

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИОФ РАН

доктор физ.-мат. наук,

чл.-корр. РАН

С.В. Гарнов

2022 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Кузьмина Игоря Валерьевича «Управление параметрами лазерных импульсов для генерации электронных сгустков в фотоинжекторах», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – Лазерная физика.

Востребованность профилирования лазерных импульсов УФ-диапазона обусловлена влиянием 3D пространственно-временной формы лазерных импульсов на параметры генерируемых с поверхности фотокатода электронных сгустков. Управление распределением пространственного заряда играет значительную роль во многих задачах ускорительной физики, в том числе при формировании электронных сгустков с экстремально малым поперечным нормализованным эмиттансом и генерации терагерцового излучения в ондуляторе.

В диссертации рассматриваются задачи, связанные с формированием и диагностикой 3D профилированных чирпированных лазерных импульсов инфракрасного, видимого и УФ-диапазонов. В работе предложены способы высокоэффективной генерации второй и четвертой гармоник широкополосных чирпированных импульсов ИК-диапазона. Особое внимание уделяется формированию и диагностике лазерных импульсов УФ-диапазона с длительностью несколько десятков пс и имеющих периодическую модуляцию интенсивности. Формирование таких импульсов важно для генерации терагерцового излучения мДж уровня энергии в лазерах на свободных электронах, работающих в режиме самоусиления спонтанного излучения.

Структурно диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы, содержащего 136 наименований. Общий объем диссертации 124 страницы, включая 60 рисунков. Во введении изложены актуальность темы исследования, научная новизна и практическая значимость работы, сформулированы цели и задачи исследования, приведен обзор научных исследований по тематике работы. Указаны личный вклад автора и положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассматриваются задачи по формированию лазерных импульсов с периодической модуляцией (частота модуляции ~ 1 ТГц) интенсивности, а также лазерных импульсов с квазиправильным распределением интенсивности. В главе показано, что, применительно к лазерным импульсам со значительной линейной частотной модуляцией, использование спектральных фазовых и амплитудных масок, размещенных в Фурье-плоскости оптического компрессора с нулевой частотной дисперсией, позволяет управлять распределением интенсивности лазерных импульсов. В частности, инфракрасные лазерные импульсы с периодической модуляцией интенсивности во времени, управляемой по глубине и периоду, могут быть получены путем внесения периодической модуляции в фазу спектра. Кроме того, в главе рассмотрен способ получения модулированных лазерных импульсов видимого и УФ-диапазонов при использовании интерферометрической схемы (классической или в «in-line» исполнении), на выходе которой вместо поляризационного делителя размещается двулучепреломляющий кристалл, компенсирующий задержку между модулированными импульсами с ортогональной поляризацией. Импульс на выходе схемы промодулирован с глубиной, зависящей от величины задержки, но при этом полностью деполаризован. Предложенный подход позволяет значительно сократить требования к спектральной ширине интерферирующих импульсов при формировании импульсов длительностью 10-30 пс с управляемой по глубине терагерцовой модуляцией.

Во второй главе рассмотрены способы высокоэффективной генерации суммарной частоты широкополосными чирпированными лазерными импульсами. Показано, что угловое чирпирование позволяет реализовать групповой синхронизм при генерации второй (четвертой) гармоники и сохранить сформированное 3D распределение интенсивности, в том числе и при наличии модуляции интенсивности на терагерцовой частоте. Показано, что при генерации второй гармоники чирпированными лазерными импульсами более выгодной является неколлинеарная генерация, при которой взаимодействующие импульсы имеют частотные чирпы разного знака. В этом случае сгенерированный лазерный импульс второй гармоники имеет малую (близкую к Фурье-пределу от длительности чирпированного импульса) спектральную ширину и пространственно-временное распределение интенсивности, повторяющее распределение интенсивности фундаментальной гармоники. Продемонстрировано, что применение указанной схемы взаимодействия лазерных импульсов (спектральная ширина ~ 60 нм) позволяет сохранить промодулированное во времени 3D распределение интенсивности при высокой эффективности преобразования. Показано, что при генерации четвертой гармоники лазерного импульса с периодической модуляцией интенсивности, возможно управление глубиной модуляции за счет контролируемого изменения эффективности преобразования и вклада материальной дисперсии в нелинейном кристалле.

Кроме того, в главе рассмотрен способ формирования лазерных импульсов видимого и УФ диапазона с квази-конусообразным распределением интенсивности.

В третьей главе рассмотрены задачи, связанные с диагностикой пространственно-временного распределения интенсивности широкополосных лазерных импульсов, в том числе с частотным и угловым чирпами. Для диагностики 3D профилированных лазерных импульсов видимого диапазона предложено использовать сканирующий кросскоррелятор, в котором осуществляется генерация суммарной частоты, для профилированных УФ-импульсов предложено использовать генерацию разностной частоты. Продемонстрировано, что корректное восстановление 3D формы модулированных с терагерцовой частотой лазерных импульсов возможно при отсутствии у диагностируемых импульсов углового чирпа. Это связано с тем, что при пересечении диагностического и профилированного импульсов захватывается несколько периодов модуляции интенсивности. В этом случае пространственно-временное распределение интенсивности на суммарной (разностной) частоте становится промодулированным. При определении гладких распределений интенсивности амплитудный наклон не влияет на точность работы кросскоррелятора.

