

УДК 535.33:66.085.2

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ГЕНЕРАТОРА СУПЕРКОНТИНУУМА

А.Г. Шмелев, А.В. Леонтьев, Г.М. Сафиуллин, В.С. Лобков

Аннотация

Исследована возможность генерации суперконтинуума в различных средах (вода, стекло, лейксапфир) для использования в качестве пробного излучения в экспериментах по флеш-фотолизу с наносекундным разрешением. Наилучшие параметры суперконтинуума получены при прохождении усиленных фемтосекундных импульсов через воду ($\lambda_{\max} = 787$ нм, $\tau_{FWHM} = 260$ фс, $J = 18$ мкДж).

Введение

Суперконтинуум – свет, характеризующийся широким спектральным диапазоном и высокой пространственной когерентностью. Обычно такой свет получают благодаря нелинейному взаимодействию интенсивного лазерного излучения со средой. В большинстве случаев для генерации суперконтинуума используется излучение фемтосекундного лазера, импульсы которого обладают высокой пиковой мощностью излучения, например, в нашем эксперименте средняя плотность излучения в импульсе составляла $3.3 \cdot 10^{13}$ Вт/см². При этих интенсивностях взаимодействие излучения приобретает нелинейный характер для таких обычных сред, как стекло, вода и даже воздух. Суперконтинуум, полученный с помощью фемтосекундного импульса, обладает длительностью от единиц до десятков пикосекунд и шириной спектра от ультрафиолета до ближнего ИК, что открывает уникальные возможности использования этого источника света в спектроскопии с временным разрешением. Кроме использования суперконтинуума в спектроскопии, с его помощью можно формировать более короткие фемтосекундные импульсы, используя оптическую компрессию.

В настоящее время суперконтинуум нашел свое применение в телекоммуникации (здесь используется, в основном, широкий спектральный диапазон), в оптической томографии, в спектроскопии, в экспериментах по флеш-фотолизу и т. д. В экспериментах по флеш-фотолизу наиболее важен широкий спектр излучения и малая длительность импульса. Этим требованиям отвечает фемтосекундный суперконтинуум.

В лаборатории молекулярной фотохимии Казанского физико-технического института КазНЦ РАН в настоящий момент проводятся эксперименты по флеш-фотолизу с наносекундным разрешением, в связи с этим возникли вопросы: возможно ли в качестве пробного излучения использовать суперконтинуум? Суперконтинуум с какими параметрами возможно получить в нашей лаборатории? Чтобы ответить на эти вопросы, была проведена серия экспериментов с целью получения наиболее мощного и спектрально широкого излучения.

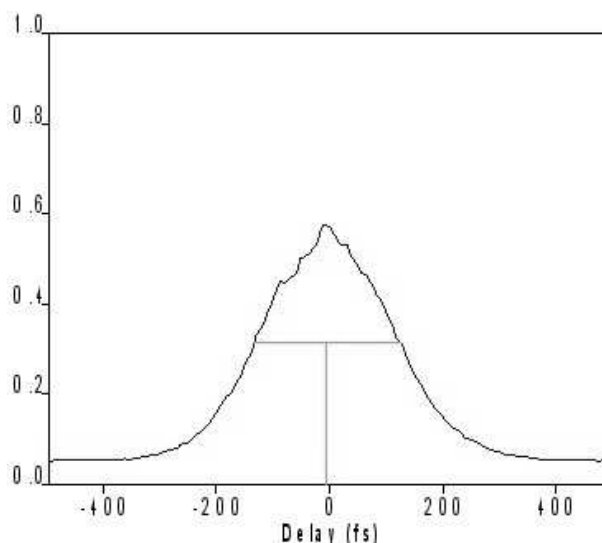


Рис. 1. Автокорреляционная функция (неколлинеарная ГВГ) усиленного фемтосекундного импульса

1. Эксперимент

Наиболее важные характеристики суперконтинуума – это спектр, длительность и чирп. Спектр можно измерить стандартными средствами, тогда как для измерения длительности и чирпа требуются специальные методики. Так, для измерения длительности импульса обычно применяется одна из автокорреляционных методик, например, стандартная с использованием интерферометра Майкельсона. Измерение чирпа – это обычно более сложная задача, его можно измерять как напрямую, например, с помощью быстродействующего оптического затвора на основе эффекта Керра, так и с помощью косвенных методов на основе генерации второй гармоники (ГВГ), которые позволяют при определённых условиях одновременно измерять и длительность, и чирпирование.

