

Гибридная фемтосекундная лазерная система на основе фотохимического XeF(C–A)-усилителя с апертурой 12 см

А.И. Аристов¹, Я.В. Грудцын¹, И.Г. Зубарев¹, Н.Г. Иванов²,
А.В. Конященко⁴, О.Н. Крохин¹, В.Ф. Лосев², А.О. Маврицкий⁴,
С.Б. Мамаев¹, Г.А. Месяц¹, Л.Д. Михеев¹, Ю.Н. Панченко²,
А.А. Растворцева¹, Н.А. Ратахин², М. Сентис³, А.Н. Стародуб¹,
С.Ю. Теняков⁴, О. Утеза³, В.И. Черемискин^{1,3}, В.И. Яловой^{1*}

¹Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН
119991, г. Москва, Ленинский просп., 53, Россия

²Институт сильноточной электроники СО РАН
634055, г. Томск, пр. Академический, 2/3, Россия

³Laboratoire Lasers, Plasmas et Procédés Photoniques, FRE 2165 CNRS – Aix-Marseille II University,
Campus de Luminy, case 917, 13288 Marseille Cedex 09, France

⁴ООО «АВЕСТА-ПРОЕКТ»
142190, г. Троицк Московской обл., Россия

Поступила в редакцию 5.08.2009 г.

Сообщается о запуске гибридной фемтосекундной лазерной системы на основе Ti:сапфирового стартового комплекса «Старт-480М» и фотохимического XeF(C–A)-усилителя с апертурой 12×12 см. Комплекс обеспечивает 50-фс импульс излучения с энергией на второй гармонике (475 нм) 5 мДж. Активная среда создается в смеси XeF₂/N₂ при воздействии вакуумного УФ-излучения ксенона, возбуждаемого электронным пучком. При усилении 50-фс импульса с энергией 4 мДж на выходе усилителя получено 250 мДж.

Ключевые слова: XeF(C–A) усилитель, Ti:сапфировый стартовый комплекс, активная среда, ксеноновый конвертер, ВУФ-излучение; XeF(C–A) amplifier, Ti:Sa start complex, active medium, Xe converter, VUV radiation.

Введение

В настоящее время в различных лабораториях мира ведется строительство уникальных установок, рассчитанных на получение импульсов света петаваттного уровня мощности (10^{15} Вт), и разрабатываются новые технологии, позволяющие в перспективе достичь экзаваттного (10^{18} Вт) уровня мощности. Большой интерес к лазерному излучению сверхвысокой мощности обусловлен возможностью его использования для генерации электронных и ионных пучков высокой энергии с рекордными плотностями тока, быстрого зажигания лазерного термоядерного синтеза, генерации аттосекундных импульсов в рентгеновском диапазоне, стимулирования ядерных реакций и т.д.

Технологии, используемые при создании сверхмощных лазерных комплексов в диапазоне длительностей 30–100 фс, основаны, главным образом, на применении твердотельных титан-сапфировых или параметрических усилителей и техники усиления положительного chirпированных импульсов, т.е. растянутых во времени импульсов методом линейной частотной модуляции. После усиления импульсы снова сжимают до исходной длительности. Удлинение импульса необходимо для снижения его мощности ниже порога нелинейного самовоздействия и составляет в твердотельных системах примерно 10^4 – 10^5 раз. Растяжение и сжатие импульсов осуществляются с помощью решеток с золотым покрытием. Одна из наиболее существенных трудностей, возникающих при масштабировании таких систем до мультипетаваттного уровня мощности, связана с ограничениями на размеры дифракционных решеток для компрессии импульса на выходе оконечного каскада (при характерной для них лучевой прочности $0,2$ Дж/см² размер решетки в петаваттной системе достигает 70 см).