Также в главе проведено численное моделирование работы одноимпульсного автокоррелятора интенсивности второго порядка. Численно проанализирована точность определения длительности малопериодных лазерных импульсов с центральными длинами волн 910 нм и 780 нм при использовании кристалла KDP. Показано наличие оптимального угла схождения между пучками, при котором восстановление длительности сопровождается наименьшей ошибкой. Продемонстрировано влияние квадратичной и кубичной модуляции фазы спектра у диагностируемого малопериодного импульса на точность определения длительности автокорреляционной функции.

В заключении обозначены основные результаты диссертации. В диссертационной работе представлен ряд новых научных результатов:

1) Предложен метод создания управляемой по глубине и периоду модуляции во временном распределении интенсивности у широкополосных линейно чирпированных лазерных импульсов за счет внесения дополнительной гармонической модуляции в фазу спектра.

2) Предложено использовать два последовательно расположенных двулучепреломляющих кристалла для формирования модулированных импульсов с длительностью 10-30 пс.

3) На примере профилированных чирпированных лазерных импульсов с периодической модуляцией интенсивности во времени продемонстрирована возможность

генерации излучения второй и четвертой гармоник с сохранением формы за счет использования у взаимодействующих импульсов частотных чирпов разного знака.

4) Показана возможность управления глубиной модуляции интенсивности у профилированных лазерных импульсов УФ-диапазона за счет изменения длины нелинейного кристалла и интенсивности импульса при преобразовании в четвертую гармонику.

5) Предложено использовать взаимодействие между цилиндрическим и эллипсоидальными импульсами с частотными чирпами разного знака при генерации второй гармоники для получения квази-конусообразных лазерных импульсов видимого диапазона.

6) Показано, что при определении длительности АКФ спектрально-ограниченных малопериодных импульсов в одноимпульсном автокорреляторе интенсивности второго порядка существуют оптимальные значения толщин кристалла генератора второй гармоники и углов схождения пучков в нем.

По диссертационной работе могут быть сделаны следующие замечания:

1. В разделе 1.2 при обсуждении возможных причин квазипериодической модуляции лазерного импульса, обнаруженной в ходе проведения экспериментов по получению профилированных импульсов, рассматривается модель возникновения такой модуляции, основанная на предположении о поляризационных искажениях, вносимых пространственным модулятором света. При этом один из возможных эффектов, проиллюстрированный на рисунке 1.12 отвергается, так как при проведении экспериментов наблюдаемый спектр излучения не содержал модуляции, которые возникают в модельном расчете. Однако, рассчитанный спектр излучения содержит особенности, для наблюдения которых в эксперименте требуется высокое спектральное разрешение спектрометра. В описании экспериментальной части приводится следующая характеристика спектрометра: «разрешающая способность 0.015 нм/пиксель». Представляется целесообразным привести анализ экспериментальных возможностей применяемой спектральной диагностики с точки зрения наблюдения особенностей регистрируемого распределения.

2. При определении подходов к получению треугольной формы импульса, в частности для подавления осцилляций, возникающих на резком заднем фронте, обсуждаются возможности амплитудной коррекции спектральных компонент различными масками. При этом не рассматривается вопрос о целесообразности и возможностях фазовой коррекции спектральных компонент, который также может быть реализован с помощью пространственных модуляторов света. Также, детально рассмотрены особенности временной формы получаемых импульсов, однако не обсуждается выбор конкретных подходов к профилированию спектра, таких как использование именно супер-Гауссовой функции в качестве способа сглаживания резких участков. Представляет интерес более детальный анализ возможных методов коррекции

особенностей спектра, применение которых позволяет подавить осцилляции временной формы получаемых импульсов.

Сделанные замечания не снижают общую положительную оценку работы и не влияют на обоснованность выносимых на защиту результатов.

Достоверность полученных автором результатов подтверждается хорошим согласованием численных, аналитических и экспериментальных результатов, а также сторонними источниками, приведёнными в списке цитируемой литературы. Достоверность полученных результатов подтверждается публикациями в высокорейтинговых научных журналах, а также их представлением на международных конференциях. Результаты исследования изложены в 21 работе, из которых 8 статей опубликовано в рецензируемых российских и зарубежных журналах, индексируемых в международных базах данных Web of Science и Scopus, и 13 работ в сборниках материалов конференций.

Заключение

Диссертационная работа Кузьмина Игоря Валерьевича «Управление параметрами лазерных импульсов для генерации электронных сгустков в фотоинжекторах» соответствует критериям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней» предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – Лазерная физика.

Отзыв составил:

Ведущий научный сотрудник лаборатории лазерной спектроскопии отдела колебаний ИОФ РАН, кандидат физико-математических наук по специальности 01.04.21 – Лазерная физика, Букин Владимир Валентинович, e-mail: vbkn@kapella.gpi.ru, тел.: +7 499 503-87-77, доб. 4-55.

Заведующий лабораторией
лазерной спектроскопии, к.ф.-м.н.

 Букин В.В.

Сведения об организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук» (ИОФ РАН)

Адрес: 119991 ГСП-1, г. Москва, ул. Вавилова, д. 38

Web: <https://www.gpi.ru/>

Телефон: +7 (499) 503-8734