

ЛИТЕРАТУРА

1. Чернов Е. И. Метод определения оптимальных параметров систем фотометрирования // *Опт.-мех. пром-сть.*— 1984.— № 3.
2. Гришин М. П., Курбанов Ш. М., Чернов Е. И. Система автоматического фотометрирования полутонных изображений на основе лавинного фотодиода с операционным усилителем // *Автометрия.*— 1982.— № 4.
3. Берлизова О. М., Никонов Б. С., Трищенко М. А. Особенности работы лавинного фотодиода с операционным усилителем // *Опт.-мех. пром-сть.*— 1977.— № 8.

Поступило в редакцию 26 июля 1985 г.

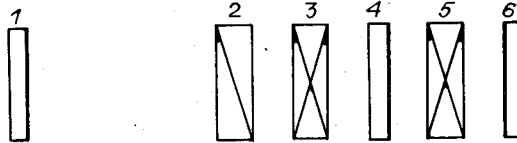
УДК 535.854

А. М. БЕЛКИН, М. И. ЗАХАРОВ
(Новосибирск)

О СЕЛЕКТИВНЫХ СВОЙСТВАХ АНИЗОТРОПНОГО ТРЕХЗЕРКАЛЬНОГО ЛАЗЕРНОГО РЕЗОНАТОРА

Перспективными устройствами для селекции частот в лазерах являются оптические резонаторы с анизотропными элементами [1—4]. Им свойственны низкие неселективные потери и высокая лучевая стойкость.

В работах [3, 4] рассматривались селективные свойства трехзеркального лазерного резонатора с двумя фазовыми пластинами и частичным поляризатором. Схема устройства приведена на рисунке. Резонатор состоит из последовательно расположенных зеркала 1, линейного поляризатора 2, линейной фазовой пластины 3, зеркала 4, линейной фазовой пластины 5 и зеркала 6. Рабочие поверхности фазовых пластин и вторая поверхность подложки зеркала просветлены. Угол между оптическими осями линейных фазовых пластин 3 и 5 равен β . Минимальный и максимальный энергетические коэффициенты пропускания поляризатора равны P_x и P_y соответственно. Было показано, что эффективная частотная селекция имеет место для вариантов устройства, в которых линейная фазовая пластина 3 четвертьволновая, причем ее оптическая ось ориентирована под углом 45° по отношению к осям поляризатора, а фазовый сдвиг между обыкновенной и необыкновенной волнами, вносимый линейной фазовой пластиной 5 за один проход, равен либо $\pi/2$, либо $\arcsin(1 - R_1)/(1 + R_1)$, где R_1 — энергетический коэффициент отражения среднего зеркала 4.



Анализ влияния на селективные свойства резонатора его параметров в [3] проводился для единственного значения параметра β , а именно $\beta = \pi/4$. В работе [4] анализ ограничен значениями параметра P_x , близкими к нулю.

В настоящей работе рассмотрено влияние параметра β на селективные свойства резонатора, значение параметра P_x которого существенно отличается от нуля. Показано, что характеристики такого резонатора существенно зависят от значения параметра β .

При расчете характеристик полагалось, что обе линейные фазовые пластины четвертьволновые, причем оптическая ось пластины 3 ориентирована под углом 45° по отношению к осям поляризатора, а коэффициенты отражения концевых зеркал 1 и 6 равны единице. (Очевидно, что влияние значения коэффициента отражения выходного зеркала 1 на потери мод резонатора может быть учтено тривиальным образом.) Кроме того, полагалось, что максимальный энергетический коэффициент пропускания поляризатора P_y равен единице. Расчет проводился в приближении плоских волн с использованием матричного метода Джонса [5].

