

АВТОКОРРЕЛЯТОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ОДИНОЧНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ <10 фс

© 2019 г. А. В. Конященко^а, Л. Л. Лосев^{а,*}, В. С. Пазюк^а

^а Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН
Россия, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинский просп., 53

*e-mail: llosev@mail.ru

Поступила в редакцию 31.05.2018 г.

После доработки 31.05.2018 г.

Принята к публикации 20.06.2018 г.

Разработан автокоррелятор на основе неколлинеарной генерации второй гармоники в кристалле для измерения длительности одиночных лазерных импульсов короче 10 фс. Измерена длительность импульса широкополосной лазерной системы, которая составила 6.2 фс.

DOI: 10.1134/S0032816219010129

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы большое внимание уделяется созданию и исследованию мощных фемтосекундных лазерных систем с предельно малой длительностью импульса – в несколько периодов световой волны (короче 10 фс при длине волны ~1 мкм). Интерес к таким лазерам обусловлен, в первую очередь, возможностью их использования для генерации аттосекундных световых импульсов [1]. В связи этим актуальна разработка методов и устройств для измерения длительности лазерных импульсов короче 10 фс. На сегодня для измерения длительности таких импульсов наиболее широко используются приборы на основе методов FROG (Frequency Resolved Optical Gating) [2] и SPIDER (Spectral Phase Interferometry for Direct Electric field Reconstruction) [3]. Эти методы реализуются весьма сложными в настройке и использовании приборами, а также включают в себя обработку достаточно большого объема экспериментальных данных путем сложных математических вычислений, что ведет к снижению точности и стабильности измерений, а также увеличивает время, необходимое для получения результата.

В процессе проведения эксперимента часто возникает необходимость оперативно измерить длительность одиночного лазерного импульса. При этом не требуется знания точной формы импульса. Для этой цели часто используют автокорреляционные методы измерений. Среди них наибольшее распространение получил метод на основе неколлинеарной генерации второй гармоники в кристалле [4].

Суть метода заключается в разделении входного лазерного пучка на два пучка с одинаковыми

интенсивностями, как и во всех автокорреляционных методах, и направлении этих световых пучков под углом друг к другу в нелинейный кристалл. При определенной ориентации кристалла происходит генерация второй гармоники излучения по направлению биссектрисы угла между пучками лазерного излучения. При этом ширина пучка второй гармоники в плоскости пучков лазерного излучения пропорциональна длительности импульса. Измеряя ширину пучка второй гармоники, можно определить длительность импульса лазерного излучения.

К достоинствам данного метода относится возможность измерения длительности одиночного лазерного импульса, отсутствие фона, в отличие от автокорреляционных методов на основе, например, фотолюминесценции при многофотонных процессах [5], а также простота оптической схемы и обработки результатов измерения. Сложность, которая возникает при использовании этого метода для импульсов с длительностью

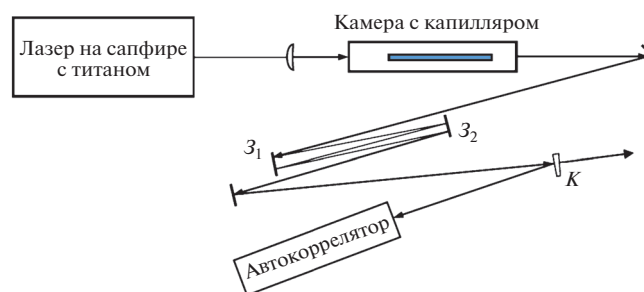


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

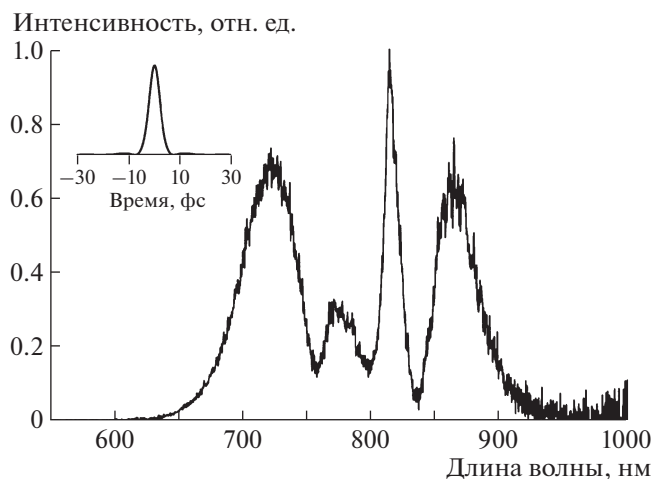


Рис. 2. Спектр излучения на выходе камеры с капилляром. На вставке показан рассчитанный спектрально-ограниченный импульс с соответствующим спектром.

в единицы фемтосекунд, связана с необходимостью использования оптического делителя для расщепления исходного лазерного пучка на два.

