

РЕГИСТРАЦИЯ ПРОФИЛЯ ФРОНТА ЛАЗЕРНОГО ИМПУЛЬСА С ПИКОСЕКУНДНЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ И БОЛЬШИМ ДИНАМИЧЕСКИМ ДИАПАЗОНОМ НА МНОГОКАНАЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

© 2019 г. Л. А. Душина^{а,*}, А. Г. Кравченко^а, Д. Н. Литвин^а,
В. В. Мисько^а, А. В. Сеник^а, А. Е. Чаунин^а

^а РФЯЦ-ВНИИ экспериментальной физики
Россия, 607190, Саров Нижегородской обл., просп. Мира, 37

*e-mail: dushinala@gmail.com

Поступила в редакцию 30.07.2018 г.

После доработки 30.07.2018 г.

Принята к публикации 13.09.2018 г.

Представлены результаты разработки методики измерения мощностного контраста лазерного импульса путем регистрации профиля фронта импульса с большим динамическим диапазоном. Методика разработана на основе скоростного фотохронографа и волоконно-оптических линий связи и позволяет обеспечить следующие параметры регистрации: динамический диапазон измерения мощностного контраста лазерного импульса на длине волны $\lambda = 0.53 \text{ мкм} - 10^7$; временное разрешение канала регистрации – не хуже 60 пс. Показан путь повышения мощностного контраста до 10^{11} за счет использования оптической схемы на основе элементов с нелинейным пропусканием.

DOI: 10.1134/S0032816219020071

ВВЕДЕНИЕ

Эксперименты на мощных лазерных установках, связанные с облучением мишеней, в том числе по лазерному термоядерному синтезу, требуют детальной информации о профиле фронта лазерного импульса. В зависимости от его крутизны доля поглощенной лазерной энергии, переработанной в кинетическую энергию оболочки мишени и определяющей, в конечном счете, параметры микровзрыва, может изменяться в значительных пределах. В современных установках мегаджоульного уровня энергии требуется измерение профиля фронта с динамическим диапазоном $\geq 10^6$ и высоким временным разрешением ($\tau_p \leq 0.1 \text{ нс}$). Такие параметры удается достичь, используя в качестве детектора оптический фотохронографический регистратор на основе электронно-оптического преобразователя (э.о.п.), работающего в режиме целевой развертки изображения [1].

СХЕМА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА

Разработанная методика в основном ориентирована на регистрацию мощностного контраста лазерного импульса (л.и.) путем регистрации профиля фронта импульса с большим динамическим диапазоном в условиях большого числа ла-

зерных каналов. При эксплуатации многоканальной установки с большим количеством подсистем важной становится задача минимизации площади размещаемого оборудования, стоимости оборудования и его обслуживания. Комплекс регистрации л.и. можно строить на основе волоконно-оптических линий связи (в.о.л.с.) по принципу один канал – одно волокно с последующим вводом ряда каналов на один э.о.п. [2]. Применение э.о.п. с фотокатодом большой длины позволяет объединить в одном приборе десятки измерительных каналов.

На рис. 1 приведена схема измерения мощностного контраста, выполненная на основе в.о.л.с. Излучение для регистрации поступает на фокусирующую линзу L , которая строит на входе волоконного световода 2 изображение ближней зоны л.и. в параксиальных лучах $\alpha \leq \alpha_a$, где $\alpha_a = 10^\circ$ – апертурный угол ввода излучения в в.о.л.с. Этим достигается равномерная засветка световода, исключающая оптический пробой на его торце.

Выход световода 2 разбит на несколько меньших по диаметру световодов. Для усреднения излучения и выравнивания его по отдельным каналам регистрации используется световод со смешанным коллектором. Расстояние между выходом

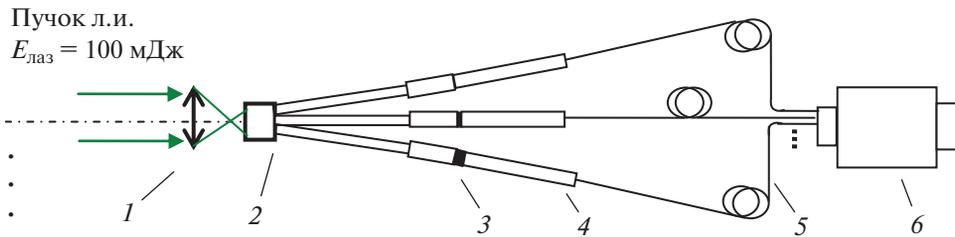


Рис. 1. Схема измерения мощностного контраста, выполненная на основе в.о.л.с. 1 – фокусирующая линза; 2 – волоконный световод; 3 – оптические ослабители; 4 – кварцевый стержень; 5 – в.о.л.с.; 6 – фотохронограф.

