

Перспективный DF–CO₂-лазер высокого давления для усиления пикосекундных импульсов излучения

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

Описана схема эксперимента и представлены результаты измерений коэффициента усиления в среде импульсного химического DF–CO₂-лазера при давлении среды от 1 до 2.5 атм. Полученные значения (свыше 5 м⁻¹ при давлении среды 2.5 атм) делают его перспективным для использования в качестве оконечного усилителя мультитераваттной лазерной системы на длине волны 10 мкм.

Ключевые слова: DF–CO₂-лазер, коэффициент усиления.

В последние годы усилился интерес к разработке и созданию сверхмощных лазерных систем, генерирующих в десятимикронном диапазоне сверхкороткие импульсы (~1 пс) с релятивистской интенсивностью [1–3]. В качестве оконечных усилителей мощных лазерных систем, генерирующих такие импульсы [2, 3], обычно используются электроразрядные или электроионизационные CO₂-лазеры. В [4] предложено вместо широкоапертурного электроионизационного CO₂-лазера использовать в качестве оконечного усилителя импульсный химический широкоапертурный DF–CO₂-лазер [5], способный работать в диапазоне давлений 1–2.5 атм [6]. Отличительной особенностью этого типа усилителя является высокая пространственная оптическая однородность активной среды и относительно большой погонный коэффициент усиления [7, 8]. В [6] продемонстрированы высокие удельные характеристики DF–CO₂-лазера при повышенных давлениях, а в [7, 8] коэффициент усиления измерялся при давлении среды только 1 атм. Цель настоящей работы – измерение коэффициента усиления при давлении среды до 2.5 атм. Именно начиная с давления 2–2.5 атм использование DF–CO₂-лазера для усиления пикосекундных импульсов в мультитераваттной лазерной системе является наиболее перспективным [4].

Измерение коэффициента усиления DF–CO₂-лазера осуществлялось на экспериментальной установке, схема которой представлена на рис.1. Для зондирования служил электроразрядный TE CO₂-лазер, энергия и форма импульса излучения которого контролировались пироэлектрическим калориметром К и фотоприемником Ф1. Из измерений энергии и формы импульса на входе в усилитель следует, что интенсивность излучения на входе не превышает 5 Вт/см², т. е. даже при самом большом измеренном усилении на проход (160) интенсивность излучения на выходе усилителя останется почти на два порядка

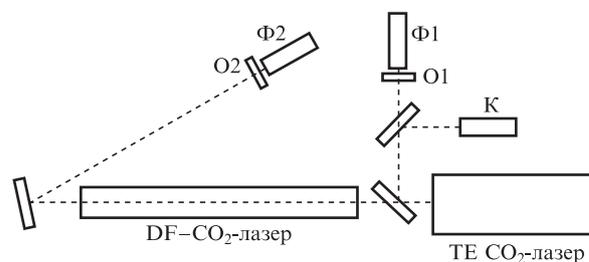


Рис.1. Схема измерения коэффициента усиления.

меньшей интенсивности насыщения. На выходе DF–CO₂-лазера фотоприемником Ф2 регистрировалась только форма импульса излучения. Оба фотоприемника – охлаждаемые жидким азотом КРТ-фотодиоды с постоянной времени 100 нс. Перед каждым из них установлены ослабители О. Реактор DF–CO₂-лазера был изготовлен из тefлоновой трубы длиной 90 см с внутренним диаметром 66 мм. Для инициирования реакции внутри реактора были установлены две импульсные кварцевые ксеноновые лампы с внешним диаметром 23 мм и длиной межэлектродного промежутка 75 см. Энергия инициирования запасалась в двух конденсаторах емкостью 3 мкФ, которые заряжались до напряжения 35 кВ (общая энергия 3675 Дж). На металлических фланцах, ограничивающих тefлоновую трубу, по оси трубы устанавливались окна из ZnSe со световым диаметром 11 мм и просветлением на длине волны 10.6 мкм. Специальные просветляющие покрытия одновременно защищали эти окна от химического воздействия среды. Измерения проводились для различающихся содержанием F₂ трех смесей, D₂:F₂:CO₂:He = 5:7:35:53, 5:10:35:50 и 5:15:35:45, приготовленных путем быстрого динамического напуска. Содержание кислорода во всех смесях составляло 0.008 от содержания F₂. В TE CO₂-лазере использовалась смесь CO₂:N₂:He = 1:12:12 при давлении 100 Тор. Смесь с большим содержанием N₂ была выбрана для того, чтобы получить длинный (свыше 50 мкс по основанию) импульс с плавно спадающим «хвостом». Резонатор лазера состоял из медного сферического зеркала с радиусом кривизны 8 м и плоского диэлектрического зеркала с коэффициентом отражения 94%.

