

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, РАССЕЯННОГО МИШЕНЬЮ ИЗ МАЛОПЛОТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Мюсова Айдана Евгеньевна (oefimova@otd13.vniief.ru), Горчаков Олег Иванович, Стародубцев Константин Владимирович, Стародубцев Павел Владимирович

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

На моделирующей лазерной установке «Луч» [1] проведена серия экспериментов с целью достижения динамического сглаживания спеклованной структуры лазерного излучения, воздействующего на мишень. Для сглаживания применялась мишень с малоплотной пеной (плотностью ρ от 1 до 10 мг/см³) из триацетата целлюлозы (ТАЦ). Облучение мишени в основной камере взаимодействия (КВ) производилось лазерным излучением второй гармоникой 2ω ($\lambda = 527$ нм) [2]. Рассеянное пеной излучение с помощью четырех волоконных коллиматоров заводилось в оптические волокна для трансляции на вход фотохронографа СЭР-5 [3], с целью развертки по времени.

Разработана и апробирована методика регистрации пространственно-углового распределения рассеянного лазерного излучения с высоким временным разрешением.

Ключевые слова: волоконный коллиматор, временное разрешение, регистратор.

METHOD OF INVESTIGATION OF SPACE-TIME PARAMETERS OF LASER RADIATION SCATTERED BY A TARGET FROM LOW-DESTINY MATERIALS

Myusova Aydana Evgenievna (oefimova@otd13.vniief.ru), Gorchakov Oleg Ivanovich, Starodubtsev Konstantin Vladimirovich, Starodubtsev Pavel Vladimirovich

FSUE «RFNC-VNIIEF», Sarov Nizhny Novgorod region

A series of experiments has been carried out on the «Luch» [1] modeling laser facility in order to achieve dynamic smoothing of the speckled structure of laser radiation affecting the target. A target with a low-destiny foam (density ρ from 1 to 10 mg/cm³) made of cellulose triacetate (TAC) has been used for smoothing. The target has been irradiated in the main interaction chamber (IC) by the laser radiation with the second harmonic 2ω ($\lambda=527$ nm) [2]. The radiation scattered by the foam has been sent into the optical fibers using four fiber collimators and transmitted to the input of the SER-5 [3] recorder to get the time sweep.

A technique for registering the spatial-angular distribution of the scattered laser radiation with high time resolution has been developed and tested.

The work has been carried out within the framework of Project 4 «High Energy Density Physics» of the National Center of Physics and Mathematics.

Key words: fiber collimator, time resolution, recorder.

Введение

Для достижения динамического сглаживания спеклованной структуры излучения, воздействующего

на мишень, используются малоплотные пены (плотностью ρ от 1 до 10 мг/см³) из ТАЦ [4]. Однородное пятно облучения мишени позволяет проводить разного рода прецизионные эксперименты

(формирование однородных вторичных источников, изучение развития гидродинамических и параметрических неустойчивостей и турбулентного перемешивания и другие) [5-7]. В свою очередь эксперименты по облучению мишени из ТАЦ потребовали расширения диагностического комплекса.

В данной работе описана разработанная методика регистрации пространственно-углового распределения рассеянного лазерного излучения с высоким временным разрешением на основе фотохронографа СЭР-5 с волоконной входной щелью.

Патентные исследования не проводились.

