

УДК 621

Я.М. Бондарчук, Г.А. Петровська*

ТзОВ “Львів-Електроніка”,

*Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра лазерної техніки та оптоелектронних систем**ПРОЕКТУВАННЯ ОПТИЧНИХ РЕЗОНАТОРІВ
ПОТУЖНИХ НЕПЕРЕРВНИХ ЛАЗЕРІВ**

© Бондарчук Я.М., Петровська Г.А., 2002

Ja.M. Bondarshuk, G.A. Petrovska**DESIGNING OF OPTICAL RESONATORS
OF POWERFUL CONTINUOUS LASERS**

© Bondarshuk Ja.M., Petrovska G.A., 2002

Запропоновано метод оптимізації конструктивних параметрів оптичних резонаторів потужних лазерів з врахуванням теплових деформацій дзеркал, які виникають внаслідок поглинання частини потужного лазерного випромінювання тонкоплівковим покриттям. Скоректовані радіуси кривизни робочих поверхонь дзеркал для промислових іонних лазерів із дзеркалами з типовим рівнем поглинання.

The method of optimization of design data of optical resonators of powerful lasers is offered in view of thermal deformations of mirrors, which arise owing to absorption of a part of powerful laser radiation is thin-film by a covering. Is corrected radiuses of curvature of mirrors for industrial of ion lasers from mirrors with a typical level of absorption.

Вступ. Просторові і часові характеристики вихідного випромінювання газових лазерів є основними параметрами, що визначають міру придатності даного типу лазерів для їх використання у метрології. Модовий склад вихідного випромінювання, діаметр і розбіжність лазерного пучка залежать від основних конструктивних параметрів оптичних резонаторів. До них належать відстань між дзеркалами, радіуси кривизни робочих поверхонь дзеркал та діаметри діафрагм у площинах дзеркал. При проектуванні оптичних резонаторів лазерів з заданою каустикою, як правило, користуються інтегральними рівняннями, що зв'язують між собою структури електромагнітних полів на дзеркалах резонатора [1]. Розглядувані під час проектування конструктивні параметри резонаторів не передбачають наявності в них збуджуючих факторів. Однак в умовах реальної експлуатації оптичних резонаторів, особливо в потужних лазерах, деякі їх характеристики є залежними від рівня потужності в резонаторі. Так, при наявності поглинання у резонаторних дзеркалах відбувається їх локальний розігрів та термодформації, що приводить до зміни геометрії резонатора і, як наслідок, до зміни його стійкості та рівня дифракційних втрат у ньому.

Отже, для досягнення максимальної потужності вихідного випромінювання потужних лазерів при їх конструюванні необхідно оптимізувати геометрію їх резонаторів з врахуванням можливих теплових деформацій дзеркал.

Оптимізація оптичних резонаторів потужних лазерів. Підтвердженням того, що геометрія резонатора в умовах генерації порушується, є часові зміни енергетичних і просторових характеристик випромінювання в початковий момент після увімкнення потужного лазера. На рис. 1 зображена часова залежність потужності вихідного випромінювання лазера типу ЛГН-502. Як видно з графіка, помітним є падіння вихідної потужності вже на перших секундах генерації.

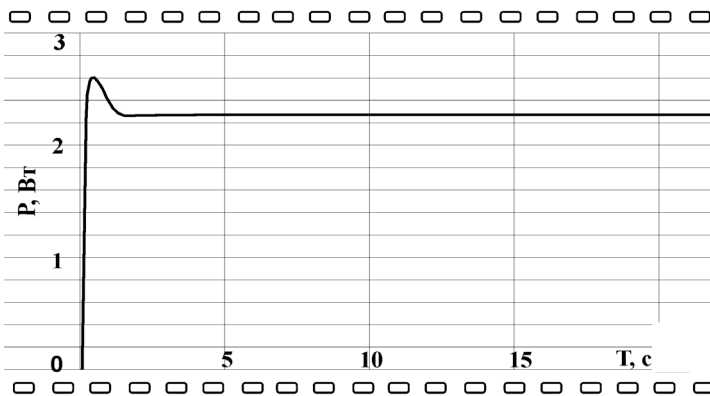


Рис. 1. Часова залежність вихідної потужності лазера типу ЛГН-502 в момент включення генерації (активний елемент з внутрішніми дзеркалами)

Такий характер динаміки вихідної потужності, на наш погляд, пояснюється зміною під час генерації стійкості резонатора і рівня дифракційних втрат у ньому. Забезпечити оптимальні умови генерації потужного лазера можна, якщо геометрія його резонатора буде оптимальною саме при наявності в ньому таких збуджуючих факторів.