Обычно в качестве оптического делителя применяют полупрозрачное широкополосное диэлектрическое зеркало, нанесенное на тонкую прозрачную подложку. Несмотря на использование подложек для зеркала минимально возможной толщины, прохождение лазерного пучка через подложку зеркала приводит к дисперсионному расплыванию фемтосекундного лазерного импульса. Например, при прохождении через кварцевую подложку толщиной 1 мм лазерный импульс с длиной волны 0.8 мкм и длительностью 6 фс растягивается до 18 фс. В результате на нелинейный кристалл приходят лазерные импульсы различной длительности, и результат измерения исходного импульса становится неверным. Чем короче лазерный импульс, тем сильнее влияние этого эффекта на процесс измерения.

Целью данной работы было создание и исследование автокоррелятора на основе неколлинеарной генерации второй гармоники в кристалле для корректного измерения длительности фемтосекундных лазерных импульсов короче 10 фс.

ЛАЗЕРНАЯ СИСТЕМА

В качестве источника фемтосекундных световых импульсов с длительностью короче 10 фс использовалась лазерная система, включающая фемтосекундный лазер на сапфире с титаном и временной капиллярный компрессор импульсов (рис. 1).

Лазер на сапфире с титаном (REUS-3m1k (ООО “Авеста-Проект”, Москва) был построен по схеме “задающий генератор—регенеративный усилитель” и излучал импульсы на центральной

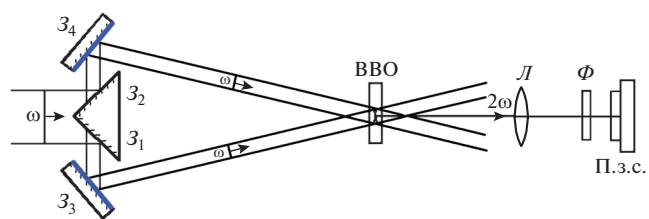


Рис. 3. Оптическая схема автокоррелятора.

длине волны 800 нм с энергией до 2 мДж при частоте повторения импульсов 1 кГц. Длительность импульса составляла 35 фс. Распределение интенсивности по сечению светового пучка было близко к гауссову.

Для получения импульсов с длительностью короче 10 фс применялся капиллярный компрессор импульсов [6]. Лазерное излучение фокусировалось на вход капилляра длиной 600 мм с внутренним диаметром 150 мкм. Капилляр размещался в камере, заполненной неоном до давления 4 атм. Эксперименты проводились при энергии импульса на входе капилляра, равной 500 мкДж. На выходе капилляра энергия импульса составляла 140 мкДж. Спектрально уширенный и chirпированный в процессе фазовой самомодуляции импульс на выходе капилляра коллимировался зеркалом и направлялся во временной компрессор из chirпированных зеркал Z_1 и Z_2 (Layertec). На рис. 2 показан спектр импульса на выходе капилляра и рассчитанный спектрально-ограниченный импульс с данным спектром.

При отражении от chirпированных зеркал происходила компенсация положительного chirпа, вызванного фазовой самомодуляцией, и импульс сжимался до длительности, близкой к длительности спектрально-ограниченного импульса с соответствующим спектром. В данном случае число отражений от chirпированных зеркал равнялось 4. Часть компрессированного импульса, отраженная от грани кварцевого клина, направлялась в автокоррелятор.

АВТОКОРРЕЛЯТОР

Оптическая схема автокоррелятора представлена на рис. 3. Для исключения эффектов, связанных с дисперсией оптических элементов, в данном автокорреляторе использовалась только отражательная оптика с металлическим покрытием. Световой пучок, отраженный от кварцевого клина K (рис. 1), диаметром 5 мм подавался на ребро прямоугольной призмы, которая выполняла роль оптического делителя. Энергия импульса составляла ~3 мкДж. Пучки примерно равной интенсивности, отраженные от граней призмы Z_1 , Z_2 (рис. 3), с помощью зеркал Z_3 , Z_4 направлялись под углом фазового синхронизма генерации не-

