

07

© 1992

ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ЛАЗЕРНОГО РЕЗОНАТОРА С ТРЕМЯ АКТИВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Х.С. Багдасаров, Т.Г. Лалаева,
Е.М. Уюкин

Один из путей повышения мощности излучения твердотельных технологических лазеров, предназначенных для нужд машиностроения, заключается в использовании нескольких активных элементов (АЭ), последовательно расположенных в общем резонаторе. Однако под действием оптической накачки в АЭ твердотельных лазеров возникают тепловые линзы, параметры которых зависят от мощности накачки [1, 2]. В частности, в АЭ из $YAG : Nd$ фокусное расстояние тепловой линзы при больших мощностях накачки становится сравнимым с длиной АЭ [3]. Кроме того, в кристаллах $YAG : Nd$ обнаружено и фотоиндуцированное изменение показателя преломления в процессе накачки [4], механизм которого пока не выяснен. Наведенные тепловые линзы АЭ изменяют характеристики оптического резонатора и приводят к сложной зависимости мощности лазерного излучения от положения АЭ в резонаторе. Возникает проблема согласования геометрических параметров резонатора и параметров тепловых линз АЭ. Для резонаторов с двумя АЭ такая задача рассматривалась в работах [5, 6].

Цель настоящей работы — показать, как влияет выбор геометрических параметров на устойчивость резонатора с тремя АЭ (цилиндрической формы). Для этого были использованы методы исследования резонаторов, развитые в [7, 8]. Схема резонатора приведена на рис. 1. В рассматриваемой модели все три АЭ предполагаются одинаковыми. Если неоднородность показателя преломления АЭ, возникающая из-за нагрева АЭ излучением накачки, задается выражением

$$n(r) = n_0 \left(1 - 2 \frac{r^2}{b^2} \right), \quad (1)$$

где n_0 — показатель преломления на оси АЭ, r — расстояние до оси, b — коэффициент, зависящий от мощности накачки, то одному АЭ длиной l соответствует лучевая матрица M_1 [7]:

$$M_1 = \begin{pmatrix} \cos 2 \frac{l}{b} & \frac{b}{2n_0} \sin 2 \frac{l}{b} \\ -2 \frac{n_0}{b} \sin 2 \frac{l}{b} & \cos 2 \frac{l}{b} \end{pmatrix}. \quad (2)$$

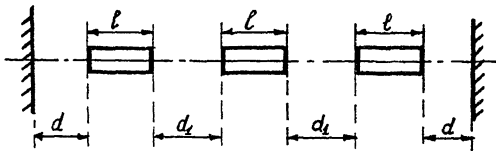


Рис. 1. Схема резонатора с плоскими зеркалами и тремя активными элементами.

Тепловая линза такого АЭ характеризуется фокусным расстоянием f и положением главных плоскостей h , причем [8]:

$$\frac{1}{f} = 2 \frac{n_0}{b} \sin 2 \frac{\angle}{b}; \quad h = \frac{b}{2n_0} \operatorname{tg} \frac{\angle}{b}. \quad (3)$$

Зная M_1 , можно рассчитать лучевую матрицу

$$M = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}, \quad (4)$$

соответствующую одному проходу между зеркалами резонатора. Для элементов матрицы M были получены следующие выражения:

$$A = D = 1 - \left(3 - \frac{L_1}{f}\right) \left(L_1 + L_2 - \frac{L_1 L_2}{f}\right) \frac{1}{f}, \quad (5)$$

$$B = \left(L_1 + L_2 - \frac{L_1 L_2}{f}\right) \left[\left(1 - \frac{L_2}{f}\right) \left(3 - \frac{L_1}{f}\right) - 1\right], \quad (6)$$

$$C = -\left(1 - \frac{L_1}{f}\right) \left(3 - \frac{L_1}{f}\right) \frac{1}{f}, \quad (7)$$

где введены эффективные длины $L_1 = d_1 + 2h$ и $L_2 = d + h$, а геометрические параметры d и d_1 резонатора обозначены на рис. 1. В соответствии с [7, 8] условие устойчивости рассматриваемого резонатора может быть записано в виде:

$$-1 < A < 1, \quad (8)$$

откуда с учетом (5) следует:

$$0 < \left(3 - \frac{L_1}{f}\right) \left(L_1 + L_2 - \frac{L_1 L_2}{f}\right) \frac{1}{f} < 2. \quad (9)$$

Если известны характеристики L и n_0 для АЭ, то при заданной мощности накачки (т.е. при заданных параметрах f и

