

АСТИГМАТИЧЕСКИЙ ТЕЛЕСКОП ДЛЯ ЛАЗЕРОВ С КОЛЬЦЕВЫМ СЕЧЕНИЕМ АКТИВНОЙ СРЕДЫ

АНАНЬЕВ Ю.А., АНИКИЧЕВ С.Г., СОЛОВЬЕВ В.Д.

Предложен новый тип астигматического телескопа для преобразования формы сечения и типа поляризации излучения лазеров с кольцевым сечением активной среды. Рассмотрены возможные применения телескопа внутри и вне резонатора.

1. ВВЕДЕНИЕ

Существование ряда перспективных методов возбуждения активной среды с кольцевой формой сечения требует создания специальных схем резонаторов, подчас включающих оптические элементы существенно новых типов.

Все такие схемы можно разделить на многопроходовые (один из их вариантов рассмотрен в [1]) и схемы с небольшим числом проходов. Преимущества и недостатки этих двух классов схем хорошо известны.

В многопроходовых схемах число Френеля мало, и одномодовый режим работы лазера должен был бы, казалось, достигаться автоматически, но существует высокая вероятность возбуждения "паразитных" каналов генерации из-за большой длины пути между выходным и оконечным зеркалами. По той же причине здесь обычно не может быть достигнута высокая энергетическая эффективность.

В однопроходовых схемах ситуация и с паразитными каналами генерации, и с энергетической эффективностью намного благоприятнее, однако чрезвычайно усложняется достижение одномодового режима работы лазера, то есть обеспечение малой угловой расходимости излучения. Причиной этого является характерное для таких схем большое число Френеля, что при

стандартных резонаторах легко приводит к независимой генерации на отдельных участках поперечного сечения.

Эта проблема обычно решается путем применения тех или иных схем с коническими элементами, наиболее популярной из которых является имеющая аббревиатурное наименование HSURIA [2]. Наличие конических элементов вызывает сложности и с юстировкой, и с обеспечением благоприятных поляризационных характеристик излучения (по этому поводу см. [3], разд. 5.4.4). В настоящей работе предлагаются альтернативные решения на основе некоего астигматического телескопа; какие при этом возникнут сложности и будут ли эти решения предпочтительнее, покажет лишь эксперимент.

2. АСТИГМАТИЧЕСКИЙ ТЕЛЕСКОП

Прежде всего сформулируем конечную цель работы. Она состоит в разработке оптической схемы резонатора с кольцевой средой, который бы

1. имел сплошное выходное сечение приемлемой формы (квадрат, круг) и обеспечивал низкую расходимость излучения (одномодовый или близкий к нему режим);
2. обеспечивал поляризационное согласование различных частей схемы без дорогих фазосдвигающих элементов;
3. имел единую оптическую ось в центре тяжести пучка (наличие "расщепления" оси подобно тому, что имеет место в схемах типа HSURIA, представляется нам принципиальным их дефектом).

Приступим теперь к описанию оптического устройства, позволяющего строить резонаторы, удовлетворяющие этим требованиям. Данное устройство представляет собой двухзеркальный телескоп, преобразующий форму сечения пучка из сектора кольца в прямоугольник с одновременным преобразованием радиальной либо тангенциальной поляризации в линейную.

Одно из зеркал этого телескопа имеет отражающую поверхность в форме сектора конуса с углом при вершине $\approx \pi/2$, отражающая поверхность второго является параболическим цилиндром, образующая которого параллельна оси конуса, а фокальная линия совпадает с этой осью.

Принцип действия телескопа таков. Поток излучения с поперечным сечением в виде сектора кольца (с углом охвата $< \pi$) и плоским волновым фронтом, попадая на конический отражатель, преобразуется в сходящийся к оси конуса пучок сплошного сечения с цилиндрическим волновым фронтом. Сходящийся цилиндрический пучок отражается затем от параболического цилиндра, фокальная линия которого совпадает с линией фокусировки, и преобразуется в пучок с плоским фронтом. Поперечное сечение выходящей из астигматического телескопа волны является в общем случае прямоугольным (чаще всего имеет смысл делать его квадратным). Нетрудно также убедиться в том, что если на вход телескопа поступает излучение с радиальной либо тангенциальной поляризацией, то выходящая из него волна поляризована линейно.