З метою оптимізації геометрії резонаторів потужних лазерів і усунення втрат потужності на основній моді проведено дослідження причин, що викликають таке падіння вихідної потужності лазерів. Дослідження величини і характеру термонаведених поверхневих деформацій резонаторних дзеркал проводилось з використанням інтерферометричного методу (рис. 2, де 1 – досліджуване резонаторне дзеркало, 2,3 – дзеркала інтерферометра, 4 – шторка, 5 – поворотне дзеркало, 6, 7 – оптична розв'язка, 8 – гелій-неоновий лазер, 9 – активний елемент аргонного лазера, 10 – світлоподільний кубик, 11 – інтерферограма поверхні резонаторного дзеркала при наявності генерації аргонного лазера) [2].

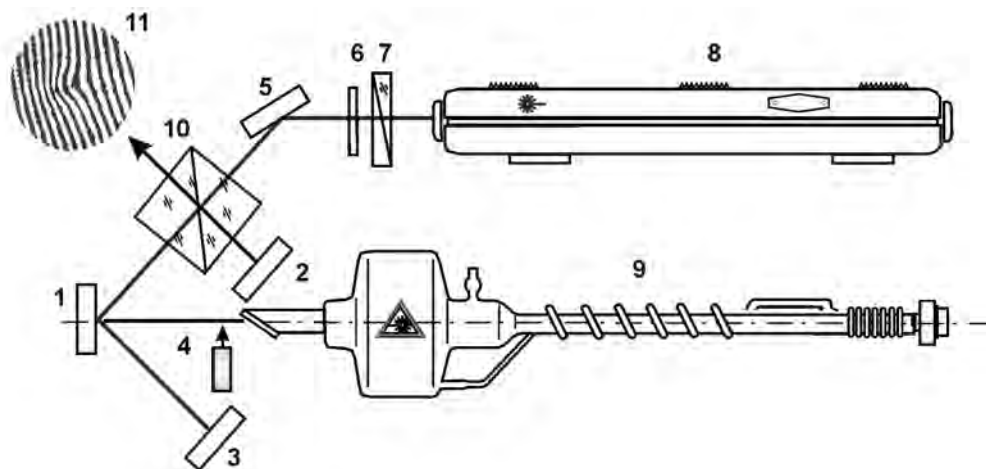


Рис. 2. Оптична схема на базі інтерферометра Майкельсона для дослідження поверхневих деформацій резонаторних дзеркал

Встановлено, що в більшості типів потужних газових лазерів за рахунок поглинання частини внутрішньорезонаторного випромінювання виникає термопружна деформація робочих поверхонь дзеркал.

Зміна геометрії поверхонь підкладок дзеркал в результаті термоефектів оцінювалась за профілями інтерференційних смуг. З достатньою точністю (до 15 %) можна вважати, що у випадку підкладок дзеркал із кварцевого скла, що характеризується низькими ТКЛР та коефіцієнтом теплопровідності, термонаведена додаткова поверхня має діаметр близький до діаметра лазерного променя, а за формою близька до сферичної.

Для випадку основної моди величина поверхневої деформації дзеркала в центрі падіння пучка b_0 отримується з розв'язку рівняння теплопровідності і з точністю до 20 % і може бути визначена з виразу [3, 4]:

$$b_0 = \frac{0.5\alpha(1+\nu)AW}{k}, \quad (1)$$

де α – коефіцієнт температурного розширення матеріалу підкладки дзеркала; ν – коефіцієнт Пуассона; A – коефіцієнт поглинання дзеркала; W – потужність випромінювання всередині резонатора; k – коефіцієнт теплопровідності підкладки.