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

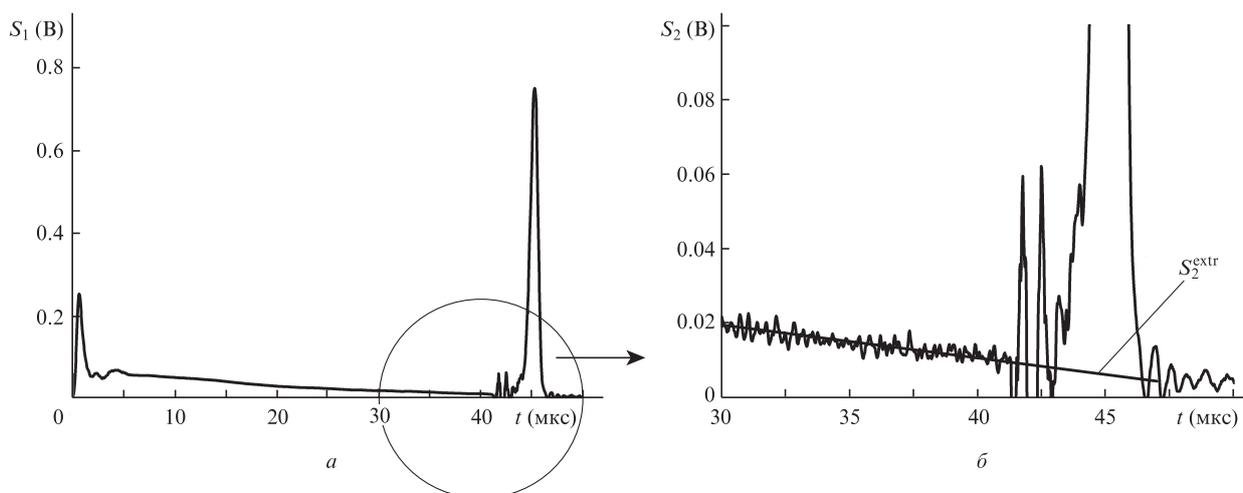


Рис.2. Типичный сигнал на выходе DF–CO₂-усилителя (с фотоприемника Ф2), регистрируемый с чувствительностью 100 (а) и 10 мВ/дел. (б).

Генерация TE CO₂-лазера с неселективным резонатором происходит в основном на переходе P20 десятимикронной полосы CO₂, что вполне приемлемо для измерения коэффициента усиления DF–CO₂-лазера. Система синхронизации запуска лазеров позволяла контролируемым образом варьировать момент начала инициирования среды химического лазера относительно зондирующего импульса. На рис.2,а приведена типичная осциллограмма сигнала с фотоприемника Ф2 при задержке инициирующего импульса относительно зондирующего 42 мкс.

Сигнал с Ф2 регистрировался на двух каналах осциллографа с разными чувствительностями, что позволяло надежной экстраполяцией плавно спадающего «хвоста» зондирующего импульса в интервал времени существования инверсии (прямая линия на рис.2,б) получать сигнал на входе в усилитель. Таким образом, используя осциллограмму и ее экстраполяцию, можно получить временной профиль инверсии за один «выстрел»:

$$k(t) = \frac{1}{L} \ln \left[\frac{S_1(t)}{S_2^{\text{extr}}(t)} \right],$$

где $L = 0.75$ м.

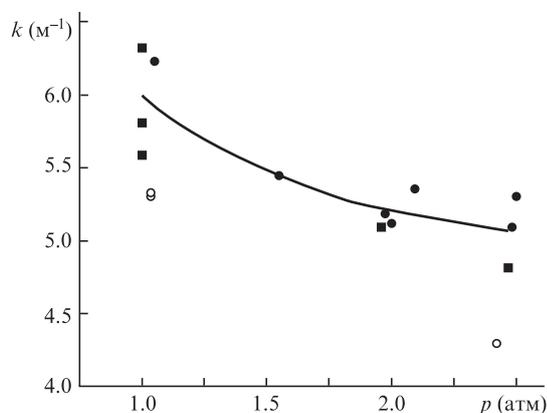


Рис.3. Результаты измерения коэффициента усиления для смесей с содержанием F₂ 7% (○), 10% (●) и 15% (■). Кривая – результат усреднения данных для смесей, содержащих 10% и 15% F₂.

Результаты измерений коэффициента усиления в максимуме инверсии представлены на рис.3. Видно, что данные для смесей, содержащих 10% и 15% фтора, в пределах погрешностей измерений неразличимы. Коэффициент усиления меняется для этих смесей от 6 м⁻¹ при давлении 1 атм до 5.1 м⁻¹ при увеличении давления смеси до 2.5 атм. Для смеси с содержанием фтора 7% коэффициенты усиления заметно меньше и при 2.5 атм не превышают 4.3 м⁻¹. Это может быть связано с более медленным протеканием химической реакции. Известно [9], что оптимальное для получения большого энергосъема отношение F₂:D₂ близко к 3:1. В наших экспериментах это отношение менялось от 3:1 до 1.4:1. Для DF–CO₂-усилителей большой апертуры (100 мм и более) с давлением среды около 2.5 атм высокое содержание F₂ в смеси может привести к неоднородному инициированию среды по объему из-за сильного поглощения инициирующего излучения молекулярным фтором. Именно поэтому и были проведены измерения коэффициента усиления в смесях с уменьшенным содержанием F₂.