Для измерения спектра мы использовали изготовленные в нашей лаборатории спектрографы с фотоэлектрической регистрацией (на основе ПЗС-линеек ILX-554В весь спектр проецировался на одну линейку). Градуировка спектрографов производилась с помощью неоновой лампы. Для измерения длительности использовался автокоррелятор на основе неколлинеарной ГВГ (ASF-20 Avesta Project, г. Троицк). К сожалению, с помощью этого автокоррелятора нельзя измерить импульсы с полушириной автокорреляционной функции более 500 фс. Единственное, что можно сказать о длительности: длительность импульса суперконтинуума больше – 500 фс, но меньше 0.5 нс и, скорее всего, составляет несколько сотен пс. Поэтому в этой работе выводы были сделаны только на основе спектра суперконтинуума.

Для генерации суперконтинуума использовались усиленные фемтосекундные лазерные импульсы. Импульсы с длительностью 103 фс¹, частотой следования 100 МГц и энергией импульса 600 нДж генерировались стандартным Ti:сапфировым лазером. С помощью быстродействующего затвора (ячейки Покельса) частота следования понижалась до 50 Гц, и импульсы попадали в многопроходный усилитель с Ti:сапфиром в качестве активной среды. Усиленные импульсы с длитель-

¹Полуширина автокорреляционной функции неколлинеарной ГВГ составляла 146 фс, длительность импульса рассчитана в предположении гауссовой формы импульса.

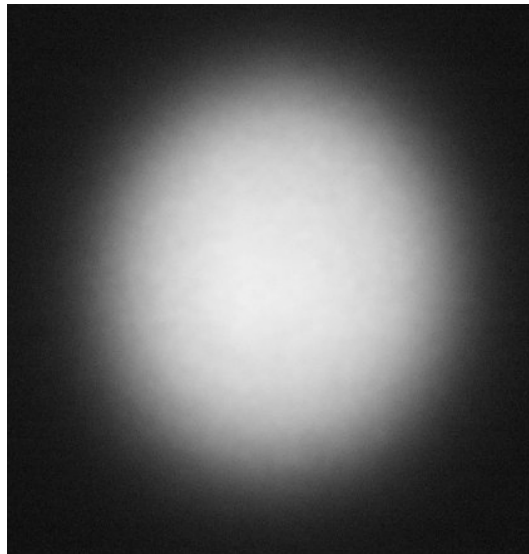


Рис. 2. Фотография суперконтинуума, генерируемого в воде

ностью 183 фс^2 (рис. 1) и энергией 18 мкДж фокусировались линзой с фокусным расстоянием 120 мм в толще образца; получившийся в результате свет (рис. 2) регистрировался с помощью спектрографа с дифракционной решёткой, весь видимый диапазон (от 400 нм до 1000 нм) проецировался на ПЗС-линейку.

В качестве среды для генерации суперконтинуума использовались вода, стекло и лейксапфир. Толщины кюветы с дистиллированной водой и стеклянной пластины составляли 10 мм , пластины лейксапфира – 2 мм . Следует отметить, что интенсивность неусиленных импульсов была недостаточна для эффективной генерации суперконтинуума. Мощность усиленных импульсов была такова, что в месте перетяжки пучка происходил пробой воздуха. Если лейксапфир и вода не претерпевали каких-либо изменений, то в стекле происходило образование центров окраски, а в случае фокусировки излучения на поверхности стекла – её разрушение (пробой). При уменьшении энергии импульса до 2 мкДж (установкой мелкой сетки на пути пучка) центры окраски не образовывались, и никаких оптических разрушений замечено не было, но интенсивность суперконтинуума и ширина его спектра существенно падали. На рис. 3 представлена фотография наиболее интенсивного суперконтинуума, спроецированного на экран на расстоянии 20 см .

2. Результаты и обсуждение

Генерация суперконтинуума – типичный нелинейный процесс [1], обусловленный нелинейностью третьего порядка. Фактически, это четырёхфотонное параметрическое взаимодействие, при котором два фотона исчезают, а два других – рождаются. При достаточной интенсивности лазера и соблюдении условия фазового синхронизма это параметрическое взаимодействие может вызвать каскадообразный процесс, при котором рождаются импульсы с очень широким спектром частот – суперконтинуум.

²Полуширина автокорреляционной функции неколлинеарной ГВГ составляла 260 фс , длительность импульса рассчитана в предположении гауссовой формы импульса.