Рассмотрим теперь различные возможные модификации астигматического телескопа. Прежде всего заметим, что, как показано на рис. 1, а и рис. 1, б, параболическое зеркало может быть как выпуклым, так и вогнутым. Внутри телескопа рис. 1, б имеется зона, где излучение является сфокусированным, однако не в точку, как в обычном телескопе из сферических зеркал, а в линию. По этой причине наличие зоны фокусировки не является слишком опасным с точки зрения оптического пробоя активной среды.

Независимо от того, является ли параболическое зеркало выпуклым или вогнутым, угол при вершине конуса может быть как равен, так и несколько отличен от $\pi/2$. Рис. 1, а и 1, б относятся к случаям, когда этот угол несколько больше или несколько меньше $\pi/2$ соответственно. Видно, что вывод излучения из

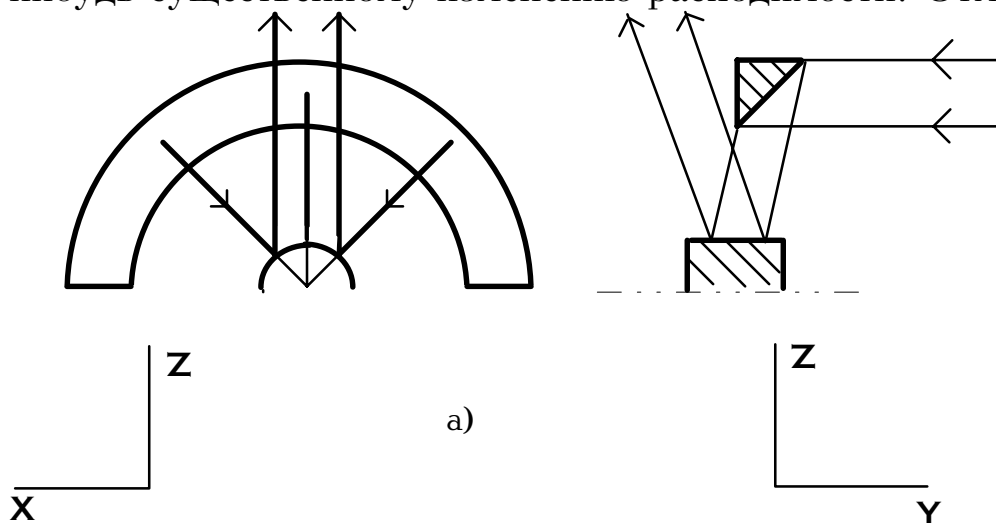
телескопа при этом более удобен, чем при равенстве угла $\pi/2$, когда пучок должен выводиться сбоку от сектора конуса или через отверстие в нем.

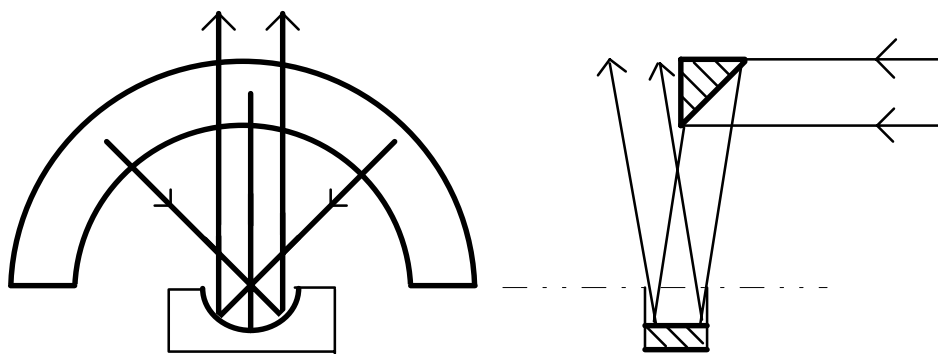
3. АБЕРРАЦИОННЫЙ РАСЧЕТ АСТИГМАТИЧЕСКОГО ТЕЛЕСКОПА

Для определения необходимой точности изготовления зеркал и допустимых ошибок сборки устройства мы выполнили в геометрическом приближении расчеты искажений волнового фронта на выходе из телескопа Рис.1, а при тех или иных несовершенствах устройства или неточностей его установки в оптической схеме. Не вдаваясь в подробности расчетов, приведем только основные результаты.

