

УДК 621.373.8+533.9.03

## ГЕНЕРАЦИЯ ПИКОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ В ЛАЗЕРЕ С ПЛАЗМЕННЫМ ЗЕРКАЛОМ НА ПРЯМОУГОЛЬНЫХ НЕОДИМОВЫХ СТЕКЛАХ БОЛЬШОЙ АПЕРТУРЫ

Б. В. Ершов, С. Б. Кравцов, В. А. Спиридонов, В. Б. Федоров

*В одноканальном неодимовом лазере с апертурой  $\approx 100 \text{ см}^2$  и нелинейным плазменным зеркалом на углеродной мишени осуществлен режим генерации цуга пикосекундных импульсов. При длительности импульса в цуге 100 пс средняя пиковая мощность составила 50 ГВт.*

Лазерная плазма может выполнять одновременно функции зеркала резонатора, оптического затвора для осуществления режима модуляции добротности лазерного резонатора и нелинейного элемента для синхронизации мод резонатора во время генерации гигантского импульса [1]. В четырехкаскадной оптической схеме лазера, использующего осветители типа ГОС-1000 с круглыми активными элементами из стекла ГЛС-1 диаметром 45 мм и длиной 720 мм, были получены импульсы длительностью до 20 пс с энергией (0,1-1) Дж [2]. Указанная величина энергии ультракоротких импульсов ограничена порогом мелкомасштабной самофокусировки излучения в неодимовом стекле. При этом плотность светового потока соответствовала по порядку величины полученной энергии пикосекундных лазерных импульсов.

В этом случае повышение энергии одиночного импульса генерации возможно за счет увеличения поперечного сечения активной среды неодимового лазера. В работе [3], например, обсуждалась возможность создания многоканальной схемы с общим плазменным зеркалом. В данной работе реализована одноканальная схема лазера с использованием крупногабаритных активных элементов прямоугольного сечения площадью около  $100 \text{ см}^2$ .

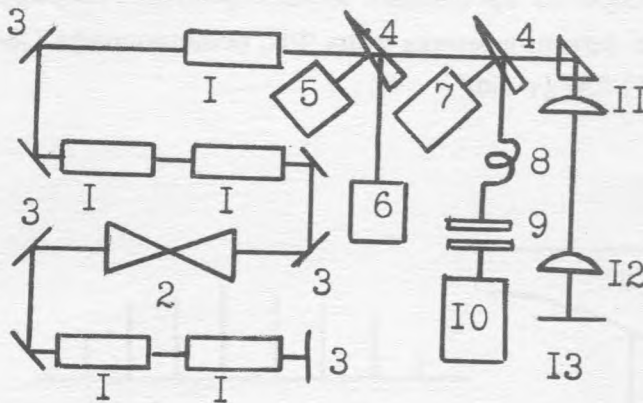


Рис. 1. Оптическая схема установки. 1 - активные элементы из стекла ГЛС-6, 2 - пространственный фильтр, 3 - зеркала (100%), 4 - клинья, 5 - калориметр, 6 - интегрирующий фотодатчик, 7 - ФК, 8 - линия оптической задержки, 9 - интерферометр Фабри - Перо, 10 - ЭОК "Агат", 11 - линза с  $f_1 = 140$  см, 12 - линза с  $f_2 = 23$  см, 13 - графитовая мишень.