На протяжении нескольких последних лет обсуждаются проблема создания и потенциальные возможности гибридной фемтосекундной системы [1–4], отличительной чертой которой является использование в конечном каскаде усиления газовых активных сред с фотохимической накачкой. Достоинством

* Андрей Иванович Аристов; Яков Викторович Грудцын; Иосиф Геннадиевич Зубарев; Николай Георгиевич Иванов; Александр Викторович Конященко; Олег Николаевич Крохин; Валерий Федорович Лосев (losev@ogl.hcei.tsc.ru); Алексей Олегович Маврицкий; Сергей Борисович Мамаев; Геннадий Андреевич Месяц; Леонид Дмитриевич Михеев (mikheev@sci.lebedev.ru); Юрий Николаевич Панченко; Александра Анатольевна Растворцева; Николай Александрович Ратахин; Марк Сентис; Александр Николаевич Стародуб; Сергей Юрьевич Теняков; Оливье Утеза; Вадим Игоревич Черемискин; Валерий Ильич Яловой.

такой схемы построения фемтосекундных систем является то обстоятельство, что благодаря гораздо более низкой оптической нелинейности газовых активных сред по сравнению с твердым телом допустимый коэффициент временного растяжения фемтосекундных импульсов перед их усилением на три порядка меньше, чем в твердотельных системах. Это позволяет усиливать chirпированные импульсы пикосекундного диапазона длительностей и использовать для их сжатия после усиления более простые методы, например за счет положительной дисперсии групповых скоростей в обычном стекле, вместо сложных и дорогостоящих вакуумных компрессоров на основе дифракционных решеток, применяемых в твердотельных системах.

В качестве активных сред обсуждаются эксимерные молекулы $\text{XeF}(\text{C}-\text{A})$, Xe_2Cl и Kr_2F , которые обладают широкими полосами усиления ($\Delta\lambda = 60 \div 100$ нм), соответствующими спектрально ограниченными импульсам менее 10 фс. Данные активные среды не уступают наиболее широкополосной на сегодняшний день твердотельной активной среде на основе $\text{Ti}:\text{Sa}$. С другой стороны, лазерные переходы указанных газовых сред лежат в синезеленой спектральной области (480, 520 и 420 нм соответственно), совпадающей со второй гармоникой $\text{Ti}:\text{Sa}$ -лазера, что позволяет использовать в качестве стартового генератора фемтосекундных импульсов твердотельные $\text{Ti}:\text{Sa}$ -системы, получившие в настоящее время широкое распространение. Нелинейное преобразование излучения для спектрального согласования твердотельной системы с газовой активной средой способствует существенному повышению контраста, что является важным преимуществом гибридной системы. Наконец, газовые активные среды не имеют физических ограничений на их масштабирование. Так, в фотодиссоционном XeF -лазере в режиме свободной генерации была получена энергия в импульсе 120 Дж на переходе $\text{C}-\text{A}$ (480 нм) [5] и 1 кДж на переходе $\text{B}-\text{X}$ (353 нм) [6].

В Институте сильноточной электроники СО РАН (г. Томск) и Физическом институте РАН (г. Москва) ведутся совместные разработки физико-технических принципов получения лазерных импульсов излучения петаваттного уровня мощности в газовых активных средах. В рамках этих работ в ФИАН и ИСЭ СО РАН создаются мощные лазерные системы (стенды) на основе выходного $\text{XeF}(\text{C}-\text{A})$ -усилителя с апертурой 12×12 см (ФИАН) [7–10] и 24 см (ИСЭ СО РАН). Данные стенды отличаются простотой и оригинальностью схемных решений, дешевизной и возможностью их масштабирования.

Такие лазерные системы базируются на принципиально новой физической концепции, предложенной сотрудниками ФИАН и развитой впоследствии совместно с лабораторией LP3 Марсельского университета, а также на оригинальных разработках ускорительной техники ИСЭ СО РАН. В основу лазерных систем заложен принцип усиления слабочирпированного фемтосекундного импульса

в газовой активной среде на эксимерных молекулах $\text{XeF}(\text{C}-\text{A})$.

В настоящей статье описывается гибридная лазерная система с выходным $\text{XeF}(\text{C}-\text{A})$ -услителем, имеющим апертуру 12×12 см, и приводятся первые результаты экспериментальных исследований, полученные на ней.

Методики измерения

Параметры ускорителя электронов определялись стандартными методами. Измерение напряжения на вакуумном диоде ускорителя проводилось с использованием резистивного делителя, ток измерялся с помощью пояса Роговского. Величина энергии электронного пучка за фольгой измерялась с помощью калориметра ТПИ-2-7, а вложенная в газовую камеру энергия определялась по скачку давления в камере с помощью механотрона 6МДх1Б.