волоконного световода 2 и входом в.о.л.с. 5 (около 5 см) выбирается из условия полного перекрытия элементарных световых конусов от отдельных жил световода. Для исключения искажающего влияния спекловой структуры когерентного излучения на регистрацию после волоконного рассеивателя и для более эффективного ввода энергии выходной световод стыкуется с в.о.л.с. через светопровод в виде кварцевого стержня 4 с полированными поверхностями.

Высокая чувствительность позволяет применить систему измерения с ранжированием сигнала до 10^7 – 10^8 раз.

Между выходами световода 2 и кварцевыми стержнями 4 установлены оптические ослабители с шагом ослабления 100. Для измерений мощностного контраста в одной точке используются три канала с ранжированием сигнала. Кабели в.о.л.с. в плоскости времяанализирующей щели фотохронографа сформированы в виде линейки.

Чтобы уменьшить влияние рассеяния и расплывания сигналов в областях насыщения на соседние сигналы, измеряемые в нелинейном режиме сигналы регистрировались с временной задержкой, подобранной так, чтобы области сигналов с насыщением выводились за область регистрации э.о.п. Кроме того, э.о.п. фотохронографа содержит пластины гашения, уводящие пучок фотоэлектронов с рабочей траектории в специальную ловушку, что позволяет исключить рассеяние большого сигнала внутри э.о.п. и попадание его на выходной экран.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОТРАБОТКА МЕТОДИКИ

Экспериментальная отработка методики измерения мощностного контраста л.и. проводилась на излучении импульсного неодимового лазера ЛТИ-44 (производство ВНИИОФИ, Москва) на длине волны $\lambda = 0.53$ мкм. Длительность импульса составляла $T = 5$ нс, энергия $E = 40$ мДж. Лазерный импульс имел нестабильную временную субструктуру с периодом от 0.2 до 0.5 нс. Основная направленность исследований заключалась в получении

информации о возможности достижения максимального динамического диапазона регистрации глубокого профиля фронта, а также в проверке работоспособности измерительной схемы на основе в.о.л.с.

В качестве детектора использовался оптический щелевой фотохронограф [1]. Пространственное разрешение прибора по входу 21 пара штрихов/мм с контрастом 7.5%. Техническое временное разрешение регистратора, задаваемое длительностью развертки (10 нс/экран) и входной щелью регистратора (50 мкм), составляло 60 пс (предельное физическое временное разрешение э.о.п. – не хуже 3 пс). Линейный динамический диапазон фотохронографа $ДДР_{\text{лин}} = 1300$.

На рис. 2 представлены результаты регистрации профиля фронта лазерного импульса с учетом указанной методической временной задержки и коэффициентов ранжирования соответствующих каналов. В первом канале, максимально ослабленном, ведется регистрация формы л.и. в линейном режиме работы э.о.п. с динамическим диапазоном $ДДР_{\text{лин}} = 1300$. Второй и третий каналы регистрируют в режиме насыщения э.о.п. с ростом мощности облучения соответственно шагу ранжирования. Задержка сигнала второго канала относительно первого составляет 5 нс, задержка между третьим и вторым сигналами – 2.5 нс. Диаграммы мощности приведены в относительных единицах.

Мощность облучения в третьем (открытом) канале была в несколько раз ниже максимально допустимой облученности фотокатода $P_S^{\text{max}} = 5 \cdot 10^6$ Вт/см², которая примерно соответствует порогу повреждения [2].

В результате обработки сигнала л.и., зарегистрированного с ранжированием, была получена форма профиля фронта импульса с динамическим диапазоном $\sim 10^7$. Скорость нарастания фронта л.и. составила 0.5 нс при изменении мощности на порядок.