Схема экспериментальной установки, представляющей собой одноканальный генератор с пятью активными элементами, пространственным фильтром, плоским зеркалом со 100% отражением и графитовой мишенью, показана на рис. 1. Для создания быстросключаемого плазменного зеркала необходимо превышение порогового уровня интенсивности на углеродной мишени, расположенной в фокусе линзы. Это достигается за счет выбора длины активной среды, обеспечивающей требуемый уровень мощности излучения суперлюминесценции, и уменьшения пятна фокусировки излучения на мишени. Экспериментальным путем найдено, что требуемая мощность обеспечивается пятью активными элементами из стекла ГЛС-6 длиной 720 мм и сечением  $40 \times 240$  мм<sup>2</sup>, расположенными последовательно. Накачка активных элементов производилась через боковую поверхность 36 лампами ИПП-18/250 в стандартном осветителе Х122ПМ [3]. Для уменьшения расходимости излучения суперлюминесценции в оптической схеме предусмотрен пространственный фильтр с линзами  $f = 2$  м и круглой диафрагмой  $\phi 3$  мм. С целью уменьшения сферических aberrаций при фокусировке излучения большой апертуры на мишени использовалась двухлинзовая схема (рис. 1) из линз с фокусным расстоянием  $f_1 = 140$  см и  $f_2 = 23$  см, разделенных промежутком 83 см. Это позволило уменьшить размер фокального пятна и достичь порога инициирования плазменного зеркала.

Система контроля параметров излучения включала в себя интегрирующий фотодатчик для измерения временного хода энергии излучения и калориметр для кали-

бровки фотодатчика. Измерения временных характеристик генерируемого излучения производились с помощью фотоприемника типа ФК, осциллографа С8-14 и электронно-оптической камеры (ЭОК) "Агат-СФ".

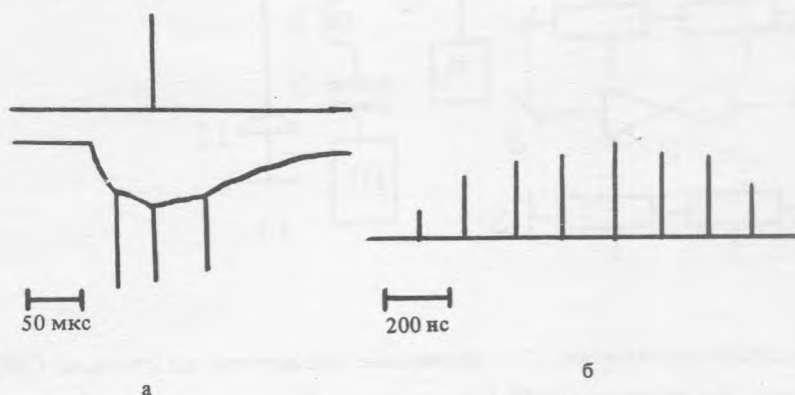


Рис. 2. Типичные осциллограммы излучения. а) Осциллограмма квазинепрерывной генерации с гигантскими пучками. Развертка 50 мкс/дел. Нижний луч – сигнал с ФК, амплитуды пиков инструментально ограничены. Импульс на верхнем луче обозначает запуск ЭОК "Агат". б) Осциллограмма структуры гигантского пучка. Развертка 200 нс/дел. Сигнал с фотоприемника ФК.

В результате проведенных экспериментов найдено, что при накачке длительностью 0,35 мс и энергии на каждый активный элемент 80-90 кДж на поверхности мишени возникала плазма и генерировалось излучение сложной формы (рис. 2). На фоне квазинепрерывного излучения длительностью 0,25 мс наблюдались один или несколько гигантских импульсов (рис. 2а). В различных экспериментах их число изменялось от одного до шести в зависимости от накачки. Регистрация формы гигантского импульса с помощью фотоприемника ФК показала, что каждый гигантский импульс представлял собой пуч ультракоротких импульсов (УКИ), следующих друг за другом через время  $t = 170$  нс (рис. 2б). Это время соответствует времени двойного прохода импульсом расстояния от заднего зеркала резонатора до мишени, равного 26 м. Количество УКИ в пуче менялось от 10 до 15, то есть длительность пуча достигала 2 – 3 мкс.