С учетом сделанных предположений матрица Джонса резонатора запишется в следующем виде:

$$M = \frac{\exp(i2\nu L)}{1 + R_1 \exp(i4\nu L_1)} \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где ν — волновое число; L — полная оптическая длина резонатора; L_1 — оптическая длина отрезка между зеркалами 4 и 6;

$$m_{11} = P_x(1 - R_1)\exp(i2\beta); \quad (2)$$

$$m_{12} = m_{21} = 2i\sqrt{P_x}\sqrt{R_1} \cos(2\nu L_1); \quad (3)$$

$$m_{22} = (1 - R_1)\exp(-i2\beta). \quad (4)$$

Результаты расчета селективных потерь в анизотропном трехзеркальном резонаторе

β	P_x	Потери в соседней моде, %	Максимальные потери, %	β	P_x	Потери в соседней моде, %	Максимальные потери, %
$0, \frac{\pi}{2}$	0,726	27,4	27,4	$\frac{\pi}{6}, \frac{\pi}{3}$	0,726	2,2	11,7
	0,527	47,3	47,3		0,527	4,1	21,7
	0,383	24,8	61,7		0,383	5,8	30,0
	0	10,4	56,0		0	10,4	56,0
$\frac{\pi}{12}, \frac{5\pi}{12}$	0,726	5,2	17,3	$\frac{\pi}{4}$	0,726	1,7	10,2
	0,527	8,9	31,0		0,527	3,3	19,1
	0,383	10,9	41,6		0,383	4,7	26,7
	0	10,4	56,0		0	10,4	56,0

Собственные значения матрицы (1) имеют вид

$$\lambda_{1,2} = 0,5 \frac{\exp(i2\nu L)}{1 + R_1 \exp(i4\nu L_1)} \left\{ (1 - R_1) [P_x \exp(i2\beta) + \exp(-i2\beta)] \pm \sqrt{(1 - R_1)^2 [P_x \exp(i2\beta) - \exp(-i2\beta)]^2 - 16 P_x R_1 \cos^2(2\nu L_1)} \right\}. \quad (5)$$

Частоты продольных мод резонатора находятся из условия баланса фаз

$$\arg \lambda_{1,2} = 2\pi q, \quad (6)$$

где q — целое число. Энергетические потери мод определяются обычным образом:

$$V = 1 - |\lambda_{1,2}|^2. \quad (7)$$

Рассматривался резонатор, полная оптическая длина которого составляла 1 м, а оптическая длина отрезка L_1 между зеркалами 4 и 6 — 0,05 м. Энергетический коэффициент отражения R_1 среднего зеркала 4 выбирался равным 0,2. При различных значениях параметров β и P_x на основе численных методов рассчитывались собственные частоты и потери мод резонатора при настройке, соответствующей минимуму потерь в выделяемой моде.

Селективные свойства резонатора наиболее кратко можно охарактеризовать, указывая, во-первых, потери в моде, соседней с выделяемой, а во-вторых, максимальные потери, влияющие на степень подавления мод, далеко отстоящих от выделяемой. Результаты расчетов при различных сочетаниях параметров β и P_x приведены в таблице. Параметр P_x принимает значения, равные 0,726, 0,527 и 0,383 в вариантах, в которых поляризатор выполнен соответственно в виде одной, двух и трех установленных под углом Брюстера пластин с показателем преломления, равным 1,5. Расчет собственных частот резонатора показал, что величина частотного интервала между выделяемой и соседней модами слабо зависит от β и P_x . Таким образом, потери в соседней моде, приведенные в таблице, соответствуют практически одной и той же расстройке по частоте от максимума амплитудно-частотной характеристики.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

- 1) сочетание значения параметра β , равного нулю, с близким к нулю значением параметра P_x [4] не обеспечивает наилучших избирательных свойств резонатора;
- 2) существуют наилучшие для целей частотной селекции сочетания параметров β и P_x , при которых значение β равно нулю или $\pi/2$, а значение P_x существенно отличается от нуля;
- 3) вариант резонатора, значение параметра P_x которого существенно отличается от нуля, может обладать по сравнению с вариантом резонатора, для которого P_x близко к нулю, более высокими потерями в моде, соседней с выделяемой, и более высокими максимальными потерями (степенью подавления далеко отстоящих мод);
- 4) немонотонный характер зависимости от параметра P_x потерь в соседней моде и максимальных потерь при значениях β , близких к нулю или $\pi/2$, наводит на мысль о возможности оптимизации селективных свойств резонатора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чекалинская Ю. И., Леднева Г. П., Чеченина Е. П. Частотно-поляризационные характеристики сложных резонаторов и оптических квантовых усилителей // Квантовая электроника и лазерная спектроскопия/Под ред. Б. И. Степанова и А. М. Самсона. Минск: ИФ АН БССР, 1971.
2. Новиков М. А., Тертышник А. Д. Оптические резонаторы с анизотропными элементами // Изв. вузов. Радиофизика. — 1976. — Т. 19, № 3.
3. Захаров М. И., Прилепских В. Д. Характеристики анизотропного трехзеркального лазерного резонатора. — Новосибирск, 1984. — Рукопись деп. в ВИНТИ, № 7036.