Як видно з цього виразу, величина поверхневої деформації залежить від коефіцієнта поглинання дзеркала та фізичних характеристик матеріалу підкладки. У випадку високо-відбиваючих інтерференційних дзеркал основним джерелом поглинання є поглинання у тонкоплівковому покритті.

Таким чином, при наявності поверхневої термодформації результуючий радіус кривизни робочої поверхні R^* нагрітого дзеркала (рис. 3) можна визначити з виразу:

$$\frac{1}{R^*} = \frac{1}{R} + \frac{b_0}{r^2}, \quad (2)$$

де R – радіус кривизни робочої поверхні холодного дзеркала; $2r$ – діаметр лазерного променя в площині дзеркала.

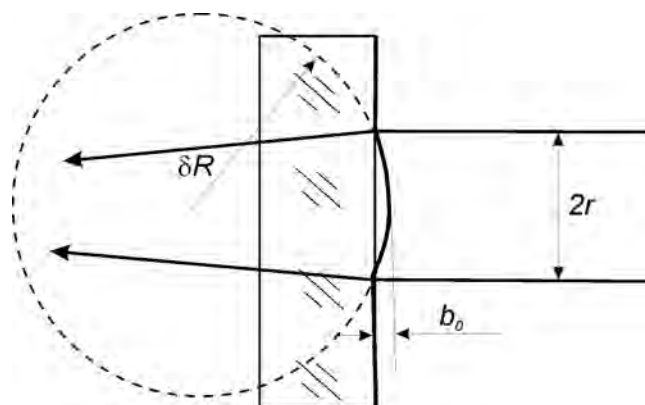


Рис. 3. Пояснення до розрахунків термопружної деформації поверхні підкладки дзеркала потужного лазера

Якщо припустити, що єдиним джерелом поглинання в інтерференційних дзеркалах оптичних резонаторів лазерів видимого діапазону є природна складова поглинання плівкоутворюючих матеріалів, то можна вирахувати спектри поглинання дзеркал для заданих

інтерференційних структур (рис. 4). За величиною поглинання дзеркала на робочій довжині хвилі можна визначити величину його поверхневої деформації при заданій внутрішньо-резонаторній потужності, а далі – такі радіуси кривизни робочих поверхонь дзеркал, які забезпечують оптимальну каустику резонатора в умовах потужної генерації.

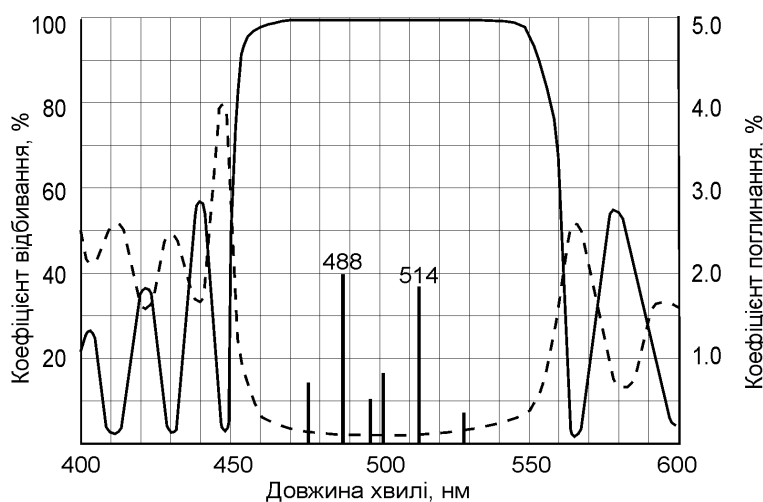


Рис. 4. Типовий спектр відбивання і поглинання 27-ми шарового інтерференційного дзеркала з матеріалів ZrO_2-SiO_2 , що осаджені на підкладку з оптичного кварцового скла

У таблиці наведені результати таких розрахунків для різних типів промислових аргонних лазерів, в яких використовуються дзеркала, що виготовлені методом вакуумного напилення парів матеріалів $ZnS-MgF_2$ і ZrO_2-SiO_2 на підкладки з оптичного кварцового скла.