3.1 Идеальный телескоп.

При прохождении плоской волны через идеальный телескоп (рис. 1, а или 1, б) происходит частичное изменение распределения интенсивности: если на входе оно полностью равномерно, то на выходе по одной координате остается равномерным, а по второй же приобретает пологий максимум в центре. Как показано в [3], слабое перераспределение интенсивности не может привести к сколько-нибудь существенному изменению расходимости. Отметим, что





б)

Рис.1

форма выходного сечения во всех случаях остается прямоугольной.

3.2 Точность установки идеального телескопа.

При наклоне телескопа на дифракционный (для наибольшей апертуры телескопа) угол Θ в плоскости YZ (используется система координат, изображенная на рис. 1, а) пучок на выходе становится цилиндрически сходящимся или расходящимся в зависимости от знака поворота со стрелкой прогиба $< \lambda/2$. Эта стрелка прогиба соответствует радиусу кривизны $R \sim a^2 / \lambda$, где a - половина выходной апертуры. При наклоне телескопа на угол Θ в плоскости XZ волновой фронт приобретает общий наклон $\sim \lambda/a \equiv \Psi$, где Ψ - дифракционный угол для выходной апертуры; $\Psi = \Theta \cdot M$, где M - кратность телескопа в азимутальном направлении.

Таким образом, требуемая точность установки астигматического телескопа совпадает с таковой для обычного телескопа с кратностью M .

3.3 Точность сборки телескопа.

3.3.1 Относительное смещение параболоида и конического отражателя.

Для обеспечения дифракционной точности функционирования конфокальной системы необходимо пространственное совпадение "дифракционных точек" (в нашем случае линий фокусировки). Поскольку, как нетрудно видеть, размер дифракционной точки для конуса порядка λ , а для параболоида $\sim \lambda/2$, то необходимая точность совмещения фокальных линий для астигматического телескопа составляет величину $\sim \lambda/2$.

3.3.2 Разворот параболоида относительно конуса.

При относительном развороте конуса и параболоида на угол $\Psi = \Theta$. M величина деформаций фронта не превосходит λ .

Суммируя сказанное, заключаем, что для внутрирезонаторного использования астигматического телескопа необходимо удержание угловых разъюстировок на уровне дифракционных углов для соответствующих апертур, а величина смещения оси конуса и фокальной линии параболоида должна быть меньше $\lambda/2$.

4. ВОЗМОЖНЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ

4.1 В качестве внешнего устройства для лазеров с кольцевым сечением среды.

Если выходная апертура лазера является сектором кольца (с угловой шириной сектора $\leq \pi$), то предлагаемое устройство может быть применено во внешнем тракте для придания выходному пучку компактной формы и преобразования поляризации в линейную.

4.2 Для юстировки резонаторов

Указанное применение также очевидно: направляя пучок прямоугольного сечения в астигматический телескоп со стороны параболоида, получаем пучок с сечением в виде сектора кольца. Он может быть использован при юстировке резонаторов лазеров с кольцевым сечением среды.

4.3 Применение астигматического телескопа для построения резонаторов с большой эффективной длиной.

Один из возможных вариантов схемы резонатора с большой эффективной длиной на основе обсуждаемого элемента приведен на рис. 2. Здесь 1 - плоское (или торическое) концевое зеркало, имеющее сечение в виде 180-градусного сектора кольца, 2 - конический (или параболический) отражатель, 3 - астигматический телескоп, 4 - плоское поворотное зеркало, 5 - плоское (или вогнутое цилиндрическое) выходное полупрозрачное зеркало, 6 - активная среда.