Для получения максимальной эффективности преобразования энергии электронного пучка в вакуумное ультрафиолетовое (ВУФ) излучение ксенона обеспечивались высокая чистота ксенона в ВУФ-конвертере (99,9997%) и минимальное газовыделение конструкционных материалов. После срабатывания электронного ускорителя происходило постепенное ухудшение чистоты ксенона. Для восстановления прежней чистоты газа отработанный ксенон несколько раз пропускался через систему очистки «Sircal MP-2000». Число циклов очистки ксенона зависело от количества импульсов возбуждения ксенона и времени его нахождения в газовой камере.

Для определения энергии накачки ВУФ-излучения в лазерной камере использовались две методики. По первой методике с помощью калориметра ТПИ-2-7 измерялась энергия ВУФ-излучения, вошедшая в лазерную камеру. Для определения процентного содержания ВУФ-излучения в свечении ксенона были проведены измерения уровня регистрируемой калориметром энергии через различные фильтры (стеклянные, кварцевые, CaF_2 -пластины и воздушный зазор различной толщины). Все фильтры предварительно калибровались с помощью излучения ксеноновой лампы (172 нм) и селективного измерителя мощности с узким спектральным диапазоном в области 172 нм – Н8035-172. Оценка энергии, поглощенной в активной среде, производилась с учетом коэффициента поглощения парами XeF_2 на длине волны 172 нм и геометрии лазерной камеры. Геометрические потери излучения накачки через боковые поверхности лазерной кюветы, связанные с угловым распределением излучения накачки, оценивались на основании результатов измерения освещенности на различных расстояниях от оси кюветы, находящейся под вакуумом. В результате численного моделирования с учетом геометрических потерь и поглощения парами XeF_2 было показано, что при оптимальном парциальном давлении XeF_2 (0,3–0,4 мм рт. ст.) потери излучения на стенках лазерной камеры составляют около 30%.

По второй методике определялась энергия ВУФ-излучения, вложенная в лазерную смесь, которая состояла из азота при давлении 0,25–1 атм и паров XeF_2 при давлении 0,2–1 мм рт. ст. Для этого измерялась интегральная по времени накачки степень разложения молекул XeF_2 путем регистрации изменения после накачки поглощения излучения Hg-лампы на длине волны 253,7 нм, прошедшего через активную среду в двухпроходной схеме. Сечение поглощения парами XeF_2 на этой длине волны составляет $1,15 \cdot 10^{-19} \text{ см}^2$ [11]. На основании этих измерений и временного профиля коэффициента усиления вычислялись энергия и мощность накачки активной среды.

Измерение коэффициента усиления для малого сигнала проводилось на четырех проходах по активной среде с помощью непрерывного полупроводникового лазера Рісагго Суап, который излучает на длине волны 488 нм, совпадающей с максимумом сечения усиления на лазерном переходе. Коэффициент усиления измерялся вдоль оси лазерной кюветы и вблизи боковых окон кюветы. Усиление фемтосекундного лазерного пучка проводилось в многопроходной оптической схеме. Предварительно 50-фс импульс удлинялся (за счет chirpирования в стекле) до 0,5–1 пс. Пучок заводился в оптическую ловушку [1], образованную двумя диэлектрическими зеркалами, расположенными под небольшим углом друг к другу снаружи или внутри лазерной кюветы. После совершения определенного количества проходов по активной среде внутри ловушки излучение выходило с противоположной стороны. Входной и выходной пучки регистрировались с помощью фотодиодов и калориметра.

Задающий генератор фемтосекундных импульсов

В качестве задающего генератора для лазерной системы использовался стартовый комплекс «Старт-480М» фирмы «Авеста-Проект», который размещался на оптическом столе размерами 120×260 см (рис. 1).