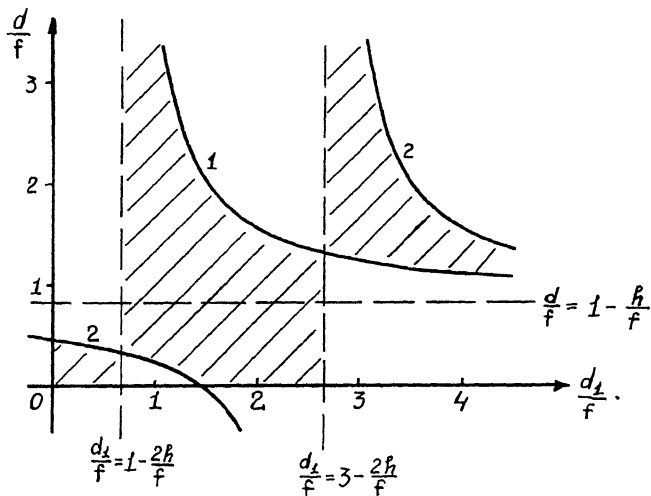


Рис. 2. Области устойчивости (заштрихованы) резонатора с тремя

активными элементами. Уравнение кривой 1: $\frac{d}{f} = \frac{d_1 + 2h}{d_1 + 2h - f} - \frac{h}{f}$;
уравнение кривой 2: $\frac{d}{f} = \frac{d_1 + 2h - 2f}{d_1 + 2h - 3f} - \frac{h}{f}$.

h тепловой линзы) и при варьируемых геометрических параметрах d и d_1 , условие (9) представляет собой систему двух неравенств относительно двух безразмерных переменных d/f и d_1/f . Решение этой системы (для $f > 2h > 0$) представлено в графической форме на рис. 2. Полученные результаты наглядно показывают, какими должны быть области изменения геометрических параметров d_1 и d , чтобы при заданных значениях f и h не нарушалось условие устойчивости резонатора.

Рассмотрим теперь резонатор с фиксированными геометрическими параметрами d_1 и d при изменении мощности накачки. В приближении $l/b \ll 1$ из (3) следует $h \approx l/rn_0$, т. е. параметр h , а вместе с ним и эффективные длины L_1 и L_2 не зависят от мощности накачки. В этом случае условие (9) определяет области значений оптической силы $1/f$ тепловой линзы, соответствующие устойчивому резонатору. Удобно вместо $1/f$ ввести безразмерную переменную $x = L_1/f$. Тогда критические значения x , отвечающие границам областей устойчивости, определяются (для $x > 0$) из уравнений

$$(3-x)(1+\alpha-\alpha x)=0; \quad x(3-x)(1+\alpha-\alpha x)=2, \quad (10)$$

где постоянная $\alpha = L_2/L_1$. Решения уравнений (10) дают следующие критические значения x :

$$x = \frac{1}{2\alpha} \left(1 + 3\alpha - \sqrt{1 - 2\alpha + 9\alpha^2} \right) \equiv x_1, \quad (11)$$

$$x = \frac{1}{2\alpha} \left(1 + 3\alpha + \sqrt{1 - 2\alpha + 9\alpha^2} \right) \equiv x_2, \quad (12)$$

а также $x=1$, $x=3$ и $x=(1+\alpha)/\alpha \equiv x_3$.

Если $2\alpha < 1$, то можно показать, что $1 < x_1 < 3 < x_3 < x_2$. При этом резонатор устойчив в областях:

$$0 < x < 1; \quad x_1 < x < 3; \quad x_3 < x < x_2. \quad (13)$$

Если $2\alpha > 1$, то $0 < x_1 < 1 < x_3 < 3 < x_2$. В этом случае устойчивому резонатору соответствуют области:

$$0 < x < x_1; \quad 1 < x < x_3; \quad 3 < x < x_2. \quad (14)$$

Таким образом, рассматриваемый резонатор с тремя АЭ имеет три области устойчивости, ширина и расположение которых зависят от величины α , т.е. от выбранной геометрии резонатора. В частном случае $2\alpha=1$, который соответствует условию $d_1=2d_2$; вместо трех областей устойчивости образуется одна, для которой $0 < x < 4$.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] F o s t e r J.D., O s t e r i n k L.M. // J. Appl. Phys. 1970. V. 41. N 9. P. 3656-3663.
- [2] К о е с h n e r W. // Appl. Optics. 1970. V. 9. P. 2548-2553.
- [3] J a n k i e w i c z Z., M i n d a k M., S z y d l a k J., W o j s i k J. // Optica Applicata. 1985. V. 15. N 2. P. 125-133.
- [4] Багдасаров Х.С., Гильварг А.Б., Карягин В.Ф., Мунчаев А.И., Уюкин Е.М., Федоров Е.А. // Квантовая электроника. 1988. Т. 15. В. 9. С. 1879-1880.
- [5] Кушнир В.Р., Немков А.Н., Шкунов Н.В. // Квантовая электроника. 1975. Т. 2. В. 6. С. 1312-1314.

- [6] D r i e d g e r K.P., I f f l ä n d e r R.M.,
W e b e r H. // IEEE J. Quant. Electron.
1988. V. 24. N 4. P. 665-673.
- [7] К о г е л н и к Н., L i T. // Appl. Optics.
1966. V. 5. N 10. P. 1550-1567.
- [8] К о г е л н и к Н. // Bell Syst. Techn. J. 1965.
V. 44. P. 455-494.

Институт
кристаллографии РАН,
Москва

Поступило в Редакцию
23 июня 1992 г.