзеркал використовують тугоплавкі окисли [2]: двоокис титану, двоокис цирконію, двоокис гафнію, двоокис церію, окис ітрію, двоокис скандію, деякі їх суміші і двоокис кремнію в ролі низько заломлюючої компоненти. Нанесення цих матеріалів потребує електронно-променевого випаровування з напуском в камеру стабілізованого потоку кисню для одержання плівок стехіометричного складу.

Проектуючи дзеркала лазерних резонаторів слід мати на увазі, що оптичні характеристики інтерференційних покриттів є складними функціями, які визначаються кількістю шарів, показниками заломлення матеріалів плівок, підкладок та

Таблиця 1

Оптичні параметри різних плівкоутворювальних матеріалів

№ з/п	Матеріал	Показник заломлення	Область прозорості, мкм
1	ZnS	2,3	0,39-14,5
2	MgF_2	1,38	0,13-8,0
3	Na_3AlF_6	1,35	0,2-14,0
4	HfO_2	1,95	0,25-9,0
5	PbF_2	1,75	0,25-17
6	CaF_2	1,23-1,46	0,15-12
7	LaF_3	1,59	0,25-12
8	CeO_2	1,95	0,4-16
9	ZrO_2	2,05	0,35-7,0
10	TiO_2	2,2-2,4	0,39-12
11	SiO_2	1,46	0,2-9
12	Y_2O_3	1,85	0,25-12
13	$TiO_2-Y_2O_3$	2,01	0,39-12

Таблиця 2

Конструкції дзеркал лазерних резонаторів

№ з/п	Матеріал	Показник заломлення	Товщина покриття, нм			
			Тип 1	Тип 2	Тип 3*	Тип 4*
1	SiO ₂	1,46			110,210	
2	TiO ₂	2,3		107,01	134,890	
3	SiO ₂	1,46		379,04	188,740	71,943
4	TiO ₂	2,3		178,71	120,890	91,361
5	SiO ₂	1,46		118,21	182,046	146,924
6	TiO ₂	2,3	38,706	69,98	113,430	91,520
7	SiO ₂	1,46	121,947	110,25	174,732	144,125
8	TiO ₂	2,3	77,411	69,98	108,776	89,408
9	SiO ₂	1,46	121,947	110,25	171,009	133,036
10	TiO ₂	2,3	77,411	69,98	108,776	80,372
11	SiO ₂	1,46	121,947	110,25	174,732	139,801
12	TiO ₂	2,3	77,411	69,98	113,430	97,847
13	SiO ₂	1,46	121,947	110,25	182,046	145,420
14	TiO ₂	2,3	77,411	69,98	117,952	90,484
15	SiO ₂	1,46	121,947	110,25	191,089	129,559
16	TiO ₂	2,3	77,411	69,98	124,999	112,701
17	SiO ₂	1,46	121,947	110,25	213,030	178,577
18	TiO ₂	2,3	77,411	69,98	140,580	87,027
19	SiO ₂	1,46	121,947	244,52	80,640	274,949
20	TiO ₂	2,3	77,411	109,47	185,000	138,326
21	SiO ₂	1,46	121,947	219,40	141,460	182,642
22	TiO ₂	2,3	38,706	87,24		118,311
	Підкладка		n = 1,52	n = 1,52	n = 1,85	n = 1,85

* $n_{\text{TiO}_2} = 2,2$

середовища, кутом падіння променів та їх поляризацією. Більшість існуючих на сьогодні методів вирішення задач синтезу багатопшарових інтерференційних покриттів зводиться до чотирьох основних напрямків:

- графічні методи проектування;
- проектування тонкоплівкових систем з використанням числових машинних методів;
- аналітичні методи синтезу;
- використання методу еквівалентного шару.

Розроблені в ДП "НДІ "Еротрон" програми аналізу і синтезу інтерференційних покриттів дозволяють створювати не тільки відносно прості чвертьхвильові системи, а й універсальні нерівнотовщинні багатоплівкові покриття, призначені для реалізації на установках вакуумного напылення з комп'ютерним керуванням технологічним процесом як, наприклад, установка фірми Leybold "A1504".

