

Расходимость и поляризация излучения широкоапертурного химического DF-лазера с неустойчивым резонатором

В.Я.Агроскин, Б.Г.Бравый, Г.К.Васильев, В.И.Гурьев, В.Г.Карельский, С.А.Каштанов, Е.Ф.Макаров, С.А.Сотниченко, Ю.А.Чернышев

Исследовано влияние плоскопараллельной пластины, расположенной внутри неустойчивого резонатора и перекрывающей все сечение пучка излучения, на поляризацию и расходимость излучения широкоапертурного DF-лазера в зависимости от угла наклона пластины к оси резонатора. Показано, что присутствие пластины внутри резонатора не сказывается на расходимости излучения и требует для сохранения конфокальности резонатора лишь соответствующего смещения выпуклого зеркала. Заметное изменение поляризации излучения наблюдается только при углах наклона пластины, больших 20° , а при углах наклона, больших 45° , излучение становится практически линейно поляризованным.

Ключевые слова: неустойчивый резонатор, поляризация излучения, расходимость, DF-лазер.

Как известно, неустойчивые резонаторы широко используются для получения пучков высокого качества в лазерах с активными средами большого объема [1, 2]. Интерес к применению неустойчивых резонаторов, в том числе и для химических лазеров, сохраняется до сих пор (см., напр., [3, 4]). Для решения ряда прикладных задач, кроме высоких требований к расходимости излучения, добавляется еще и необходимость получения его линейной поляризации. Авторы [5] предложили для этого несколько вариантов непростых схем. В работах [6, 7] внутри неустойчивого резонатора помещался, перекрывая все его сечение, диэлектрический пленочный поляризатор на тонкой подложке. Нашей задачей было исследование влияния «нетонкой» плоскопараллельной пластины, расположенной внутри неустойчивого резонатора и перекрывающей все сечение пучка излучения, на поляризацию излучения и его расходимость в зависимости от угла между поверхностью пластины и осью резонатора.

Эксперименты по измерению степени поляризации и расходимости излучения проводились на установке, оптическая схема которой приведена на рис.1. Источником излучения являлся импульсный химический лазер с фотоиницированием на цепной реакции $F_2 + D_2$. Спектральный диапазон излучения лазера составлял 3.7–4.2 мкм с максимумом в районе 3.9 мкм. Длина активной среды равнялась 80 см при световом диаметре 100 мм. Окна лазерной кюветы из CaF_2 располагались под углом 4° к оси резонатора и не влияли на поляризацию излучения. В лазере использовался неустойчивый резонатор, состоящий из выпуклого и вогнутого зеркал с коэффициентами от-

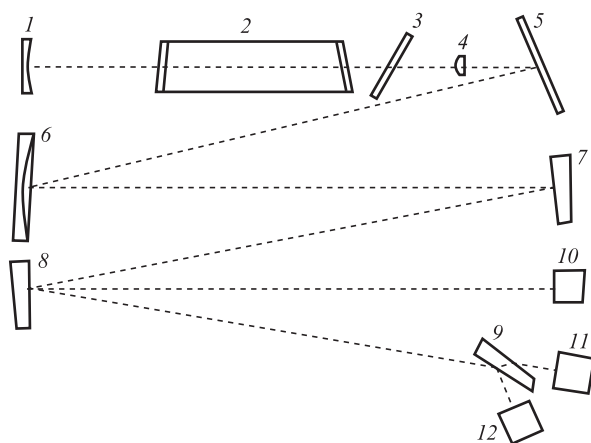


Рис.1. Схема установки для измерения степени поляризации и картины излучения в дальней зоне:

1 – вогнутое зеркало неустойчивого резонатора; 2 – лазерная кювета; 3 – съемная плоскопараллельная пластина из CaF_2 ; 4 – выпуклое зеркало; 5 – плоское зеркало; 6 – сферическое зеркало с $F=18$ м; 7–9 – клинья из CaF_2 ; 10 – матричный приемник Ругосам III; 11, 12 – пироэлектрические калориметры.

ражения, превышающими 99%, отношением фокусных расстояний, равным 3, и расстоянием между центрами отражающих поверхностей 246 см. Поперечное сечение пучка излучения лазера в ближней зоне представляло собой кольцо с диаметрами 33 и 100 мм. С помощью плоского зеркала 5 излучение лазера направлялось на сферическое зеркало 6 с фокусным расстоянием 18 м (угол падения менее 3°). Далее излучение ослаблялось почти на 3 порядка за счет отражений от клиньев 7 и 8 и направлялось для регистрации распределения интенсивности излучения в дальней зоне на матричный приемник 10 (Ругосам III), перед которым дополнительно устанавливались ослабляющие фильтры (ИКС-3 и ИКС-5). Углы падения излучения на клинья 7 и 8 были менее 3° для того, чтобы при отражении от них не искажались поляризационные характеристики излучения.