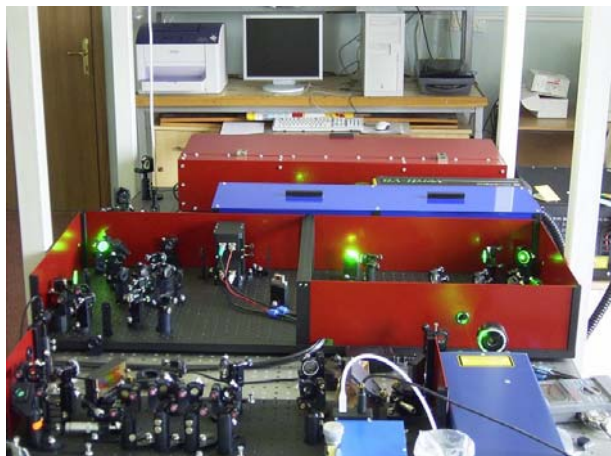


Рис. 1. Фемтосекундный комплекс

Комплекс включает в себя: Ti:сапфировый задающий генератор фемтосекундных импульсов с непрерывным лазером накачки (Verdy-8) на длине волны 532 нм, стретчер для растягивания импульса, регенеративный и многопроходной усилители с импульсным лазером накачки на длине волны 532 нм и генератор второй гармоники. Выходной лазерный пучок имел длительность импульса 50 фс, энергия излучения на второй гармонике (475 нм) равнялась 5 мДж. Комплекс может работать в режиме одиночного импульса и с частотой 10 Гц.

Фотодиссоционный $\text{XeF}(\text{C}-\text{A})$ -усилитель

На рис. 2 представлена принципиальная схема накачки активной среды усилителя, которая создается в лазерной камере при взаимодействии ВУФ-излучения со смесью азота и паров XeF_2 .

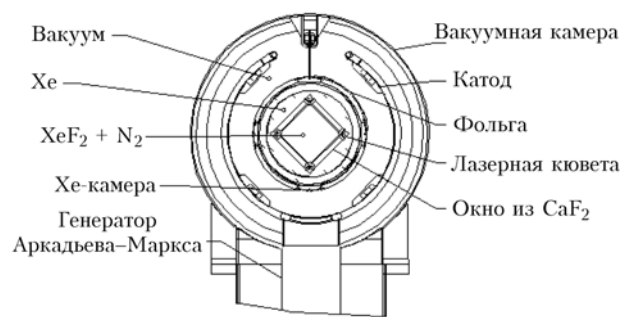


Рис. 2. Принципиальная схема накачки активной среды усилителя

Для повышения однородности возбуждения используется четырехсторонняя накачка лазерной смеси. ВУФ-излучение образуется в ксеноновом конвертере, который накачивается электронным пучком с четырех сторон. Пучок формируется в вакуумном диоде и через фольгу инжектируется в конвертер. Питание вакуумного диода осуществляется непосредственно от генератора Аркадьева–Маркса.

На рис. 3 представлены $\text{XeF}(\text{C}-\text{A})$ -усилитель и газовакуумный пульт.

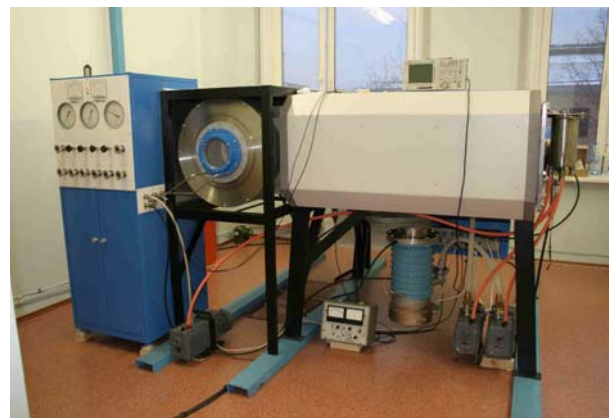


Рис. 3. Внешний вид $\text{XeF}(\text{C}-\text{A})$ -усилителя

Усилитель включает генератор Аркадьева–Маркса (ГИН), вакуумный диод, ксеноновый конвертер и лазерную кювету. Конструкция ускорителя электронов основана на уникальной технологии, которая была разработана в ИСЭ СО РАН под руководством академика Б.М. Ковальчука. Импульсный генератор, питающий вакуумный диод, состоит из 8 ступеней, заряжаемых до напряжения 80 кВ. Каждая из ступеней образуется тремя конденсаторами (емкость каждой 180 нФ) и тремя искровыми промежутками, включаемыми параллельно. Генератор помещается в металлический корпус и непосредственно соединяется с вакуумным диодом. Внутри, где располагаются искровые промежутки, генератор заполняется смесью сухого воздуха и SF₆. Такая конструкция позволяет минимизировать индуктивность разрядного контура генератора на вакуумный диод, размер и вес ускорителя.

