

## Список литературы

- [1] Богомаз А. А., Бородин В. С., Левченко Б. П., Рутберг Ф. Г. // ЖТФ. 1977. Т. 47. Вып. 1. С. 121—132.
- [2] Бахит Ф. Г., Дюжев Г. А., Каплан В. Б. Препринт ФТИ. № 532. Л., 1978.
- [3] Смирнов Б. М. Ионы и возбужденные атомы в плазме. М.: Атомиздат, 1974. 456 с.
- [4] Термоэмиссионные преобразователи и низкотемпературная плазма / Под ред. Б. Я. Мойжеса и Г. Е. Пикуса. М.: Наука, 1973. 480 с.
- [5] Бахит Ф. Г., Бородин В. С., Журавлев В. Н., Рутберг Ф. Г. // ЖТФ. 1987. Т. 57. Вып. 12. С. 2296—2305.
- [6] Бахит Ф. Г., Юрьев В. Г. // ЖТФ. 1979. Т. 49. Вып. 5. С. 905—944.
- [7] Брагинский С. И. // Вопросы теории плазмы / Под ред. М. А. Леонитовича. М.: Атомиздат, 1963. Вып. 1. С. 183—272.
- [8] Бахит Ф. Г., Елизаров Л. И., Иванов В. Г., Юрьев В. Г. // Физика плазмы. 1988. Т. 14. № 1. С. 91—97.
- [9] Чен Ф. // Диагностика плазмы / Под ред. Р. Хадлстоуна, С. Леонарда. М.: Мир, 1967.
- [10] Стаханов И. П., Черковец В. Е. Физика термоэмиссионного преобразования. М.: Энергоатомиздат, 1985. 207 с.
- [11] Бахит Ф. Г., Дюжев Г. А., Митрофанов Н. К. и др. // ЖТФ. 1973. Т. 43. Вып. 12. С. 2574—2583.
- [12] Caruso A., Cavaliere A. // Nuovo Cimento. 1962. Vol. 26. N 6. P. 1389—1404.
- [13] Бахит Ф. Г. // ЖТФ. 1973. Т. 43. Вып. 1. С. 214—217.
- [14] Дюжев Г. А., Митрофанов Н. К. // ЖТФ. 1978. Т. 48. Вып. 12. С. 2500—2505.

Физико-технический институт  
им. А. Ф. Иоффе АН СССР  
Ленинград

Поступило в Редакцию  
20 октября 1988 г.

## ИССЛЕДОВАНИЕ CO<sub>2</sub> РЕГЕНЕРАТИВНОГО УСИЛИТЕЛЯ С ПЛАЗМЕННЫМ ЗЕРКАЛОМ

В. В. Аполлонов, К. Х. Казиков, Ю. А. Шакир

Создание лазера с зеркальным плазменным затвором [1] открыло перспективы применения лазерной плазмы в технике мощных импульсных лазеров. В работах [2, 3] лазерная плазма применялась в качестве одного из зеркал резонатора CO<sub>2</sub> лазера. В [2] роль плазменного зеркала (ПЗ) выполняла твердая мишень, помещенная в фокальной плоскости фокусирующего зеркала. Сигнал свободной генерации электроионизационного CO<sub>2</sub> лазера с энергией 250 Дж и апертурой 10 см содержал импульсы длительностью менее 1.8 нс. В [3] исследовался ТЕА CO<sub>2</sub> лазер с энергией до 24 Дж и рабочей апертурой 2.5 см. ПЗ резонатора было образовано линзово-зеркальным телескопом, заполняемым различными газами. Инжекция в его резонатор импульса длительностью 2.5 нс привела к генерации цуга импульсов длительностью менее 1 нс.

В настоящей работе исследовался режим регенеративного усиления CO<sub>2</sub> лазера с апертурой 20 см, работающего в условиях жесткой обратной связи [с ПЗ, с целью создания CO<sub>2</sub> регенеративного усилителя субнаносекундных импульсов с энергией излучения 1 кДж.