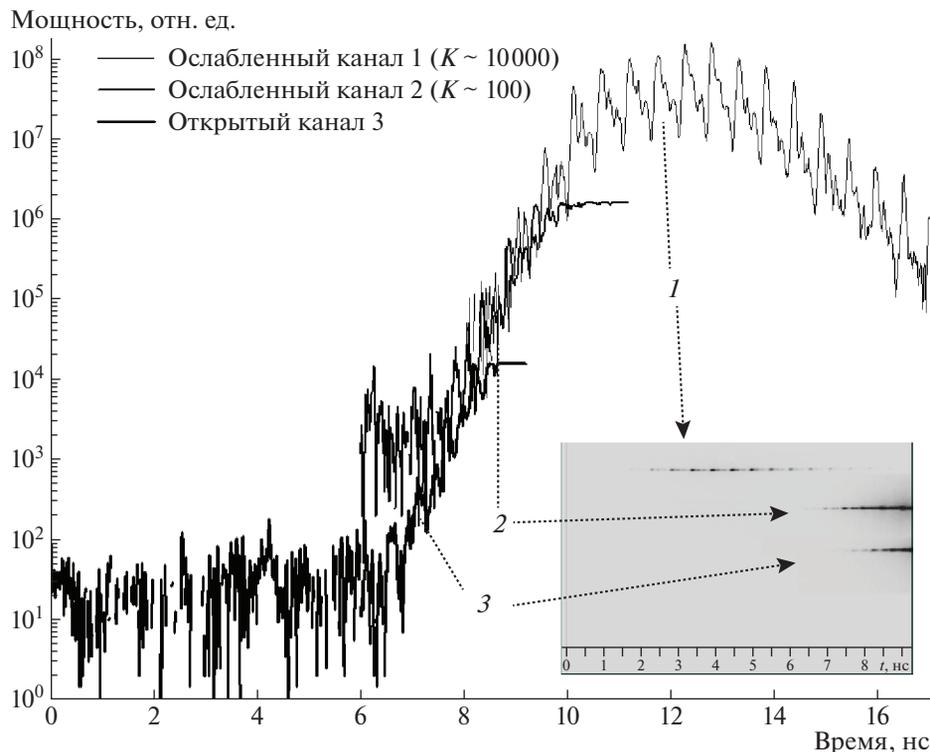


Рис. 2. Результат обработки эпограмм с учетом коэффициентов ранжирования и временных задержек каналов: 1, 2, 3 – эпограммы регистрации импульса л.и.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕТОДИКИ

Дальнейшее увеличение динамического диапазона измерения профиля фронта л.и. тем же способом ограничено сверху порогом мощности разрушения фотокатода. Для преодоления этого недостатка предлагается ввести следующее изменение в оптическую схему измерения. Поскольку в оптической схеме, представленной на рис. 1, самым слабым по оптической прочности местом является фотокатод э.о.п. в канале с наименьшим коэффициентом ослабления, предлагается перенести критическое место по оптической прочности с фотокатода в специальную промежуточную точку оптической схемы.

Максимально допустимая плотность мощности на фотокатоде составляет $\approx 10^7$ Вт/см². Пороговое значение плотности мощности, соответствующее оптическому пробую на оптоволоконном коллекторе, не превышает 10^8 Вт/см². Значительное ослабление сигнала за счет предлагаемой системы ввода л.и. в в.о.л.с. между входом волоконно-оптического коллектора и в.о.л.с. позволяет перенести критическое место с фотокатода э.о.п. на защитный элемент с нелинейным коэффициентом пропускания. В качестве такого элемента может использоваться разрушаемое зеркало, насыщающийся светофильтр или пробой на поверхности оптического элемента. В последнем случае обра-

зующийся в результате пробоя плазменный непрозрачный слой на пластине экранирует лазерное излучение и отсекает максимальную часть сигнала. Возможная схема представлена на рис. 3 [3].

На первом коллекторе осуществляется измерение фронта л.и. до максимума импульса, поэтому на этот канал подается только часть энергии ($\sim 1\%$). Это достигается путем отведения части л.и. оптическим элементом 1 с коэффициентом отражения $\sim 1\%$ и ослабляется при необходимости светофильтром 4.

Остальная энергия л.и. подается на вход второго коллектора б. Установленный перед коллектором элемент 5 с нелинейным коэффициентом пропускания предотвращает разрушение оптической схемы и фотокатода э.о.п.

