

ГЕНЕРАЦИЯ СВЕРХКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ В НЕОДИМОВОМ ЛАЗЕРЕ С БЫСТРО ВКЛЮЧАЕМЫМ ПЛАЗМЕННЫМ ЗЕРКАЛОМ

А.Н.Малков, А.М.Прохоров, В.Б.Федоров, И.В.Фоменков

Сообщается о наблюдении пикосекундных лазерных импульсов длительностью около 20 псек в лазере на неодимовом стекле с плазменным зеркалом. Получены снимки ближней и дальней зон излучения таких импульсов и фотохронограмма движения плазмы. Определено положение плазменного зеркала на оси резонатора лазера.

Исследуемый одноканальный лазер состоял из четырех осветителей типа ГОС-1000Б, первый из которых помещался в телескопический резонатор, а плазменное зеркало образовывалось на поверхности плоской графитовой мишени в воздухе в фокусе линзы $F = 50$ см, расположенной после четвертого осветителя (см. [1]). Быстрое инициирование на мишени отражающей плазмы приводит к режиму модуляции добротности и генерации моноимпульса со структурой, характерной для синхронизации мод [1, 2]. В данном случае моноимпульс состоял (см. [2]) из двух – трех цугов коротких импульсов излучения (осциллограмма одного такого цуга дана на рис. 1). Измеренная в [2] длительность коротких импульсов определялась временным разрешением регистрирующей аппаратуры и составляла величину $t_0 \approx 2$ нсек¹⁾. В настоящей работе диагностика излучения коротких импульсов генерации исследуемого Nd-лазера проведена с пикосекундным временным разрешением (на основе применения электронно-оптической камеры (ЭОК) "Агат-СФ").

Для определения длительности коротких импульсов прямой и отраженный лучи с помощью оптического клина выводились из резонатора и линзой ($F = 1$ м) подфокусировались на щель ЭОК со смещением вдоль щели один относительно другого. Изображение щели объективом камеры подавалось на фотокатод ЭОК для последующего усиления и фоторегистрации. Оптические пути прямого и отраженного лучей выравнивались по совпадению на экране ЭОК для обеих лучей картин наблюдаемой пикосекундной модуляции гигантского импульса излучения гранатового лазера ЛТИ-ПЧ-8, направленного по оси исследуемого лазера. Точность выравнивания составляла ~ 2 мм. Запуск ЭОК производился коаксиальным фотоэлементом ФК-20, регистрирующим импульс генерации. Развертка начиналась через 60 – 80 нсек после начала цуга моноимпульса (см. рис. 1). Поскольку используемая развертка ЭОК имела длительность 1,5 нсек, намного меньшую интервала 12 нсек меж-

¹⁾ Синхронизация мод и серии коротких $t_0 \approx 1 + 2$ нсек импульсов излучения наблюдались ранее в CO_2 -лазерах с плазменным зеркалом [3, 4].

ду двумя соседними импульсами излучения (см. рис. 1), то для исключения временной нестабильности запуска развертки ЭОК применялось "размножение" импульсов с помощью эталона Фабри-Перо (с коэффициентами отражения зеркал 0,95 и 0,997); размер базы эталона 31 мм использовался также для калибровки длительности развертки. Типичная из полученных фотохронограмма показана на рис. 2, а. Падающий на мишень импульс запаздывает относительно отраженного на время двойного прохода через кювету с водным раствором медного купороса, применяемую для выравнивания интенсивностей прямого и отраженного излучений на входе ЭОК. Измеренная по уровню половины интенсивности длительность сверхкороткого импульса на рис. 2, а составляет $t_0 \approx 20$ псек. Аппаратная ширина щели, определенная на медленной (5 нсек) развертке, составляет на экране ЭОК 0,15 мм, что при используемой (рис. 2, а) развертке 370 псек/см соответствует времени 5 псек. В отдельных измерениях зафиксированы импульсы, только вдвое превышающие по длительности аппаратную временную ширину. Из рис. 2, а следует также, что положение плазменного зеркала на оси фокусирующей линзы в пределах точности не хуже 3 мм соответствует области фоку-

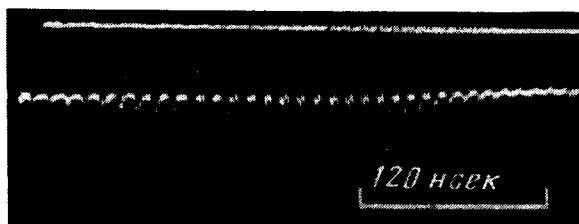


Рис. 1. Временная структура моноимпульса (первый цуг генерации; время слева направо)

На рис. 2, б, в представлены результаты исследования дальней и ближней зон излучения для пикосекундных импульсов. Обнаружено, что минимальные пятна падающего и отраженного лучей расположены в фокальной плоскости вспомогательной линзы $F = 1$ м. Следовательно, отражение от мишени происходит в фокусе основной линзы $F = 0,5$ м, в окрестности каустики падающей волны размером 3 мм. Размер пятна отраженной волны заметно меньше, чем падающей. Направление отражения может меняться от импульса к импульсу (см. рис. 2, б) в пределах $\Delta\phi \lesssim 0,4$ мрад. В некоторых коротких импульсах отражение вообще не наблюдалось. Картина ближней зоны излучения для отраженной от плазменного зеркала волны (рис. 2, в) воспроизводит кольцевую форму луча падающей волны, задаваемую телескопическим каскадом исследуемого лазера, со значительными искажениями. В различных опытах форма сечения отраженной волны и положение сечения на экране ЭОК могут отличаться. Фотометрирование фокальных пятен рис. 2, б дало значение $d_1 \approx 0,2 + 0,4$ мм и $d_2 \approx 0,1$ мм (по уровню половины интенсивности). Это соответствует угловой расходимости падающей на плазменное зеркало и отраженной волн $\phi_1 \approx 0,2 + 0,4$ мрад и $\phi_2 \approx 0,1$ мрад. Интегрированием измеренного распределения излучения в пятнах рис. 2, б опреде-