В эксперименте CO<sub>2</sub> лазер с апертурой 20 см и энергией излучения ~1 кДж работал в режиме регенеративного усиления как цуга наносекундных импульсов [4], инжектируемого в резонатор, так и цуга, отраженного от ПЗ (рис. 1). Такой режим достигался путем совмещения оптических осей регенеративного усилителя и ПЗ, которое состояло из сферического зеркала (радиус кривизны 0.8 м) и мишени, помещенной в вакуумную камеру вблизи фокальной плоскости зеркала. Радиус фокального пятна определялся величиной поперечной сферической aberrации зеркала, по оценке ~0.8 мм.

В работе использовалась сферическая мишень 8 из стали диаметром 45 мм с диффузно-отражающей поверхностью. Отраженное от мишени излучение возвращалось в телескопиче-

ский резонатор 2 усилителя (длина 8.6 м, коэффициент увеличения 2.1), где по численной оценке [5] проходило через активную среду 1 16 раз и затем снова попадало на мишень. Часть излучения отщеплялась плоскопараллельной пластиной (NaCl) и направлялась на фотоприем-

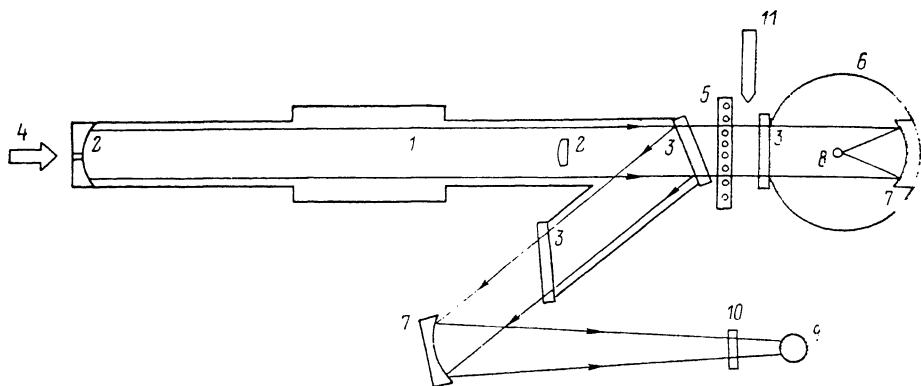


Рис. 1. Схема  $\text{CO}_2$  — регенеративного усилителя с плазменным зеркалом.

1 — активная среда  $\text{CO}_2$  лазера, 2 — телескопический резонатор, 3 — оптические окна (NaCl), 4 — инжектируемое излучение, 5 — болометр, 6 — вакуумная камера, 7 — фокусирующее зеркало, 8 — мишень, 9 — фотоприемник, 10 — ослабитель, 11 — поглощающая заглушка.

ник 9 типа ФПР-1 (разрешение 0.3 нс). Регистрация сигналов падающего и отраженного от ПЗ излучения осуществлялась на осциллографе «Тектроник-7104» (полоса частот 1 ГГц). Энергия излучения усилителя контролировалась проходным болометром 5, подключенным к мосту сопротивлений. Ошибка измерений энергии не превышала 15 %.