Конструкції синтезованих інтерференційних дзеркал можна розділити на 4 типи щодо функціонального призначення (див. табл. 2):

- тип 1 — однохвильове дзеркало;
- тип 2 — дзеркало з довгохвильовою зоною просвітлення для $\lambda_{\text{п}} > \lambda_{\text{роб}}$;
- тип 3 — дзеркало з короткохвильовою зоною просвітлення для $\lambda_{\text{п}} < \lambda_{\text{роб}}$;
- тип 4 — двозонне покриття — "глухе" дзеркало для $\lambda_{1\text{роб}}$ і напівпрозоре дзеркало на $\lambda_{2\text{роб}}$.

Конструкція однохвильового дзеркала в залежності від кількості плівок в покритті (див. табл. 3) забезпечує різний рівень відбивання на робочій

довжині хвилі $\lambda_{\text{роб}} = 694,3$ нм і може бути використане як напівпрозоре, так і "глухе" покриття.

Проміжні значення коефіцієнтів відбивання можна добитись, помноживши товщини високозаломлюючих речовин на вибране число в межах (0,5–1,5), а товщини низькозаломлюючої речовини поділивши на те саме число, при такій операції робоча довжина хвилі фільтру не зміниться, а відбивання зросте, якщо множник більший одиниці, і зменшиться, якщо він менший.

Залежність коефіцієнта відбивання “однохвильового” дзеркала від кількості плівок в покритті

Кількість плівок	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
Відбивання, %	55,90	75,07	87,79	94,49	97,63	99,00	99,59	99,83	99,93	99,97	99,99

На графіку (рис. 1) показано спектр коефіцієнта відбивання лазерного дзеркала (тип 2), призначеного для використання в He-Ne газових лазерах з функцією погашення паразитного випромінювання на $\lambda = 3,39$ нм.

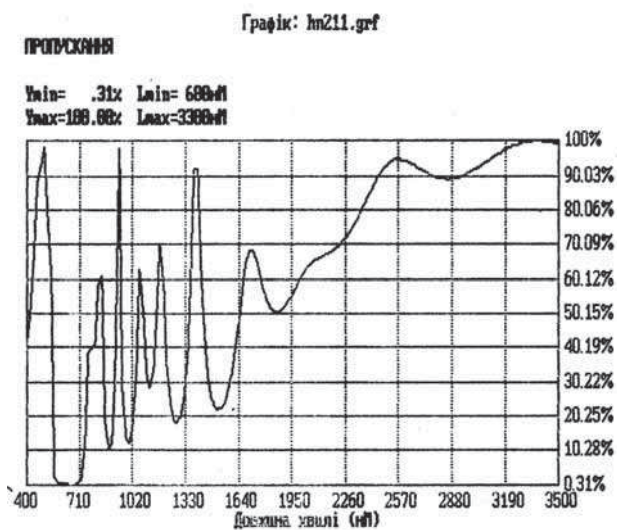


Рис. 1. Коефіцієнт відбивання дзеркала He-Ne лазера

Це дзеркало сконструйоване з використанням технології нерівнотовщинних шарів і має товщину в півтора-два рази меншу, ніж чвертьхвильові покриття, описані в [3]. Покриття меншої товщини мають ту перевагу, що їх дифузне розсіювання є значно меншим, а значить, такі покриття здатні працювати при вищих потужностях лазерів.

Досвід практичного використання розроблених в ДП “НДІ “Еротрон” інтерференційних покриттів, показав високу якість тонкоплівкових конструкцій та високу технологічність їх реалізації на практиці.

Література

1. Бондарчук Я.М., Довгий Я.О. Теоретичні й технологічні аспекти синтезу лазерних дзеркал (огляд). Фізика і хімія твердого тіла, т.3, №2(2002). – С. 199–214.
2. Balzers Coatings Materials. Edition 87/89.
3. Зеркало для гелий-неонового лазера, заявка на патент № 59-45961, Японія, заявлено 20.09.74, № 49-107705, опубліковано 11.09.84, № 6-1150.