лено отражение волны от плазменного зеркала назад в апертуру лазера для отдельного пикосекундного импульса $r(d_2/d_1)^2 \approx (3+5) \cdot 10^{-3}$, что совпадает с данными [2]. Поскольку $(d_2/d_1)^2 \sim 0,1$, то собственно коэффициент отражения плазменного зеркала r составляет $r \approx 0,03+0,05$. На самом деле значение r может быть еще выше, так как плазменное зеркало апертурой d_2 может находиться на краю пятна $d_1 > d_2$, где интенсивность излучения существенно ниже, чем в центре пятна.

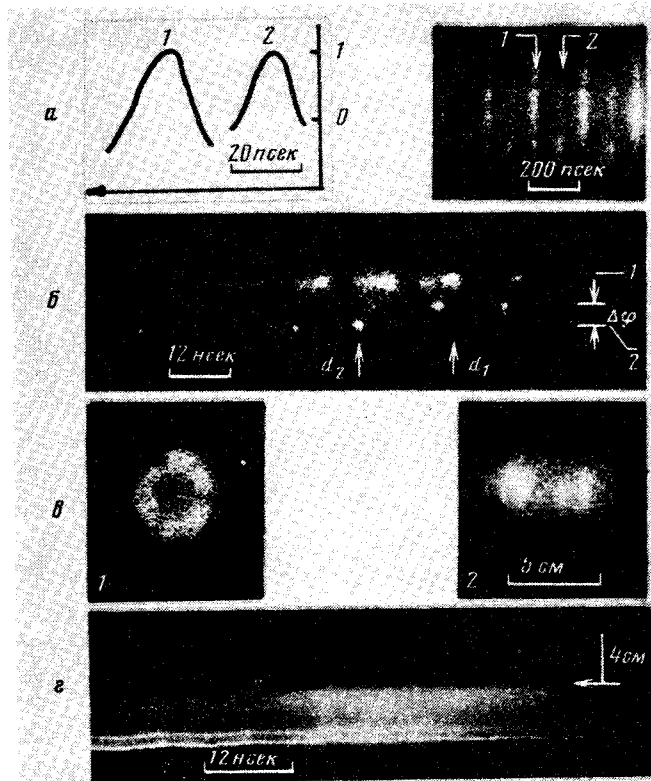


Рис. 2. Пространственно-временные характеристики генерации Nd-лазера с быстро включаемым плазменным зеркалом (индексы 1 и 2 относятся соответственно к падающей на плазменное зеркало и отраженной от него волнам; время на всех развертках справа налево): *a* — щелевая развертка одного сверхкороткого импульса (из серии рис. 1) после "размножения" в эталоне Фабри-Перо и временной ход его амплитуды; *б* — "покадровая" съемка минимального пятна при фокусировке ответвленного излучения последовательности пикосекундных импульсов вспомогательной линзы $F = 1$ м; *в* — форма падающего на фокусирующую линзу и отраженного от плазменного зеркала назад в апертуру линзы излучения в одном сверхкоротком импульсе; *г* — фотохронограмма движения плазмы, соответствующая центральной части цуга на рис. 1 (стрелкой указано положение мишени; лазерное излучение направлено сверху вниз; закрыта область перед мишенью размером ~ 1 мм для снижения яркости свечения мишени на снимке)

Получена щелевая развертка движения плазмы от мишени (рис. 2, *v*), соответствующая по времени средней части цуга на рис. 1. Картина разлета плазмы носит, видимо, установившийся характер. Видны фронт ионизации на удалении от мишени $\sim 1,5$ см и зона свечения на расстоянии от мишени ~ 5 см, движущиеся со скоростями $v \lesssim 10^6$ см/сек. Наблюдаемая в опытах высокая яркость свечения плазмы на поверхности мишени указывает на то, что именно вблизи мишени происходит основное поглощение плазмой энергии лазерного излучения.

Оценивая по данным [2] среднюю энергию одного пикосекундного импульса значением 0,1 – 1 Дж, на основании приведенных данных получаем характерные значения мощности и интенсивности излучения на плазменном зеркале в отдельных сверхкоротких ($t \approx 20$ псек) импульсах, соответственно равные ($10^{10} - 10^{11}$) Вт и ($10^{14} - 10^{15}$) Вт/см².

Физический институт ми. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
4 мая 1981 г.

Литература

- [1] В.А.Батанов, К.С.Гочелашвили, Б.В.Ершов, А.Н.Малков, П.И.Колисниченко, А.М.Прохоров, В.Б.Федоров. Письма в ЖЭТФ, **19**, 411, 1974.
- [2] В.А.Батанов, Д.А.Дементьев, А.Н.Малков, А.М.Прохоров, В.Б.Федоров. ЖЭТФ, **77**, 2186, 1979.
- [3] Н.Г.Басов, И.А.Бережной, В.А.Бойко, В.А.Данилычев, В.Д.Зворыкин, В.В.Игнатъев, И.В.Холин, А.Ю.Чугунов. Письма в ЖТФ, **1**, 1105, 1975.
- [4] M. Piche, P. A. Belanger. Optics Comm., **24**, 158, 1978.