

МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ МОЩНОСТНОГО КОНТРАСТА ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Л. А. Душина, Д. С. Корниенко, А. Г. Кравченко,
Д. Н. Литвин, К. В. Стародубцев

В работе описаны фотохронографический способ измерения профиля фронта лазерного излучения (ЛИ) с большим динамическим диапазоном и способ измерения мощностного контраста, основанный на фотодиодах. Представлены результаты внедрения на установке “Луч” ИЛФИ РФЯЦ-ВНИИЭФ указанных способов регистрации при использовании разработанного авторами фотохронографа СЭР-5 и специально созданных оптических схем. Представлены результаты измерения мощностного контраста ЛИ, проведённые в силовых экспериментах и демонстрирующие возможность измерения глубокого профиля импульса с динамическим диапазоном до 10^6 и 10^9 и временным разрешением 250 пс и 70 пс (на первой и второй гармониках соответственно).

Ключевые слова: фотохронограф, мощностной контраст, динамический диапазон.

Введение. В экспериментах по изучению воздействия лазерного излучения на вещество (в частности ЛТС) важной характеристикой является мощностной контраст. Он определяется как отношение мощности в максимуме импульса к мощности предимпульса. Необходимо учесть, что предимпульсом считаем любой световой сигнал, пришедший до основного моноимпульса. Как вариант, это может быть как отдельный импульс, так и шум. В экспериментах по ЛТС используются несколько видов мишеней: прямого и непрямого облучения, основной частью которых является сфера с D–T смесью. В [1] показано, что при увеличении уровня мощности предимпульса от 10^{-8} до $10^{-6} - 10^{-4}$ от основного энергоклад в мишень снижается в 1.5–2 раза и нейтронный выход уменьшается.

ФГУП “РФЯЦ-ВНИИЭФ”, 607188 Россия, Нижегородская обл., г. Саров, пр. Мира, 37; e-mail: oefimova@otd13.vniief.ru.

Измерение мощностного контраста осуществляется путём регистрации формы импульса греющего лазерного излучения (ЛИ), точнее профиля его фронта. В современных установках мегаджоульного уровня энергии требуется измерение профиля фронта ЛИ с динамическим диапазоном не менее 10^8 на длине волны облучения мишени и высоким временным разрешением ($\tau_R \leq 0.1$ нс) [2]. При регистрации длительности импульса широко применяются осциллографические методы на основе быстродействующих фотодиодов и автокорреляционные методики [3]. Однако при их использовании не может быть достигнуто сочетание требуемых для указанной задачи значений динамического диапазона, временного разрешения и интервала регистрации. В отличие от них современные щелевые фотохронографы (стрик-камеры) на основе электронно-оптических преобразователей (ЭОП) позволяют наблюдать сигнал на развертках 10 – 20 нс при сохранении временного разрешения в пределах 100 пс. Но динамический диапазон таких регистраторов составляет от 100 до 1000, что само по себе достаточно далеко от требуемого значения. Кроме того, при классическом применении фотохронографа, можно провести измерение только основного импульса без информации об его пьедестале, а измерение камерой пьедестала требует высокой мощности сигнала, что может привести к насыщению фотокатода ЭОП или к его разрушению.

В настоящей работе предлагается новая оптическая схема, детекторами в которой могут выступать и фотохронограф, и диод. Основным преимуществом фотохронографа перед диодом для данной схемы является количество каналов регистрации.

Метод определения мощностного контраста на второй гармонике установки “Луч”. Ранее в [4] проводились исследования мощностного контраста лазерного излучения на второй гармонике неодимового лазера установки “Луч” [5]. Были достигнуты значения динамического диапазона измерения профиля фронта порядка 10^6 . Также был предложен метод увеличения динамического диапазона методики путём введения ещё одного измерительного канала. В описываемых здесь экспериментах был внедрён предложенный метод.

На рис. 1 представлена схема регистрации мощностного контраста на 2ω .

