

КОНЦЕНТРАЦИЯ СВЕТА С ПОМОЩЬЮ ОБРАЩЕНИЯ ЕГО ВОЛНОВОГО ФРОНТА

Н.Ф.Пилипецкий, В.И.Поповичев, В.В.Рагульский

Реализован принцип автоматической фокусировки света на мишень. Плоская мишень малого диаметра освещалась излучением рубинового лазера. Свет, идущий от мишени, усиливался и затем подвергался вынужденному рассеянию с обращением волнового фронта. Рассеянное излучение, пройдя усилитель в обратном направлении, практически полностью попадало в подсвеченную область, независимо от ее положения в пространстве и наличия аберраций в оптических элементах.

Концентрация лазерного излучения на малой площади, необходимая для проведения различных физических исследований, нередко является весьма трудной проблемой. Решение этой проблемы важно, например, для задач лазерного термоядерного синтеза [1, 2] и для лазерного ускорения макрочастиц [3]. Трудности здесь связаны как с малостью мишеней, так и с тем, что в разных опытах они могут находиться в разных точках.

Известно, что при вынужденном рассеянии света на угол 180° может происходить обращение его волнового фронта [4, 5]. Такая трансформация волнового фронта соответствует возвращению всех лучей на их источник. В литературе отмечалась возможность использования этого эффекта для облучения мишеней [6, 7], однако об экспериментах такого рода до сих пор не сообщалось. Нам удалось сконцентрировать лазерное излучение с помощью обращения волнового фронта.

Основные элементы экспериментальной установки схематически показаны на рис. 1.

Зеркало M_1 строит на посеребрянной майларовой пленке изображение экрана S_1 , уменьшенное в 5,3 раза. В результате, при засветке одного из отверстий, сделанных в экране, на пленке освещается кружок диаметром 190 мкм. При засветке другого отверстия освещенная область оказывается в другом месте пленки. Такая схема эквивалентна помещению изолированных мишеней того же диаметра в разных точках пространства и их поочередной засветке широким пучком.

Свет, идущий от мишени, усиливается, а затем подвергается рассеянию с обращением волнового фронта. Поэтому рассеянное назад излучение, пройдя усилитель в обратном направлении, должно полностью и точно попадать в мишень, независимо от ее положения и аберраций на пути распространения.

В наших опытах отверстия в экране поочередно засвечивались излучением рубинового лазера, который "развязан" от остальной части установки с помощью фарадеевской ячейки. При попадании на мишень инициирующий пучок света имеет максимальную интенсивность

≤ 200 Мвт/см²; длительность импульса по полувысоте составляет 17 нсек, ширина спектра $< 5 \cdot 10^{-3}$ см⁻¹. Этот пучок не вызывает видимых повреждений пленки.

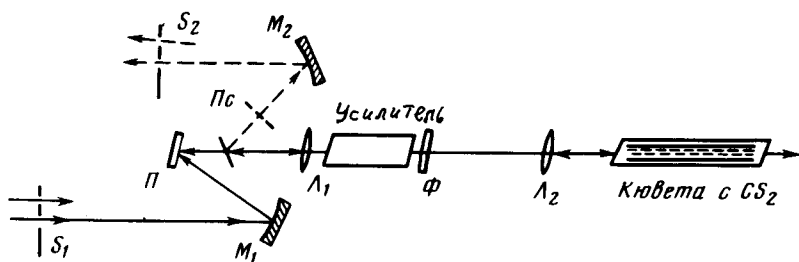


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: S_1 и S_2 идентичные экраны с четырьмя отверстиями диаметром 1 мм; M_1 — сферическое зеркало с радиусом кривизны 41 см и коэффициентом отражения 98%; Π — майларовая пленка, толщиной 15 мкм с серебрянным покрытием, толщиной 2 мкм, нанесенным на дальнюю от зеркала сторону; L_1 — линза с фокусным расстоянием 30 см, расстояние от пленки до линзы 27 см; усилитель — кристалл рубина длиной 23 см, диаметром 12 мм с торцами скошенными на угол 4° ; Φ — неоднородная фазовая пластина толщиной 1,3 мм, поперечный размер неоднородностей ~ 150 мкм; L_2 — линза с фокусным расстоянием 50 см; кювета с сероуглеродом имеет длину 103 см, ее окна скошены на угол 20° ; длина кварцевого световода, находящегося в кювете 100 см, а его внутренний диаметр 3 мм; Π^* — плоскость, сопряженная поверхности майларовой пленки; M_2 — сферическое зеркало с радиусом кривизны 30 см; углы падения пучков на зеркала M_1 и M_2 не превышают 3°

С помощью линзы L_1 свет от мишени направляется в усилитель, где он усиливается в 21 раз. Линза L_2 строит изображение торца усилителя на входе световода, заполненного сероуглеродом. Поэтому независимо от положения мишени весь свет, прошедший усилитель попадает в световод, где развивается вынужденное рассеяние. Световодом служит кварцевая трубка, которая находится в кювете с жидким сероуглеродом. На стенках трубки происходит полное внутреннее отражение света, поскольку показатель преломления у кварца меньше, чем у сероуглерода. Для предупреждения генерации кювета внутри зачернена и ее окна скошены. Используемая оптическая система обладает большими aberrациями, поскольку мишень смещена от фокальной плоскости линзы L_1 на одну десятую ее фокусного расстояния и, кроме того, линзы L_1 и L_2 скошены.

Как известно, явление обращения волнового фронта имеет место при рассеянии излучения с пространственно неоднородным распределением интенсивности. В связи с этим вблизи торца усилителя помещена неоднородная фазовая пластина, обеспечивающая такое распределение независимо от оптического качества усилителя. По своим характеристикам пластина аналогична использованной в работе [4].