Нетрудно видеть, что представленная схема является для азимутального направления схемой с большой эффективной длиной. В активной среде генерируемый пучок имеет форму сектора кольца,

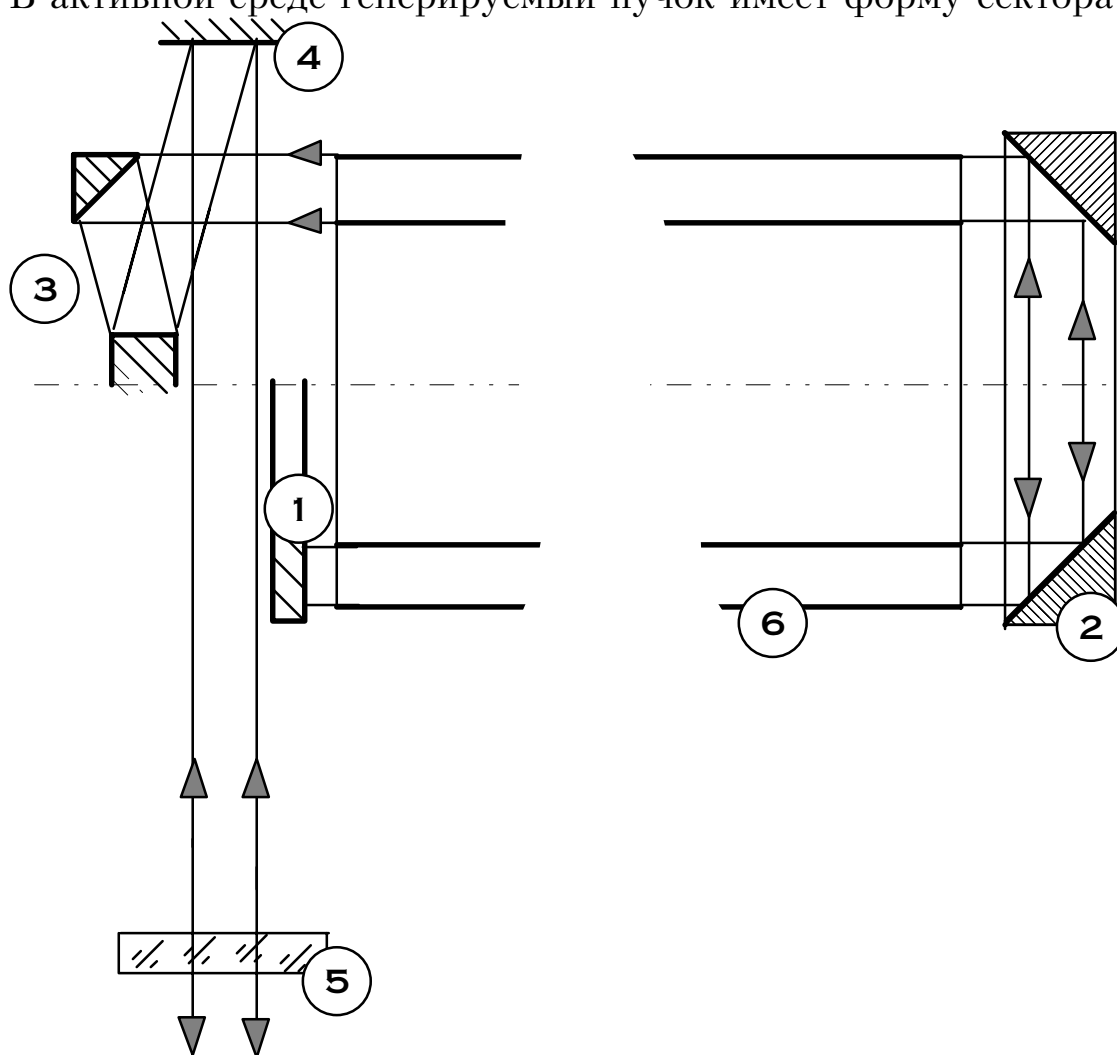


Рис. 2

внутри телескопа происходит его сжатие (с одновременным преобразованием формы сечения и типа поляризации), на отрезке между элементами 4 и 5 пучок имеет узкое (прямоугольное или квадратное) сечение.

Плечо резонатора между элементами 4 и 5 является угловым селектором. Ширина полосы пропускания этого селектора регулируется путем изменения его длины, что позволяет сравнительно легко производить экспериментальную оптимизацию параметров резонатора.

ЛИТЕРАТУРА

1. J.G. Xin and D.R. Hall, Appl. Phys. Lett. **51**, 469 (1987)
2. R.J. Freiberg, D.W. Fradin, P.P. Chenausky, Appl. Opt. **16**, 1192 (1977)
3. Yu.A. Anan'ev, Laser Resonators and the Beam Divergence Problem. - Adam Hilger (Bristol, Philadelphia and New York), 1992