Излучение делится клином на два неравных по интенсивности сигнала, которые попадают на волоконные торцы двух разных блоков волоконно-оптического коллектора (БВОКов), на каждом из которых излучение замешивается и разделяется на несколько одинаковых каналов. Ослабление в каналах задаётся оптическими светофильтрами и аттенюаторами, которые позволяют создать шаг ранжирования между каналами 1:100:10000 на каждом БВОКе. Для транспортировки ЛИ на щель фотохронографа ис-

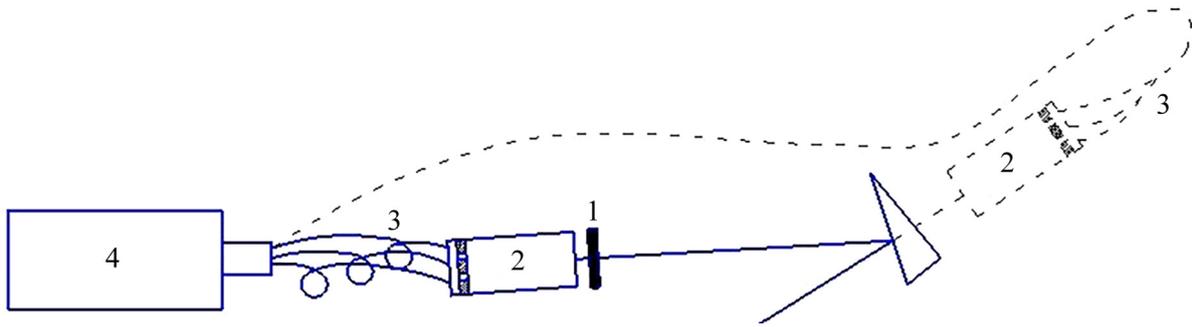


Рис. 1: Оптическая схема регистрации мощного контраста на второй гармонике: 1 – фильтры; 2 – блок волоконно-оптического коллектора; 3 – волоконно-оптический кабель ВОЛС; 4 – фотохронограф.

пользуется многомодовый волоконно-оптический кабель типа OM3 различной длины в каждом из каналов. Специально подобранная длина волоконно-оптических кабелей (ВОЛС) создаёт временную задержку, позволяющую выводить сигналы с насыщением за область регистрации (экран) ЭОП. Кроме того, ЭОП фотохронографа содержит пластины гашения, уводящие пучок фотоэлектронов с рабочей траектории в специальную ловушку, что позволяет исключить рассеяние большого сигнала внутри ЭОП и попадания его на выходной экран. Необходимо отметить, что в БВОК2 используются два канала с коэффициентом ослабления 1 и разными задержками. Это необходимо для увеличения обзорности по времени. Кроме этого, в БВОКах имеются два волоконно-оптических кабеля одинаковой длины для сшивки сигналов по амплитудам.

Регистрация проводилась на макетный фотохронограф типа СЭР-5 [6]. Используемый нами фотохронограф одновременно может регистрировать до 12 каналов. В эксперименте используются 6 каналов. Регистратор собран на современной элементной базе и оснащён цифровой ПЗС-камерой для считывания информации с экрана усилителя яркости. Основой прибора является ЭОП ТПО27. Разработанный макетный образец имеет динамический диапазон 1000 при временном разрешении 50 пс. Длительность развертки регистратора составляет 7.5 нс на экран. Временное разрешение волоконной системы заведения, состоящей из БВОК и волоконно-оптического кабеля, и регистратора, составляет 100 пс, динамический диапазон методики – 10^9 .