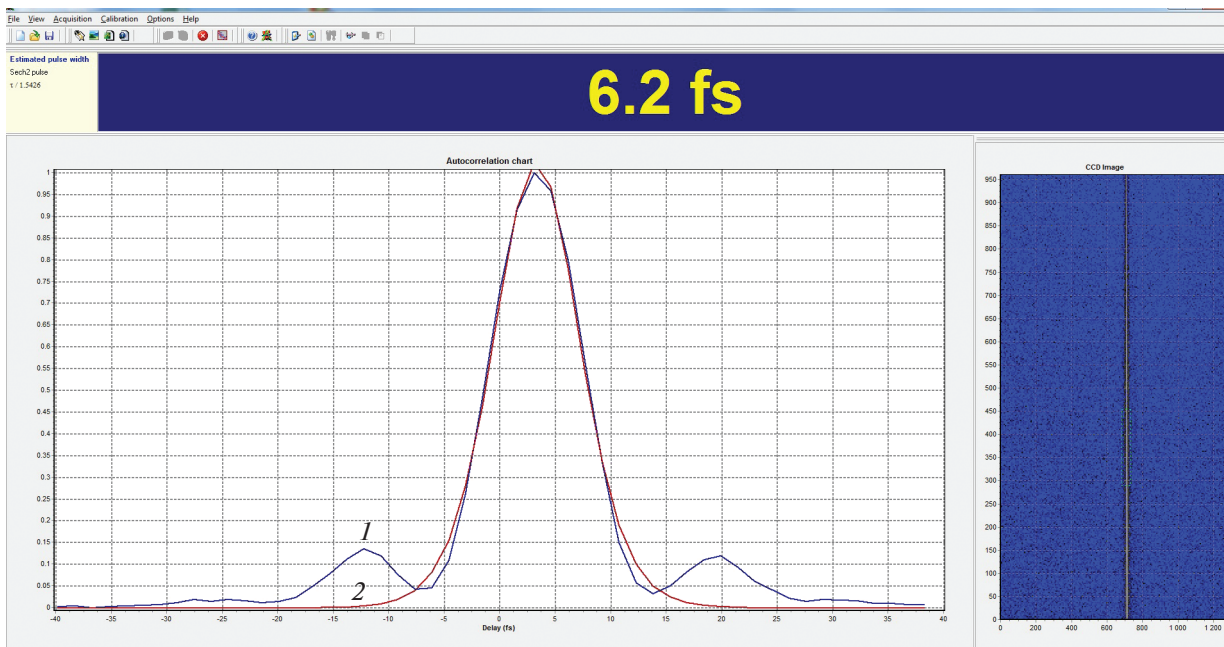


Рис. 4. Снимок экрана компьютера в процессе измерения импульса с длительностью 6.2 фс. Справа показано изображение, полученное с п.з.с.-матрицы, слева на графиках представлены результаты измерения автокорреляционной функции (1) и расчета автокорреляционной функции для импульса формы sech^2 с длительностью 6.2 фс (2). Наличие субимпульсов в измеренном импульсе связано с неполной компенсацией chirpa спектрально уширенного импульса chirпированными зеркалами.

коллинеарной второй гармоники на поверхность кристалла. В качестве нелинейной среды для генерации второй гармоники использовался кристалл ВВО (Varium borate BaB_2O_4) толщиной 10 мкм. Малая толщина кристалла требовалась для обеспечения необходимой частотной полосы фазового синхронизма в случае широкополосного фемтосекундного импульса. Изображение области генерации второй гармоники на поверхности кристалла переносилось с увеличением на п.з.с.-матрицу камеры с помощью линзы L . Перед камерой были установлены фильтры Φ из цветного стекла для блокировки рассеянного кристаллом лазерного излучения. Исходя из размера области генерации второй гармоники и угла схождения пучков излучения с помощью компьютера вычислялась длительность лазерного импульса. На рис. 4 показан снимок экрана компьютера с результатами измерения. Длительность импульса составила 6,2 фс (в предположении импульса формы sech^2), что согласуется с длительностью спектрально-ограниченного импульса, приведенного на рис. 2. При размере пикселя, равном 3.75 мкм в используемой п.з.с.-матрице с шириной 4.8 мм, данный автокоррелятор рассчитан на измерение импульсов в пределах от 5 до 250 фс.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в результате проведенных исследований создан автокоррелятор для измере-

ния длительности одиночных лазерных импульсов короче 10 фс.

Следует отметить, что благодаря использованию в автокорреляторе только оптики с металлическим покрытием появляется возможность измерения длительности импульсов в широком спектральном диапазоне. При перестройке длины волны лазерного излучения требуется лишь изменить угол наклона оптической оси кристалла ВВО по отношению к плоскости падения лучей лазерного излучения, что предусмотрено в конструкции прибора, и заменить фильтры из цветного стекла перед камерой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Calegari F., Lucchini M., Negro M., Vozzi C., Poletto L., Svelto O., Silvestri S., Sansone G., Stagira S., Nisoli M.* // J. Phys. B. 2012. V. 45. P. 074002. doi 10.1088/0953-4075/45/7/074002
2. *Kane D.J., Trebino R.* // IEEE J. Quantum Electron. 1993. V. QE-29. P. 571. doi 10.1109/3.199311
3. *Iaconis C., Walmsley I.A.* // Opt. Lett. 1998. V. 23. P. 792. doi.org/10.1364/OL.23.000792
4. *Janzky J., Corradi G., Gyuzalian R.N.* // Opt. Commun. 1977. V. 23. P. 293. doi.org/10.1016/0030-4018(77)90365-0
5. *Herrmann J., Palme M., Susse K.E.* // Opt. Quant. Electron. 1978. V. 10. P. 195. doi.org/10.1007/BF01208851
6. *Nisoli M., De Silvestri S., Svelto O.* // Appl. Phys. Lett. 1996. V. 68. P. 2793. doi.org/10.1063/1.116609