Оптические ослабители 8 подбираются с одинаковым шагом ранжирования. Шаг необходимо выбирать меньшим или равным динамическому диапазону регистратора. Для корректного восстановления фронта сигнала предлагается сделать два канала с одинаковыми итоговыми коэффициентами ослабления за разными коллекторами. При энергии л.и. 100 Дж, коэффициенте ранжирования 100 на усовершенствованной схеме можно получить мощностной контраст до 10^{11} .

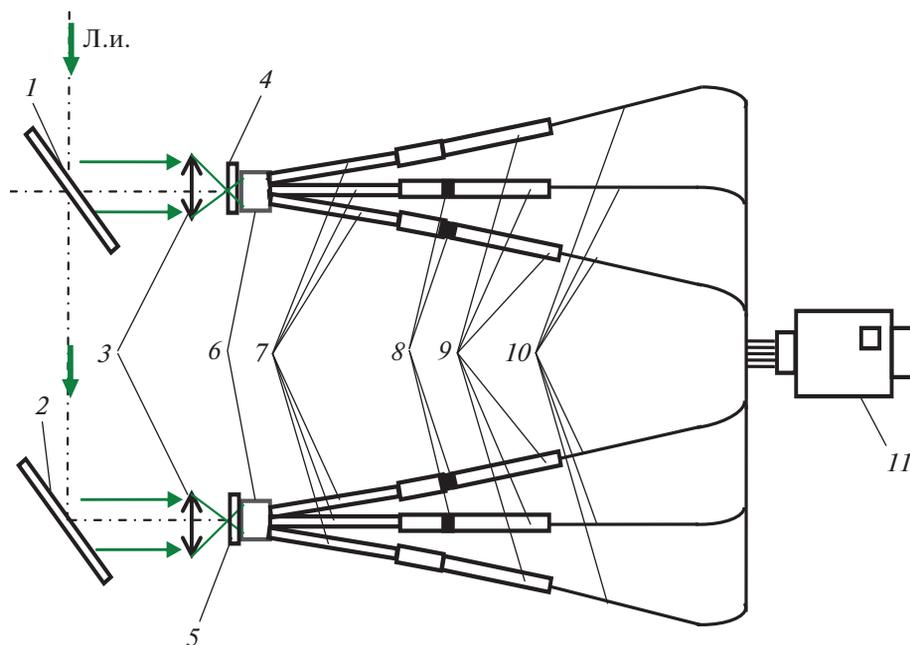


Рис. 3. Усовершенствованная схема измерения мощного контраста, выполненная на основе в.о.л.с. 1 – оптический элемент с коэффициентом отражения $\sim 1\%$; 2 – зеркало; 3 – фокусирующая линза; 4 – светофильтр (ослабитель); 5 – элемент с нелинейным коэффициентом пропускания; 6 – оптоволоконный коллектор; 7 – волоконный световод; 8 – оптические ослабители; 9 – кварцевый стержень; 10 – в.о.л.с.; 11 – фотохронограф.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлены результаты разработки методики измерения мощного контраста лазерного импульса путем регистрации профиля фронта импульса с большим динамическим диапазоном. Методика разработана на основе скоростного фотохронографа и волоконно-оптических линий связи.

Методика позволяет обеспечить следующие параметры регистрации:

- динамический диапазон измерения мощного контраста лазерного импульса на длине волны $\lambda = 0.53 \text{ мкм} - 10^7$;

- временное разрешение канала регистрации – не хуже 60 пс.

Показан путь повышения мощного контраста до 10^{11} за счет использования оптической схемы на основе элементов с нелинейным пропусканием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корниенко Д.С., Кравченко А.Г., Литвин Д.Н., Мисько В.В., Рукавишников А.Н., Сеник А.В., Стародубцев К.В., Тараканов В.М., Чаунин А.Е. // ПТЭ. 2014. № 2. С. 78. doi: 10.7868/S0032816214020104
2. Кирдяшкин М.Ю., Муругов В.М., Окутин Г.П., Сеник А.В. // Квантовая электроника. 1992. Т. 19. № 10. С. 1032.
3. Литвин Д.Н., Кравченко А.Г., Сеник А.В., Мисько В.В., Чаунин А.Е., Душина Л.А. Патент на изобретение № 2587684 РФ // Бюл. № 17. Оpubл. 20.06.2016 г.