Схема регистрации

На рис. 1 представлена схема регистрации пространственно-углового распределения рассеянного лазерного излучения из области пятна воздействующего на мишень. Рассеянное лазерное излучение мишенью 1, рис. 1, с помощью волоконных коллиматоров 2 типа #47-224 Edmund Optics заводится в волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) типа ОМЗ длиной 2,85 м 3 подключаемые к оптоволоконному герметичному переходнику [8] 5 посредством проходных разъемов типа ST-ST 4. Конструкция оптоволоконного герметичного переходника позволяет выводить оптоволоконные линии в количестве до 4-х штук из объема камеры взаимодействия (КВ) с высоким вакуумом (от 10^{-4} до 10^{-5} Торр). Далее посредством проходных разъемов типа ST-ST 4 к выходным разъемам оптоволоконного герметичного переходника подключаются ВОЛС ОМЗ длиной 20 м 6 транслирующие излучения на входную оптоволоконную щель 7, установленную во входном тубусе фотохронографа СЭР-5 8 на место анализирующей время щели. Для исключения оптического пробоя на входных торцах ВОЛС 3 и с целью подбора уровня мощности для линейной регистрации фотохронографа СЭР-5 перед входом волоконных коллиматоров предусмотрена конструкция, позволяющая установку проводящих селективирующих по длине волны и ослабляющих светофильтров. Выбор набора ослабляющих светофильтров подбирается в соответствии с прогнозируемым уровнем энергии в экспериментах. Синхронизация фотохронографа СЭР-5 осу-

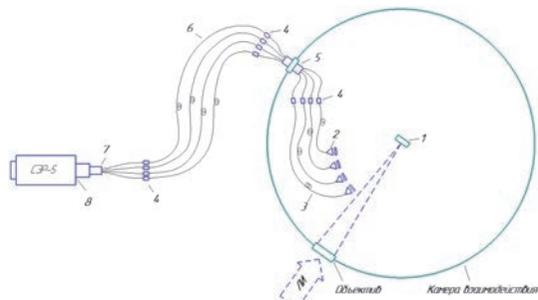


Рис. 1. Схема регистрации: 1 – мишень; 2 – волоконные коллиматоры; 3 – ВОЛС ОМЗ длиной 2,85 м; 4 – проходные разъемы типа ST-ST; 5 – оптоволоконный герметичный переходник; 6 – ВОЛС ОМЗ длиной 20м; 7 – входная оптоволоконная щель; 8 – фотохронограф СЭР-5

ществляется с использованием изготовленных кабельных линий задержек.

На рис. 2 приведена схема расположения четырех волоконных коллиматоров типа #47-224 Edmund Optics, установленных в объеме КВ при помощи конструктивных элементов обеспечивающих их прецизионную установку, относительно мишени. Технические характеристики волоконного коллиматора типа #47-224 Edmund Optics представлены в табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристики волоконного коллиматора #47-224 Edmund Optics

Наименование параметра и единица измерения	Фактические данные
Световая апертура, мм	5
Числовая апертура	0,16
Угол ввода излучения, °	9,2
Тип подключаемого волоконного коннектора	FC
Габаритные размеры, мм	Ø11 x 20,2

Мишень на рис. 2 представляет собой медное кольцо с отверстием Ø2,5 мм, в которое помещалась пена с разной плотностью. Юстировка волоконных коллиматоров осуществляется с помощью юстировочного источника ($\lambda = 650 \pm 10$ нм) подключаемого последовательно к четырем выходным разъемам оптоволоконного герметичного переходника снаружи КВ. Расстояние от волоконных коллиматоров до мишени представлены в табл. 2.

Таблица 2

Расстояния от мишени до волоконных коллиматоров

№ волоконного коллиматора согласно рис. 3	Расстояние от мишени до волоконного коллиматора, мм
1	225
2	195
3	230
4	295

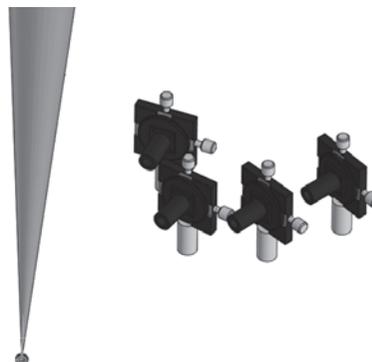


Рис. 2. Общий вид расположения приемников в вакуумной камере относительно мишени

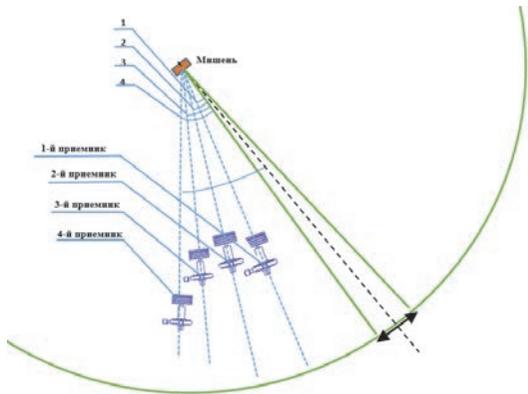


Рис. 3. Схема расположения волоконных коллиматоров в объеме КВ: 1 – 21°, 2 – 32°, 3 – 44°, 4 – 47°