Результаты экспериментов. Проведена серия экспериментов. Энергия в экспериментах (на выходе кристалла-преобразователя) составила $E_{2\omega}$ от 300 до 500 Дж, длительность импульса $\tau_{0.5}$ – от 4 до 5 нс. На рис. 2 представлена обработка одного из таких измерений. В первом канале, максимально ослабленном, ведётся регистрация формы

ЛИ в линейном режиме работы ЭОП. В остальных регистрируется фронт ЛИ с различными коэффициентами ослабления, при этом насыщенная часть сигнала выводится за область регистрации за счёт различной длины ВОЛС. Восстановленная временная зависимость мощности ЛИ с учётом калибровочных коэффициентов приведена на рис. 2.

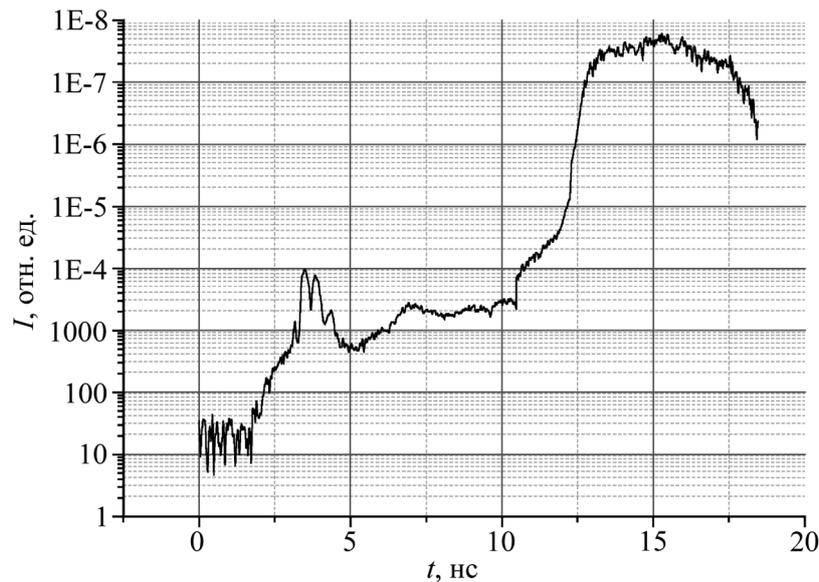


Рис. 2: Результат восстановления профиля лазерного импульса на второй гармонике.

Из приведенного графика видно, что получена форма профиля фронта импульса с динамическим диапазоном регистрации $5 \cdot 10^6$. У сигнала, зарегистрированного в линейном режиме, не использован запас по регистрации на порядок по мощности сверху. Поэтому увеличение энергии падающего излучения позволит расширить динамический диапазон регистрации до 10^9 .

Исследуемый сигнал представляет собой профилированный импульс с экспоненциальным профилем фронта, который формируется управляющими ячейками в задающем генераторе [7]. Регистрируемая форма фронта в широком динамическом диапазоне является в целом ожидаемой, однако за 11 нс до прихода моноимпульса наблюдается предимпульс с контрастом $5 \cdot 10^3$. Так как ранее подобных предимпульсов на второй гармонике не наблюдалось, возникла неоднозначность: или это ошибка измерения, или этот предимпульс имеет место быть и тогда должен наблюдаться и на первой гармонике. В связи с этим в штатной схеме диагностики первой гармонике на установке «Луч» создали оптическую схему для измерения мощностного контраста.

Метод определения мощностного контраста на первой гармонике установки “Луч”. Оптическая схема заведения исследуемого ЛИ на 1ω аналогична оптической схеме на второй гармонике. Измерения проводились на диодах DET08 и осциллографе R&S RTO1044 (4 ГГц). Временное разрешение методики, т.е. волоконной системы заведения + диод + осциллограф, составило 250 пс. Динамический диапазон методики составляет 10^6 .