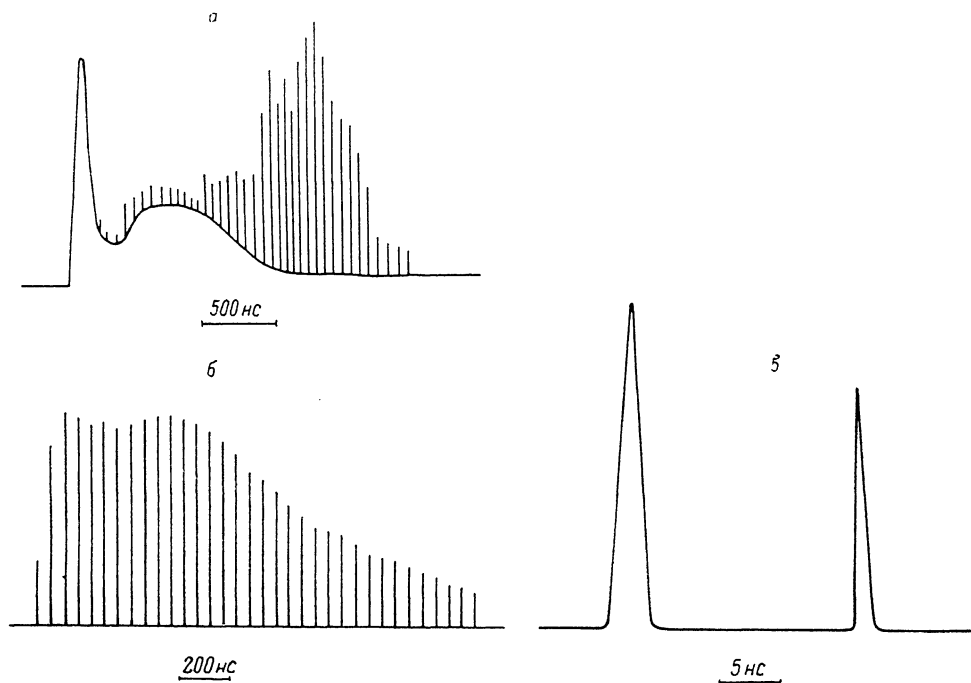


Рис. 2. Осциллограммы импульсов излучения.

а — режим свободной генерации лазера; б, в — режим регенеративного усиления.

Оптимальное положение мишени в камере определялось экспериментально: наблюдался сигнал отраженного от мишени и усиленного активной средой излучения при разных положениях мишени в условиях отсутствия инжектируемого в лазер излучения. Вследствие биений

продольных мод резонатора сигнал свободной генерации содержал амплитудно-модулированные наносекундные импульсы. В [2] показано, что в определенных условиях коэффициент отражения от ПЗ наносекундных импульсов может быть в 2 раза больше, чем для случая длинных импульсов. Данный эксперимент проводился при давлении в камере  $2 \cdot 10^{-2}$  мм рт. ст. При положении мишени относительно фокальной плоскости фокусирующего зеркала 7, когда расстояние до зеркала превышало фокусное расстояние на 1 см, был зарегистрирован пуг наносекундных импульсов, отраженных от ПЗ и усиленных в активной среде (рис. 2, а). Некоторые импульсы цуга превышали по амплитуде пик сигнала падающего излучения.

В дальнейшем лазер работал в режиме регенеративного усиления цуга наносекундных импульсов [4]. Будем называть импульсы цуга на выходе регенеративного усилителя первичными (рис. 2, б). Отраженный от ПЗ и усиленный активной средой сигнал содержал вторичные импульсы длительностью 0.6—0.8 нс. Измеренные величины длительности импульсов соответствуют предельному значению разрешения фронтов импульсов применяемой аппаратурой (0.3 нс). Вторичные импульсы были сдвинуты на 20 нс (удвоенное время прохождения излучения от усилителя до мишени) относительно первичных импульсов длительностью 2 нс (рис. 2, в). Численная оценка полосы частот усиления для смеси  $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He} = 1 : 1 : 3$  при давлении 1 атм, согласно [8], дает величину 4.2 ГГц. Активная среда с такой полосой должна усиливать импульсы с фронтами  $\sim 0.1$  нс. Следовательно, можно полагать, что длительность субнаносекундных импульсов по полувысоте  $\tau$  находится в пределах  $0.2 < \tau < 0.8$  нс. Контраст наносекундных и субнаносекундных импульсов в цуге по отношению к фову усиленного спонтанного излучения превышал 300 : 1 (измерения проводились на осциллографе «Tektronix-7104»).