На рис. 3 представлена схема расположения волоконных коллиматоров в объеме КВ.

Оценка поля зрения волоконных коллиматоров

Исходя из параметров волоконных коллиматоров типа #47-224 Edmund Optics и их геометрии установки в объеме КВ проведена оценка углового разрешения системы.

Поле зрения в плоскости мишени $D_{\text{миш}}$ определяется, как:

$$D_{\text{миш}} = D_{\text{кол}} + 2\theta L, \quad (1)$$

где $D_{\text{кол}}$ – световая апертура волоконного коллиматора, 2θ – дифракционная расходимость излучения $1,22 \cdot \lambda / D_{\text{кол}}$, L – расстояние от волоконного коллиматора до мишени.

Поле зрения в плоскости мишени волоконных коллиматоров представлены в табл. 3.

Таблица 3

Поле зрения волоконных коллиматоров в плоскости мишени

№ волоконного коллиматора согласно рис. 3	Поле зрения в плоскости мишени, мм
1	5,058
2	5,05
3	5,059
4	5,076

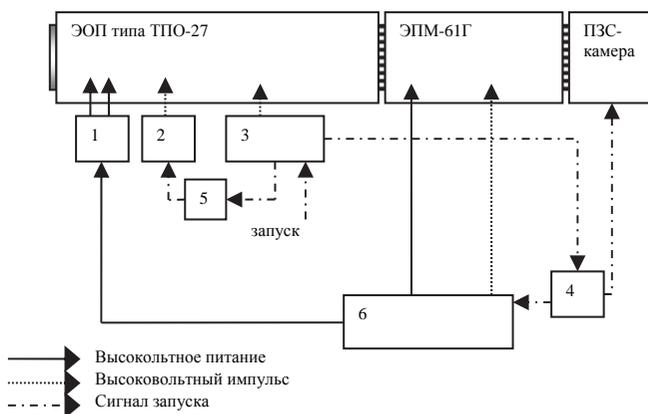


Рис. 4. Блок-схема фотохронографа СЭР-5: 1 – блок высоковольтного делителя для питания ЭОП; 2 – блок обратного гашения; 3 – блок электронной развертки; 4 – блок управления; 5 – задержка кабельная; 6 – блок высоковольтного питания

Фотохронограф СЭР-5

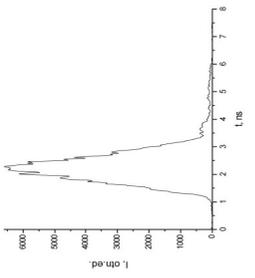
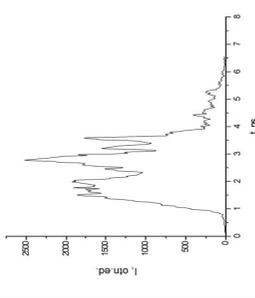
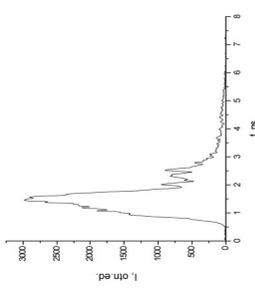
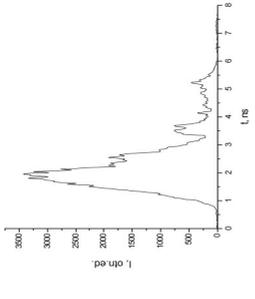
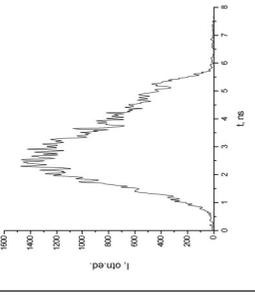
Использовался фотохронограф СЭР-5 [3, 9]. В качестве время анализирующего каскада в приборе использован электронно-оптический преобразователь (ЭОП) типа ТПО-27 производства ФГУП «ВНИИА» [10]. Данный ЭОП имеет следующие основные технические характеристики: предельное временное разрешение ≥ 70 пс; предельное пространственное разрешение ≥ 15 пар штрихов/мм; динамический диапазон ≥ 1000 , тип катода – мультищелочной фотокатод, выполненный на проводящей подложке, фотокатод выполнен на волоконно-оптической пластине. В устройство данного фотохронографа входят так же усилитель яркости типа ЭПМ61Г (производство МЭЛЗ, г. Москва) и прибор с зарядовой связью (ПЗС-камера) S2C-017 APF, осуществляющая регистрацию прошедшего сигнала через всю схему. Блок-схема фотохронографа СЭР-5 изображена на рис. 4.