4. Захаров М. И., Прилепских В. Д. Частотная селекция в лазерах при помощи анизотропного отражающего интерферометра.— Новосибирск, 1984.— Рукопись деп. в ВИНТИ, № 6435.
5. Молчанов В. Я., Скроцкий Г. В. Матричный метод вычисления собственных состояний поляризации анизотропных оптических резонаторов // Квантовая электрон.— 1971.— № 4.

Поступило в редакцию 16 мая 1986 г.

УДК 681.385/621.372.5/681.3.01

М. Н. ГОЛУБКОВА, Е. Ф. ОЧИН
(Ленинград)

АМПЛИТУДНЫЙ СИНТЕЗ КОМПЛЕКСНЫХ
ПРОСТРАНСТВЕННО-ЧАСТОТНЫХ ФИЛЬТРОВ
С ДВУМЯ ИМПУЛЬСНЫМИ ОТКЛИКАМИ

Передачная функция комплексного пространственно-частотного фильтра для когерентного оптического процессора в общем виде может быть записана следующим образом:

$$H(\xi, \eta) = a(\xi, \eta) \exp[-i\varphi(\xi, \eta)], \quad (1)$$

где ξ и η — пространственно-частотные координаты; a и φ — передачные амплитудная и фазовая функции.

При синтезе фильтра на ЭВМ функция (1) подвергается дискретизации и ступенчатой аппроксимации:

$$H(\xi, \eta) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N H_{mn} \operatorname{rect} \left[\frac{\xi - \Delta\xi \left(m - \frac{M+1}{2} \right)}{\Delta\xi} \right] \operatorname{rect} \left[\frac{\eta - \Delta\eta \left(n - \frac{N+1}{2} \right)}{\Delta\eta} \right].$$

Здесь $H_{mn} = a_{mn} \exp(-i\varphi_{mn}) = a(m\Delta\xi, n\Delta\eta) \exp[-i\varphi(m\Delta\xi, n\Delta\eta)]$; $\Delta\xi, \Delta\eta$ — шаги дискретизации, выбранные в соответствии с теоремой отсчетов; $M = \xi_{\max}/\Delta\xi + 1$, $N = \eta_{\max}/\Delta\eta + 1$; $[-\xi_{\max}, \xi_{\max}]$, $[-\eta_{\max}, \eta_{\max}]$ — пространственно-частотная полоса пропускания процессора.

Рассмотрим синтез каждого комплексного отсчета фильтра

$$H_{mn} = a_{mn} \exp(-i\varphi_{mn}) = A_{mn} + iB_{mn},$$

записанного в алгебраической форме с помощью метода, предложенного Ли [1]. Синтезированный фильтр представляет собой матрицу ячеек, каждая из которых состоит из четырех щелей

$$H(\xi, \eta) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^4 t_{mnk} \operatorname{rect} \left[\frac{\xi - \Delta\xi \left(m - \frac{M+1}{2} + \frac{k-1,5}{4} \right)}{\Delta\xi/4} \right] \times \\ \times \operatorname{rect} \left[\frac{\eta - \Delta\eta \left(n - \frac{N+1}{2} \right)}{\Delta\eta} \right],$$

удовлетворяющих системе уравнений

$$\left. \begin{aligned} A_{mn} &= t_{mn1} - t_{mn3}; \\ B_{mn} &= t_{mn2} - t_{mn4}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

с учетом ограничений

$$0 \leq t_{mnk} \leq 1, \quad k = \overline{(1, 4)}. \quad (3)$$

При таком кодировании предполагается, что импульсный отклик фильтра находится в порядках дифракции $(\pm 1, 0)$, следовательно, шаг фазового кодирования составляет $\pi/2$ на одну щель ячейки и 2π на всю ячейку в направлении оси ξ .

Предлагаемый метод синтеза фильтра заключается в следующем. Пусть синтезированный фильтр представляет собой матрицу ячеек, каждая из которых состоит