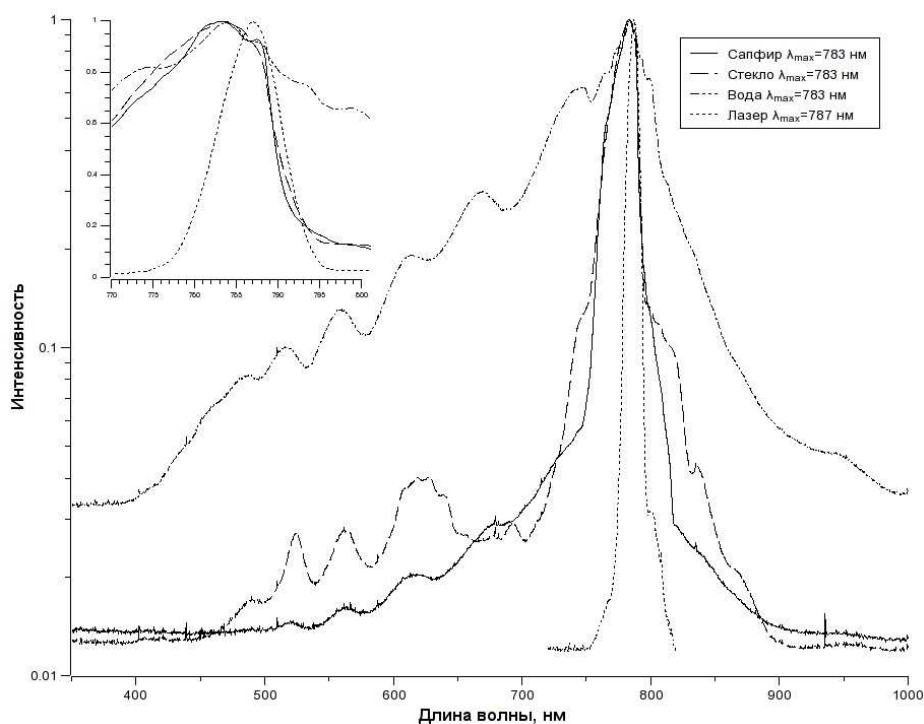


Рис. 3. Нормированные спектры суперконтинуума и лазерного импульса

Ранее в нашей лаборатории были проведены эксперименты по генерации суперконтинуума [2], но с другими параметрами излучения накачки (длительность импульсов – 100 фс, энергия – 3 мкДж). Импульсы фокусировались линзой с фокусным расстоянием 50 мм в кювету с водой длиной 10 мм. Однако энергия была недостаточна для эффективного уширения импульса – ширина спектра была практически в два раза меньше.

В данном эксперименте наиболее удачной средой для использования в качестве генератора суперконтинуума оказалась дистиллированная вода. Кроме широкого спектра, вода очень технологична: даже если энергия импульса лазера будет слишком велика, и вода начнёт испаряться, этого можно будет избежать путём прокачки с большой скоростью. Следует отметить, что подбором толщины пластинки лейксапфира и апертуры пучка можно попытаться добиться лучших результатов. Следует также заметить, что на широких спектрах отчётливо заметна интерференционная картина, создаваемая ПЗС-структурой линейки. На фоне этой структуры выделяется отсутствие локального пика между 650 и 700 нм в спектре суперконтинуума, генерируемого в стекле. Это свидетельствует о наличии полосы поглощения в этой области, что можно объяснить поглощением света центрами окраски.

3. Выводы

В нашей экспериментальной установке с фемтосекундными импульсами с длительностью 260 фс и энергией 12 мкДж при фокусировке линзой с фокусным расстоянием 120 мм наиболее эффективно можно использовать дистиллированную воду в качестве среды для генерации суперконтинуума. В этом случае получается самый широкий спектр, нет никаких проблем с оптическим разрушением и появлением полос поглощения.

Summary

A.G. Shmelev, A.V. Leontiev, G.M. Safiullin, V.S. Lobkov. Supercontinuum generator optimization.

It was investigated possibility of supercontinuum generation in various media (e. g. water, glass, sapphire) for flash photolysis with nonsecond resolution. The best parameters of supercontinuum was achieved with propagating femtosecond laser pulses ($\lambda_{\max} = 787$ nm, $\tau_{FWHM} = 260$ fs, $J = 18$ μ J) through water.

Литература

1. Херман Й., Вильгельми Б. Лазеры сверхкоротких световых импульсов / Пер. с нем. – М.: Мир, 1986. – 368 с.
2. Фемтосекундная лазерная спектроскопия органических молекул, кластеров и тонких плёнок: отчёт о НИР за 1997 год по проекту Фонда НИОКР РТ. – Казань, 1997. – 21 с.

Поступила в редакцию
26.01.07

Шмелев Артемий Геннадьевич – магистрант Казанского государственного университета.

E-mail: *sgartjom@mail.ru*

Леонтьев Андрей Владимирович – аспирант Казанского физико-технического института им. Е.К. Завойского КазНЦ РАН.

Сафиуллин Георгий Маратович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории молекулярной фотохимии Казанского физико-технического института им. Е.К. Завойского КазНЦ РАН.

Лобков Владимир Сергеевич – кандидат физико-математических наук, заместитель заведующего лабораторией молекулярной фотохимии Казанского физико-технического института им. Е.К. Завойского КазНЦ РАН.