Фотохронограф имеет следующие параметры: длительность развертки регистратора – 7,5 нс на экран, пространственное разрешение – 15 пар штр./мм при контрасте 5 %, временное разрешение регистрации – 70 пс при использовании волоконной щели из волокна OM1, динамический диапазон регистрации – не менее 200 по критерию изменения длительности на 20 % в линейном режиме регистрации.

Апробация методики на установке «Луч»

В табл. 4 приведены параметры эксперимента, хронограмма, прописи и временные параметры зарегистрированных сигналов с приемников и исходная форма лазерного импульса (ЛИ) 2ω , регистрируемая фотохронографом из состава штатного диагностического комплекса ЛИ 2ω .

Данные и параметры эксперимента с прописями фотохронограммы

<p>Мишень №76 – 26.07.2022_2(производства ИЛФИ): шайба из ТАЦ пены толщиной 627, плотностью пены с учетом усадки 22 мг/см³, Ø пятна фокусировки ЛИ - 100 мкм, E_{2,0}=240 Дж</p>				
Хронограмма с СЭР-5 (расположение каналов приемников сверху вниз: 3, линейный канал 2w, 1, 2, 4)				
1-й приемник	2-й приемник	3-й приемник	4-й приемник	Интегральная форма ЛИ
 <p>I_{max} = 6600 отн.ед.; τ_{0,5} = 1,05 нс; τ_{0,1} = 1,93 нс; τ_{фр} = 0,7 нс.</p>	 <p>I_{max} = 2490 отн.ед.; τ_{0,5} = 2,3 нс; τ_{0,1} = 2,95 нс; τ_{фр} = 0,61 нс.</p>	 <p>I_{max} = 2980 отн.ед.; τ_{0,5} = 0,8 нс; τ_{0,1} = 2,2 нс. τ_{фр} = 0,7 нс.</p>	 <p>I_{max} = 3400 отн.ед.; τ_{0,5} = 1,1 нс; τ_{0,1} = 2,17 нс; τ_{фр} = 0,76 нс.</p>	 <p>τ_{0,5} = 3,3 нс; τ_{0,1} = 4,7 нс; τ_{фр} = 1,2 нс.</p>

Примечание: I_{max} – максимум интенсивности в канале по фотохронограмме, τ_{0,5} – длительность импульса ЛИ по уровню 0,5/0,1 от I_{max}, τ_{фр} – длительность фронта импульса ЛИ по уровню от 0,1 до 0,9 I_{max}, E_{2,0} – энергия второй гармоники ЛИ регистрируемая на выходе кристалла-преобразователя.

Анализ результатов рабочего эксперимента показал, что временные формы, полученные датчиками 1–4, имеют отличия между собой и значительно отличаются от силового лазерного излучения. Возможно, что это является следствием значительной пространственно-временной неоднородностью рассеянного пеной ЛИ.

Полученные результаты требуют проведения дальнейших исследований.