Измерение длительности ультракоротких импульсов проводилось с помощью ЭОК "Агат-СФ". Часть излучения лазера, ответвленная клином из стекла К-8, поступала через линию оптической задержки на интерферометр Фабри – Перо с расстоянием между зеркалами  $l = 5,5$  см (рис. 1). Оптическая задержка вводилась для обеспечения синхронизации времени прихода импульса с началом развертки ЭОК. Отдельный

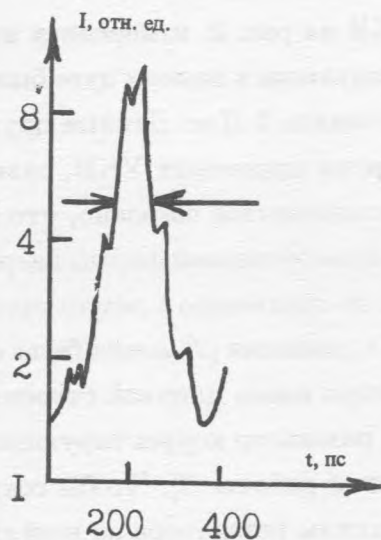


Рис. 3. Зависимость интенсивности (в логарифмическом масштабе) одиночного УКИ от времени.

УКИ, проходя интерферометр Фабри – Перо, преобразовывался в последовательность импульсов с интервалом между ними, равными  $2l/c = 370$  пс. Это позволяло в каждом отдельном эксперименте калибровать развертку ЭОК длительностью около 2 нс. Изображение на экране ЭОК фотографировалось на фотопленку. Характеристическая кривая почернения пленки определялась с помощью вспомогательного неодимового лазера и калиброванных ослабителей. Измерения длительности УКИ производились по интенсивности почернения пленки с учетом калибровки. Временной профиль одного из УКИ показан на рис. 3. Его длительность составила 80 пс по уровню половины амплитуды. Длительность различных УКИ изменялась от 80 до 130 пс.

Энергетические характеристики излучения определялись с помощью calorиметра, измеряющего полную энергию излучения за все время генерации, и интегрирующего фотодатчика, определяющего относительную долю энергии как квазинепрерывной генерации, так и каждого отдельного цуга УКИ. Полная энергия излучения составляла 0,8 – 1 кДж. На долю фонового излучения продолжительностью 0,25 мс приходилось (60-80)% полной энергии. Отсюда можно найти интенсивность излучения на мишени, достаточную для генерации цугов ультракоротких импульсов. Интегральные по времени измерения расходимости излучения показали, что диаметр пятна фокусировки на мишени составлял 0,6 мм (при небольшой эллиптичности формы пятна). Таким образом, пороговая интенсивность излучения на мишени составила  $(1 - 1,5) \cdot 10^9$  Вт/см<sup>2</sup>.

Энергия в отдельном цуге УКИ на рис. 2, измеренная интегрирующим фотодатчиком, была равна 60 Дж. Число импульсов в данном цуге было равно 12. Таким образом, средняя энергия УКИ в цуге составляла 5 Дж. Данные других экспериментов укладывались в интервале значений энергии одиночных УКИ, равных 2 – 5 Дж.

В результате проведенных экспериментов показано, что при использовании крупногабаритных активных элементов прямоугольной формы энергия одиночного УКИ может быть повышена почти на порядок по сравнению с результатами работы [2]. Увеличение длительности УКИ по сравнению с данными [2] может быть объяснено небольшим изменением оптической длины резонатора вдоль длинной стороны прямоугольной апертуры активного элемента. Внесением в резонатор корректирующих элементов возможно снизить длительность УКИ до значений работы [2]. Чтобы сократить длительность до 10 – 20 пс, необходимо постоянство длины резонатора по всей его апертуре с точностью не хуже 3 мкм, что представляется реальным. Возможность достижения в одноканальной схеме мощностей порядка 0,5 ТВт делает подобные генераторы, а также многоканальные схемы на их основе перспективными для целей физического эксперимента.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Малков А. Н., Прохоров А. М., Федоров В. Б., Фоменков И. В. Труды ИОФАН, **10**, 127 (1988).
- [2] Малков А. Н., Прохоров А. М., Федоров В. Б., Фоменков И. В. Письма в ЖЭТФ, **33**, 630 (1981).
- [3] Буфетов И. А., Ершов Б. В., Кравцов С. Б. и др. Препринт ФИАН N 112, М., 1983.

Институт общей физики РАН

Поступила в редакцию 20 декабря 1993 г.