Вторичные субнаносекундные импульсы стабильно наблюдались при вариациях плотности энергии излучения  $\mathcal{E}$ , падающего на мишень, от  $10^3$  до  $3.4 \cdot 10^4$  Дж/см<sup>2</sup>. В указанной области  $\mathcal{E}$ , как показали измерения, энергия излучения усилителя не менялась от импульса к импульсу при открытом и перекрытом поглощающей заглушкой 11 окна камеры. Это означает, что коэффициент отражения  $R$  от ПЗ в апертуру фокусирующего зеркала незначителен; согласно [2], если учесть погрешности измерений энергии,  $0.05 < R < 0.15$ . Лазер характеризует произведение коэффициента усиления слабого сигнала на длину активной среды  $\sim 5$ . В результате (рис. 2, в) амплитуда субнаносекундных импульсов достигала значений, характерных для первичных импульсов.

Наибольшей амплитуды вторичные импульсы достигали при давлении воздуха в камере менее 25 мм рт. ст. Уменьшение давления до  $7 \cdot 10^{-3}$  мм рт. ст. качественных изменений не выявило. При давлении больше 25 мм рт. ст. в качестве зеркала, видимо, начинал работать плазменный слой не на мишени, а перед ней, рассеивая и поглощая излучение. Для проверки была удалена мишень. Чтобы получить заметное отражение от лазерной плазмы, потребовалось установить давление в камере выше 0.5 атм. Вторичные импульсы имели амплитуду существенно ниже, чем первичные, как и в случае с мишенью при давлениях выше 25 мм рт. ст., что подтвердило вышеприведенное предположение.

Полученные результаты позволяют предложить схему  $\text{CO}_2$  регенеративного усилителя субнаносекундных импульсов с энергией излучения  $\sim 1$  кДж. Для этого необходимо ПЗ, например, типа [3] ввести в резонатор ТЕА  $\text{CO}_2$  лазера, генерирующего пуг наносекундных импульсов для инжекции в усилитель [4], тогда инжектируемые импульсы станут субнаносекундными. Это позволит получить на выходе усилителя пуг субнаносекундных импульсов с энергией излучения  $\sim 1$  кДж. При реализации исследованной модели ПЗ на меньшей апертуре для сохранения оптимального значения  $\mathcal{E}$  необходимо применить оптические элементы с величиной поперечной сферической аберрации не более 100 мкм.

Таким образом, получено устойчивое усиление субнаносекундных импульсов с помощью ПЗ в  $\text{CO}_2$  регенеративном усилителе с апертурой 20 см при давлении активной среды 1 атм. Предложена схема  $\text{CO}_2$  регенеративного усилителя субнаносекундных импульсов с энергией  $\sim 1$  кДж.

#### Список литературы

- [1] *Бабанов В. А., Гочелашвили К. С., Ершов Б. В. и др.* // Письма в ЖЭТФ. 1974. Т. 20. Вып. 6. С. 411—416.
- [2] *Васов Н. Г., Бережной И. А., Войко В. А. и др.* // Письма в ЖТФ. 1975. Т. 1. № 24. С. 1105—1108.

- [3] *M. Piche, P. A. Belanger.* // *Can. J. Phys.*, 1982. Vol. 60. N 1. P. 77—87.
- [4] *Аполлонов В. В., Прохоров А. М., Сороченко В. Р., Шакир Ю. А.* // *Квантовая электрон.* 1988. Т. 15. № 9. С. 1766—1769.
- [5] *Ананьев Ю. А.* *Оптические резонаторы и проблема расходимости лазерного излучения.* М.: Наука, 1979. 328 с.
- [6] *Лиланд У. Т.* // *Газовые лазеры.* М., 1986. 552 с.

Институт общей физики АН СССР  
Москва

Поступило в Редакцию  
13 октября 1988 г.

---