По совокупности методика обеспечивает следующие параметры регистрации:

- временное разрешение регистрации – 70 пс при развертке 7,5 нс на экран;
- угловое разрешение канала регистрации – 12 мрад либо 20 мрад либо 0,2 рад;
- динамический диапазон линейной регистрации – 200;
- количество каналов регистрации – 4.

Заключение

Разработана оптическая система, позволяющая регистрировать рассеянное лазерное излучение из пятна облучения мишени с пространственно-угловым и временным разрешением. Система основана на волоконно-оптических линиях типа ОМЗ (50/125 мкм), подводящих излучение на щелевой фотохронографический регистратор СЭР-5.

Отработка и апробация данной методики проведена в ряде экспериментов на основной камере взаимодействия установки «Луч» при облучении мишеней из ТАЦ-пены.

Методика обеспечивает следующие параметры регистрации:

- временное разрешение регистрации – 70 пс при развертке 7,5 нс на экран;
- угловое разрешение канала регистрации – 12 мрад либо 20 мрад либо 0,2 рад;
- динамический диапазон линейной регистрации – 200;
- количество каналов регистрации – 4.

Методикой получены первые предварительные результаты по относительному пространственно-угловому распределению ЛИ рассеянного мишенью из малоплотной ТАЦ пены с временным разрешением. Полученные экспериментальные результаты будут использованы для их сопоставления с результатами модельных расчетов в целях изучения взаимодействия лазерного излучения с мишенями из пеноматериалов.

Работа выполнена в рамках научной программы Национального центра физики и математики по направлению «Физика высоких плотностей энергии».

Список литературы

1. Voronich I. N., Galakhov I. V., Garanin S. G. et al // *Quantum Electron.* 2003. Vol. 33. P. 485.

2. Бельков С. А. Ударная передача давления твердому веществу в мишени с пористым поглотителем излучения мощного лазерного импульса // *Журнал экспериментальной и технической физики.* 2022. № 161. С. 403–413.

3. Корниенко Д. С., Кравченко А. Г., Литвин Д. Н. Фотохронографические регистраторы для лазерного термоядерного синтеза // *ПТЭ.* 2014. № 2. С. 79–89.

4. Khalenkov A. M., Borisenko N. G., Kondrashov V. N., Merkuliev Yu. A., Limpouch J., Pimenov V. G. Experience of microheterogeneous target fabrication to study energy transport in plasma near critical density // *Laser and Particle Beams.* 2005. Vol. 24, N 2. P. 283–290.

5. Гаранин С. Г., Деркач В. Н., Зарецкий А. И. и др. Пространственно-временное сглаживание распределение интенсивности лазерного пучка в области фокусировки за счет прохождения через динамическую плазму // *Квантовая электроника.* 2001. Т. 31, № 11. С. 970.

6. Гуськов С. Ю., Змитренко Н. В., Никишин В. В. и др. Математическое моделирование 2D и 3D задач двухпучкового облучения сферических и плоских лазерных мишеней с малоплотным поглотителем // *Сборник трудов конференции по УТС.* Звенигород. 2000.

7. Искаков А. Б., Лебо И. Г., Розанов В. Б., Тишкин В. Ф. Численное моделирование двухпучкового нагрева и сжатия сферических оболочечных мишеней с малоплотным покрытием // *Сборник трудов конференции по УТС.* Звенигород, 2000.

8. Пат.2746311, РФ, G02В 6/24 (2006.01). Оптоволоконный герметичный переход / Лисовский О. Я., Стрельцов М. Ю., Ильченко А. Н. и др. *Бюллетень изобретений.* 2021. № 11.

9. Пат.2579760. РФ, H03К 4/12 (2006.01). Генератор напряжения развертки / Кравченко А. Г., Корниенко Д. С., Литвин Д. Н. и др. *Бюллетень изобретений.* 2016. № 10.

10. Фотоэлектронные приборы для исследования быстропротекающих процессов // *ФГУП «ВНИИА», www.vniia.ru/vakum/vakum.html.*