Вакуумный диод имеет четыре катода, которые формируют электронный пучок шириной 15 см и длиной 120 см. Материалом взрывоэмиссионных катодов служит графит, покрытый флоком. Ускоряющий вакуумный зазор катод-анод составляет 50 мм. С целью уменьшения потерь электронов за счет влияния собственного магнитного поля пучка в вакуумном диоде имеется токоотводящая пластина, дополнительно соединяющая газовую камеру по всей ее длине с корпусом диода (см. рис. 2).

Типичные параметры ускорителя при зарядном напряжении 80 кВ: энергия, запасенная в конденсаторах, равна 15,4 кДж, ток в вакуумном диоде 70 кА, ускоряющее напряжение 450 кВ, длительность импульса тока 400 нс, общая энергия электронного пучка в диоде 12 кДж, энергия пучка за фольгой 3,5 кДж при длительности импульса пучка 250 нс.

Электронный пучок инжектируется в газовую камеру (ксеноновый конвертер) через 40-мкм титановую фольгу. Давление ксенона в конвертере $P_{Xe} = 3$ атм. При возбуждении ксенона электронным пучком образуется свечение эксимерных молекул Xe₂^{*} в области 172 нм, используемое для накачки активной среды. Внутри конвертера располагается лазерная камера прямоугольного сечения. ВУФ-излучение конвертера входит в лазерную камеру через окна из CaF₂ размером 12×12 см. Апертура лазерной камеры – 12×12 см, камера заполняется смесью XeF₂/N₂ с общим давлением 0,25–1 атм. Под действием ВУФ-излучения в лазерной кювете происходит фотодиссоциация молекул XeF₂ с образованием эксимерных молекул XeF(B). Состояние С лазерного перехода XeF(C–A) образуется в результате релаксации XeF(B) при столкновении с молекулами буферного газа N₂.

Экспериментальные результаты

На рис. 4 представлены типичные осциллограммы тока и напряжения в вакуумном диоде при зарядном напряжении ГИНа 80 кВ. Видно, что напряжение на вакуумном диоде составляет 450 кВ,

ток около 70 кА, длительность импульса тока на полувывсоте амплитуды 400 нс.

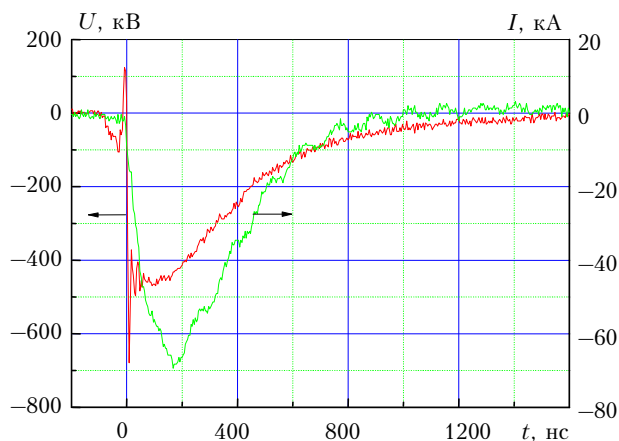


Рис. 4. Осциллограммы тока и напряжения в вакуумном диоде при зарядном напряжении ГИНа 80 кВ

Согласно нашим оценкам электронный пучок должен практически полностью поглощаться ксеноном при давлении 3 атм. Измеренная по скачку давления энергия пучка, вложенная в ксенон, составляла ~2,5–3 кДж. По литературным данным эффективность преобразования энергии электронного пучка в ВУФ-излучение ксенона может составлять 30–40% [12]. Следовательно, в ВУФ-излучении должно содержаться около 1 Дж энергии. Очевидно, что излучение ксенона изотропно и для возбуждения активной среды используется только часть этого излучения, попавшая в лазерную кювету. С учетом геометрических потерь и пропускания окон на лазерной кювете эту часть можно оценить примерно в 20%. Таким образом, энергия излучения, вошедшего в лазерную кювету, может составлять около 200 Дж. Экспериментально измеренная калориметром энергия ВУФ-излучения, прошедшая в лазерную камеру, достигала 160 Дж.