В каждом эксперименте определялись еще две характеристики профиля инверсии $k(t)$: ширина профиля на полувысоте $t_{1/2}$ и задержка момента достижения максимума инверсии от начала инициирования. Эти характеристики в зависимости от давления и состава смесей приведены на рис.4. Полученные результаты совершенно закономерны: чем больше давление смеси и чем больше в ней F₂, тем быстрее реакция и соответственно меньше задержки и длительности существования инверсии.

В существующих на сегодняшний день пикосекундных десятимикронных лазерных системах [2, 3] в качестве оконечного усилителя используются CO₂-лазеры с несамостоятельным разрядом с коэффициентами усиления 2–2.5 м⁻¹. Стоит отметить, что в разрядных CO₂-лазерах были получены и гораздо большие коэффициенты усиления (до 5.5 м⁻¹ [10]), но при гораздо меньших апертурах. Таким образом, полученные результаты делают перспективным использование DF–CO₂-лазера в качестве оконечного усилителя пикосекундных десятимикронных лазерных систем.

Работа поддержана РФФИ (грант № 11-02-12197-ОФИ-М-2011).

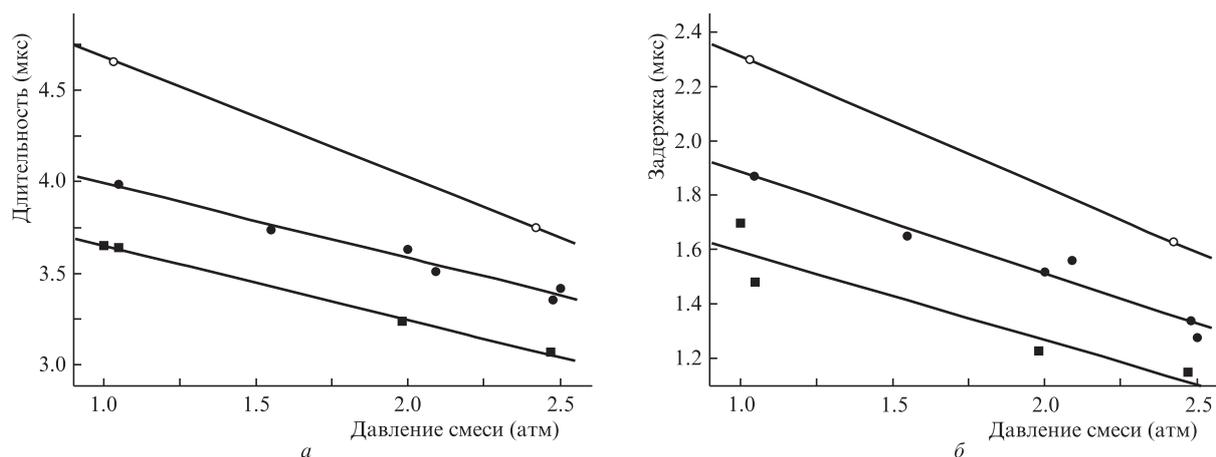


Рис.4. Длительности существования инверсии $t_{1/2}$ (а) и задержки достижения ее максимума от начала инициирования (б) для смесей с содержанием F₂ 7% (○), 10% (●) и 15% (■).

1. Bravy B.G., Gordienko V.M., Platonenko V.T., Rykovanov S.G., Vasiliev G.K. *Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng.*, **6735**, 67350L (2007).
2. Pogorelsky I., Shkolnikov P., Chen M., et al. *AIP Conf. Proc.*, **1086**, 532 (2009).
3. Haberberger D., Tochitsky S., Joshi C. *Opt. Express*, **18** (17), 17865 (2010).
4. Bravy B.G., Vasil'ev G.K., Gordienko V.M., Makarov E.F., Panchenko V.Ya., Platonenko V.T., Chernyshev Yu.A. *Techn. Progr. 15th Int. Conf. «Laser Optics-2012»* (St.Petersburg, Russia, 2012, ThR5-23, 48).
5. Bravy B.G., Vasiliev G.K., Makarov E.F., Chernyshev Yu.A. *Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng.*, **4747**, 1 (2002).
6. Агроскин В.Я., Кирьянов В.И., Васильев Г.К., Тальрозе В.Л. *Квантовая электроника*, **5** (11), 2436 (1978).
7. Агроскин В.Я., Бравый Б.Г., Васильев Г.К., Кирьянов В.И. *Квантовая электроника*, **7** (2), 229 (1980).
8. Басов Н.Г., Башкин А.С., Григорьев П.Г., Ораевский А.Н., Породинков О.Е. *Квантовая электроника*, **3** (9), 2067 (1976).
9. *Химические лазеры*. Под ред. Н.Г.Басова (М.: Наука, 1982, с. 249).
10. Орловский В.М., Осипов В.В., Соловьев В.С. *Квантовая электроника*, **8** (2), 389 (1981).