Для контроля поляризации использовалась часть излучения, отраженная от второй поверхности клина 8. Это

В.Я.Агроскин, Б.Г.Бравый, Г.К.Васильев, В.И.Гурьев, С.А.Каштанов, Е.Ф.Макаров, С.А.Сотниченко, Ю.А.Чернышев. Институт проблем химической физики РАН, Россия, 142432, Московская обл., Ногинский р-н, Черноголовка, просп. Акад. Семёнова, 1; e-mail: bgbrav@icp.ac.ru, makarov@icp.ac.ru, sasotnik@icp.ac.ru, chern@icp.ac.ru

В.Г.Карельский. АО «Научно-производственная корпорация «Системы прецизионного приборостроения», Россия, 111024 Москва, ул. Авиамоторная, 53

излучение направлялось на клин 9, установленный под углом Брюстера. Энергия E_1 прошедшего через клин излучения измерялась пироэлектрическим калориметром 11, а энергия E_2 отраженного от первой поверхности клина излучения – пироэлектрическим калориметром 12. Пусть полная энергия излучения перед клином 9 равна $E = E_s + E_p$, где E_s – излучение, поляризованное перпендикулярно плоскости падения; E_p – излучение, поляризованное в плоскости падения; $\eta = E_s/E$ – доля s-поляризованной компоненты в излучении. В этом случае получаем

$$\frac{\eta T_s + (1 - \eta) T_p}{\eta R_s + (1 - \eta) R_p} = \frac{E_1}{E_2},$$

где T_s и T_p – коэффициенты пропускания клина для s- и p-поляризованного излучения, а R_s и R_p – соответствующие коэффициенты отражения от передней поверхности клина. Коэффициенты пропускания и отражения вычислялись по формулам Френеля. Измерив энергии E_1 и E_2 , легко посчитать по приведенной формуле долю s-поляризованной компоненты излучения.

Измерения расходимости излучения проводились при наличии в резонаторе пластины 3, установленной под углом Брюстера к его оси, и в ее отсутствие. В первом случае выпуклое зеркало резонатора для сохранения юстировки нужно было отодвинуть (увеличить базу резонатора) на 8 мм и сдвинуть по горизонтали на 7.5 мм. В обоих случаях были получены практически неразличимые картины распределения плотности энергии в дальней зоне (рис.2).

Диаметр первого темного кольца на рис.2 равен 1.7 мм, а диаметр зоны, в которую попадает 50% энергии излучения, составляет 1.35 мм, что соответствует расходимости по уровню половины энергии 7.5×10^{-5} рад. Отметим, что расходимость идеального излучателя с кольцом такого же размера равна 5.6×10^{-5} рад. Таким образом, импульсный химический лазер с неустойчивым резонатором, коэффициент увеличения M которого равен 3, обеспечивает расходимость, немного (на 34%) превышающую теоретически возможную, и введение внутрь резонатора нетонкой ($\delta = 15$ мм) плоскопараллельной пластины под большим углом (угол Брюстера в нашем случае 54.7°) не сказывается на расходимости и требует для сохранения кон-

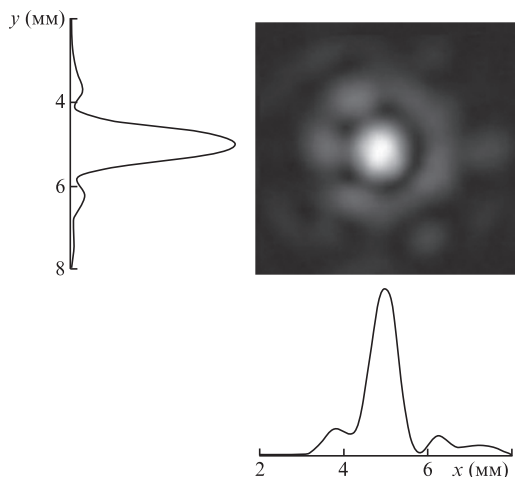


Рис.2. Картина распределения плотности энергии излучения в дальней зоне и профили распределения плотности энергии по осям x и y .