Интенсивность света на входе световода достигает $\sim 10 \text{ Мвт/см}^2$, что намного превышает пороговое значение для вынужденного рассеяния Мандельштама — Бриллюэна. Благодаря этому рассеивается значительная доля света ($> 50\%$ по энергии). Рассеянное излучение, распространяясь в сторону мишени, снова усиливается, и в результате его энергия при попадании на пленку в 90 — 170 раз превышает энергию иницирующего пучка. Под действием этого излучения в пленке образуется сквозное отверстие.

На рис. 2,а приведена фотография пленки, поврежденной четырьмя импульсами при поочередной засветке отверстий экрана. На рис. 2,б дана фотография экрана. Из сравнения этих рисунков ясно, что интенсивность основного потока излучения максимальна именно в тех точках пленки, которые освещаются иницирующим пучком.

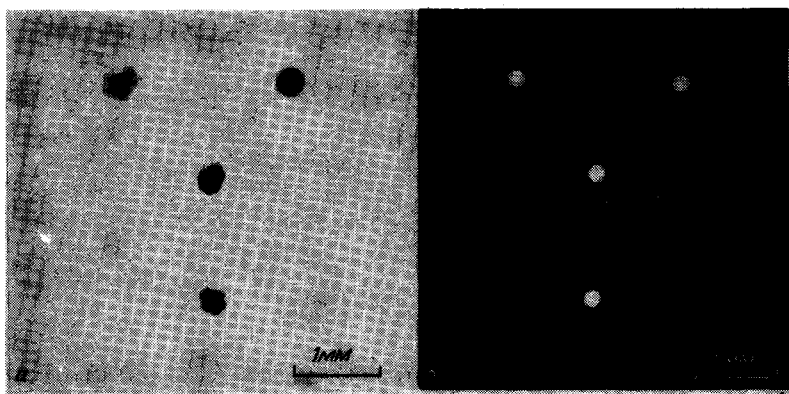


Рис. 2. Фотографии: а — пленка, поврежденная основным пучком; б — экран.

Но все ли излучение концентрируется в этих точках? Для того, чтобы выяснить, это, часть основного пучка ответвлялась, и изображение плоскости Π^* , сопряженной с майларовой пленкой, строилось с увеличением в 5,3 раза на экране S_2 , идентичном экрану S_1 (см. рис. 1). Поэтому энергия излучения, прошедшего через отверстие в S_2 , пропорциональна энергии той части основного пучка, которая попадает на пленку в круг диаметром 190 $\mu\text{м}$, т. е., точно в мишень. Сравнение этой энергии с полной энергией основного пучка, зарегистрированной калориметром с большой апертурой, показало, что в мишень попадает $\sim 80\%$ всего излучения.

Таким образом установлено, что используя явление обращения волнового фронта, можно эффективно концентрировать излучение на малые мишени, находящиеся в разных точках.

В заключение отметим, что параметры нашей установки далеки от предельных. Несомненно, могут быть увеличены энергия и мощность излучения¹⁾, уменьшены размеры мишени, увеличена область ее допустимых перемещений и т. д. Неселективность вынужденного рассеяния позволяет использовать изложенный здесь принцип в лазерных устройствах, работающих на различных длинах волн. При его реализации надо учитывать, что путем обращения волнового фронта можно компенсировать только те искажения, которые носят фазовый характер. Отсюда, например, следует, что минимальный диаметр мишени, при котором возможна эффективная работа системы, определяется дифракционными ограничениями. Необходимо, чтобы искажения были одинаковы для пучка, распространяющегося от мишени к рассеивающей среде, и для пучка, идущего в обратную сторону. Поскольку эти пучки проходят одни и те же оптические элементы в разное время и имеют разную интенсивность, на работе системы, вообще говоря, могут сказываться быстрые изменения в элементах и нелинейные эффекты (например, самофокусировка). Подробное обсуждение указанных факторов выходит за рамки данного сообщения; заметим лишь, что все они поддаются контролю.

Авторы благодарны Я.Б.Зельдовичу, А.Ю.Ишлинскому и В.Б.Либровичу за поддержку работы; Е.П.Велихову, С.Д.Захарову, О.Ю.Носачу и И.А.Федулову за полезные обсуждения.

Институт проблем механики
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
13 апреля 1978 г.

Литература

- [1] Н.Г.Басов, О.Н.Крохин. ЖЭТФ, 46, 171, 1964.
- [2] J.Nuckolls, L.Wood, A.Thiessen, G.Zimmerman. Nature, 239, 139, 1972.
- [3] Г.А.Аскарьян, М.С.Рабинович, В.К.Степанов, М.М.Савченко, В.Б.Студенов. Письма в ЖЭТФ, 5, 258, 1967.
- [4] Б.Я.Зельдович, В.И.Поповичев, В.В.Рагульский, Ф.С.Файзуллов. Письма в ЖЭТФ, 15, 160, 1972.
- [5] В.В.Рагульский. Труды ФИАН СССР, 5, 31, 1976
- [6] W.Wang, C.R.Guiliano. IEEE/OSA Conference on Laser Engineering and Applications, Digest of Technical Papers, p. 83, 1977.
- [7] С.Д.Захаров. Препринт ФИАН, №210, 1977.

¹⁾ Например, как показывает осциллографирование, фронт основного импульса в наших условиях имеет длительность $\approx 4,5$ нсек по полувысоте, что всего в два раза превышает время затухания гиперзвука (τ_s) в CS_2 . Это позволяет надеяться на получение импульсов длительностью $\lesssim 1$ нсек при использовании рассеивающих сред с меньшим τ_s .