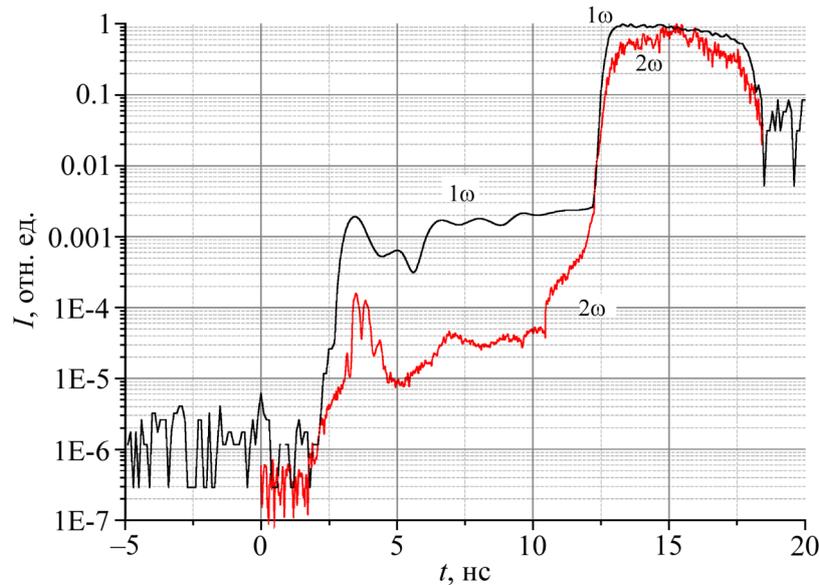


Рис. 3: Результат восстановления профилей лазерного импульса на первой и второй гармониках.

На рис. 3 представлены результаты восстановленных профилей фронтов импульса на 1 и 2 гармониках. Для сравнения сигналы нормированы по амплитуде и сведены по времени.

Как видно из рис. 3, форма импульса на первой и второй гармониках качественно совпадает и является ожидаемой. Предимпульс наблюдается на обоих графиках в одно и то же время, что говорит о достоверности полученных результатов в измерении профиля фронта на второй гармонике. Причиной полученного предимпульса может служить недостаточное запираение затвора (ячейки Поккельса).

Заключение. Разработаны методики измерения мощностного контраста лазерного импульса, позволяющие обеспечить следующие параметры регистрации:

– динамический диапазон измерения мощностного контраста лазерного импульса на длине волны $\lambda = 1.054 \text{ мкм} - 10^6$, $\lambda = 0.527 \text{ мкм} - 10^9$;

– временное разрешение канала регистрации $\lambda = 1.054$ мкм – 250 пс, $\lambda = 0.527$ мкм – не хуже 100 пс.

Методики внедрены в систему диагностики параметров ЛИ установки “Луч”.

Работа подготовлена по материалам VIII Международной молодежной научной школы-конференции “Современные проблемы физики и технологий”.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] А. А. Андреев, В. Г. Богородин, А. Л. Запысов и др., Квантовая электроника **17**(10), 1306 (1990).
- [2] J. D. Lindl, Phys. Plasmas **2**, 3933 (1995).
- [3] An-Chun Tien, Marc Nantel, et al., Optics Letters **22**(20), 1559 (1997).
- [4] И. А. Белов, А. Ю. Воронин, Л. А. Душина и др., Physics of Wave Phenomena **27**, № 3, (2019).
- [5] I. N. Voronich, I. V. Galakhov, S. G. Garanin, et al., Quantum Electron. **33**(6), 485 (2003).
- [6] Д. С. Корниенко, А. Г. Кравченко, Д. Н. Литвин и др., Приборы и техника эксперимента, № 2, 1 (2014).
- [7] И. В. Кузьмин, Б. Г. Зималин, А. В. Савкин и др., Сборник аннотаций докладов 18-ой научно-технической конференции “Молодежь в науке” (Саров, изд. ВНИИЭФ, 2019), с. 25–26.

Поступила в редакцию 18 июля 2019 г.

После доработки 12 ноября 2019 г.

Принята к публикации 15 ноября 2019 г.

Публикуется по рекомендации VIII Международной молодежной научной школы-конференции “Современные проблемы физики и технологий” (НИЯУ “МИФИ”, Москва, 2019 г.).