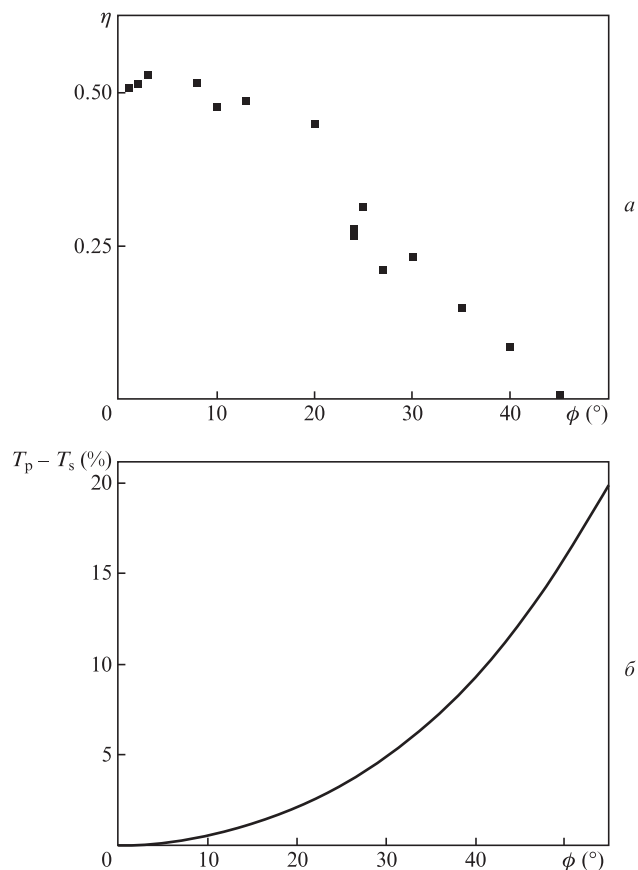


Рис.3. Измеренные степени поляризации η в зависимости от угла поворота ϕ плоскопараллельной пластины из CaF_2 , расположенной внутри резонатора (а), и разность коэффициентов пропускания той же пластины для излучений p- и s-поляризации (б).

фокальности только дополнительной подстройки резонатора.

На рис.3,а представлены результаты измерения степени поляризации η в зависимости от угла поворота ϕ плоскопараллельной пластины 3 из CaF_2 относительно оси резонатора. При $\phi < 10^\circ$ значение η составляет ~ 0.5 , что соответствует неполяризованному излучению или излучению с круговой поляризацией. Видно, что заметное изменение поляризации излучения начинается только при $\phi > 20^\circ$, а при $\phi > 45^\circ$ излучение преимущественно линейно поляризованное ($E_p/E_s > 125$). В работе [8] линейно поляризованное излучение получено при внесении в неустойчивый резонатор плоского медного зеркала, у которого коэффициент отражения для s-поляризованного света превышает коэффициент отражения для p-поляризованного всего лишь на 0.72%.

Для сравнения с этими данными на рис.3,б приведена зависимость от ϕ разности коэффициентов пропускания пластины из CaF_2 для излучения разных поляризации. Практически полная линейная поляризация в наших экспериментах достигается при разности коэффициентов пропускания для s- и p-поляризации около 12%. Столь большое расхождение наших и полученных в работе [8] результатов связано, по-видимому, с разными усилительными свойствами активных сред: в [8] усиление за полный обход резонатора было ~ 4 , а в используемом нами лазере равнялось ~ 900 .

Таким образом, нами показано, что введение пластины внутрь резонатора требует только соответствующего смещения выпуклого зеркала и не сказывается на расхо-

димости излучения. Заметное изменение степени поляризации излучения начинается только при углах наклона пластины из CaF_2 к оси резонатора, превышающих 20° , а при углах наклона, больших 45° , излучение лазера преимущественно линейно поляризованное.

1. Siegman A.E. *Proc. IEEE*, **53**, 277 (1965).
2. Ананьев Ю.А. *Оптические резонаторы и лазерные пучки* (М.: Наука, 1990).
3. Ren Wei-yan, Wan Hui, Cai Lei, Zhou Song-qing, Zhang Zheng, Qv Pu-bo. *Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng.*, **9671**, 967128-1 (2015).
4. Hongyan Wang, Rui Wang, Lei Li. *Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng.*, **9543**, 95431M-1 (2015).
5. Litzenberger L.N., Smith M.J. *IEEE J. Quantum Electron.*, **QE-24**, 2270 (1988).
6. Ананьев Ю.А., Аникичев С.Г., Бохонов А.Ф., Бураков В.С., Кот Г.Г., Орлович В.А., Титарчук В.А. *ЖТФ*, **59**, 100 (1989).
7. Апанасевич П.А., Гахович Д.Е., Грабчиков А.С., Камач Ю.Е., Квач В.В., Козловский Е.Н., Кот Г.Г., Овчинников В.М., Орлович В.А., Чиркин А.П. *ЖПС*, **47**, 199 (1987).
8. Takenaka Y., Kuzumoto M., Yasui K. *IEEE J. Quantum Electron.*, **QE-27**, 2482 (1991).