Результати розрахунків скоректованих радіусів кривизни підкладок кварцових дзеркал моделей аргонних лазерів

Модель лазера	Вихідна потужність W, Вт	Радіуси кривизни робочих поверхонь дзеркал, м		Матеріали покриттів	Скоректовані радіуси кривизни робочих поверхонь дзеркал, м	
		вихідне	“глухе”		вихідне	“глухе”
ЛГН-502	2	∞	5	$ZnS-MgF_2$ ZrO_2-SiO_2	10,0	3,2
					30,0	4,3
ЛГН-402	4	∞	2	$ZnS-MgF_2$ ZrO_2-SiO_2	10,0	1,6
					20,0	1,9
ЛГН-406	5	1.5	1.5	$ZnS-MgF_2$ ZrO_2-SiO_2	1,3	1,3
					1,42	1,42

Виготовлені згідно з даними таблиці інтерференційні дзеркала аргонних лазерів дозволили за рахунок оптимізації геометрії резонаторів підвищити рівень потужності вихідного випромінювання в середньому на 15–20 %, а в лазерах, що працюють на основній моді (TEM_{00}), досягнути стабільно високих значень часової і просторової когерентності лазерного випромінювання.

Висновки. Отже, запропоновано метод оптимізації конструктивних параметрів оптичних резонаторів потужних лазерів з врахуванням теплових деформацій дзеркал, які виникають у реальних умовах їх роботи. Скоректовані радіуси кривизни робочих поверхонь дзеркал для промислових іонних лазерів із дзеркалами з типовим рівнем поглинання. Використання оптимізованих резонаторів дозволило підвищити рівень потужності вихідного випромінювання таких лазерів в середньому на 15–20 % та досягнути стабільних просторових та часових параметрів випромінювання.

1. *Справочник по лазерам / Под ред. акад. А.М. Прохорова. – М., 1987.*
2. *Бондарчук Я.М., Грачов В.Л., Мартыневич Г.А., Попов В.А., Шкляр Б.М. // Тез. докл. конф. Сер.2, Лазерная техника и оптоэлектроника. – 1986. – 4/238/. – С. 37–38.*
3. *Бельтюгов В.Н., Суханов И.И., Троицкий Ю.В. // Квантовая электроника. – 1975. – 2. – С. 380–389.*
4. *Petrovska G.A., Bobitski Y.V. // Proceeding of SPIE. – 2000. – 4316. – P. 92–94.*

УДК 538

З.Ю. Готра, Б. Віш*, В. Сабат*

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електронних приладів,

*Жешівська політехніка, Польща, кафедра електронних систем

ЄМНІСНІ ЗВ'ЯЗКИ В ПАРАЛЕЛЬНИХ ПРОВІДНИКАХ ПЛІВКОВИХ МІКРОСХЕМ

© Готра З.Ю., Віш Б., Сабат В., 2002

Z.Yu. Hotra, B. Wisz, W. Sabat

COUPLING CAPACITIES OF PARALLEL CONDUCTING PATH IN FILM MICROCIRCUIT

© Hotra Z.Yu., Wisz B., Sabat W., 2002

Наведено результати теоретичного аналізу ємнісних зв'язків для системи провідного шару в гібридній мікросхемі. Розглянуто варіант, в якому два паралельні провідні канали різної ширини розташовані з одного боку діелектричної підкладки безмежної довжини. Розв'язується задача, яка спрощена до розв'язання одновимірної крайової задачі. Отримана система рівнянь, яка описує розподіл електричного заряду, розв'язується чисельними методами. З отриманих результатів розраховуються ємнісні зв'язки.

Results of theoretical analysis of capacitive couplings for the conductive layer system in a hybrid microcircuit have been presented. In the considered case two parallel conductive paths of different width are located on the same side of dielectric substrate of infinite extension. The solution for capacity determination is here reduced