Измерение с помощью фильтров доли ВУФ-составляющей в излучении конвертера показало, что на свежей порции ксенона она составляет более 90%. Однако по мере загрязнения ксенона (большое число выстрелов – более 100, или после длительного нахождения ксенона в газовой камере – месяц и более), наряду со снижением общего уровня энергии излучения, доля ВУФ-излучения может снижаться вплоть до нуля. Индикатором снижения энергии ВУФ-излучения в эксперименте является снижение коэффициента усиления в активной среде от его максимального (начального) значения.

Величина поглощенной энергии ВУФ-излучения молекулами XeF₂ зависит от их концентрации и геометрического фактора. Максимальная вложенная энергия ВУФ-излучения при давлении паров XeF₂ 0,4 мм рт. ст. составляла около 100 Дж.

Измерения коэффициента усиления показали, что он существенно зависит от концентрации паров XeF₂ и измеряемой области в лазерной камере. Длительность импульса усиленного сигнала на полувывсоте амплитуды составляла около 300 нс.

Для эффективной релаксации В-состояния молекулы ХеF в С-состояние обычно применяются азот или аргон. Наши исследования коэффициента усиления для этих буферных газов показали, что наибольшее усиление наблюдается для азота. При оптимизации давления азота было найдено, что коэффициент усиления растет с давлением азота (рис. 5), поэтому дальнейшие исследования ХеF-усилителя проводились при давлении азота 1 атм.

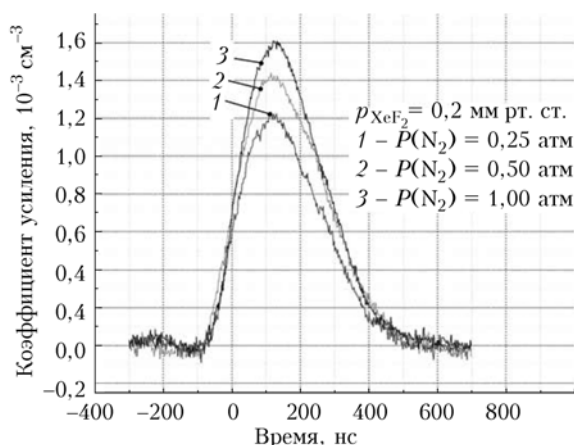


Рис. 5. Поведение во времени коэффициента усиления в зависимости от давления азота при давлении ХеF₂ 0,2 мм рт. ст. Измерения проведены в центральной области лазерной камеры

При изменении давления паров ХеF₂ наибольший коэффициент усиления в центре лазерной кюветы — $1,6 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$ реализуется при давлении 0,3–0,4 мм рт. ст. (рис. 6).

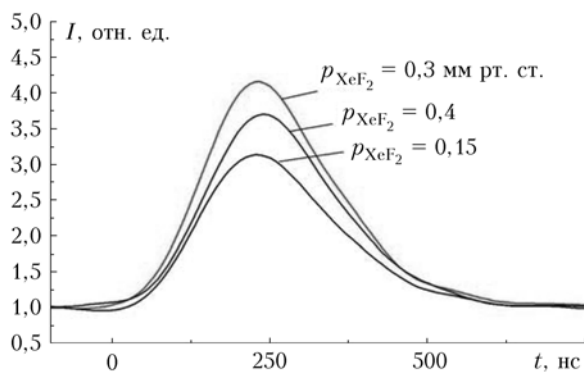


Рис. 6. Изменение интенсивности усиленного излучения в центральной области лазерной камеры для различных давлений паров ХеF₂. Давление азота 0,25 атм

При этом вблизи окон конвертера коэффициент усиления составляет $(2,1–2,5) \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$. Такая неоднородность коэффициента усиления представляется вполне приемлемой для усиления в многопроходной схеме пучков диаметром 2–3 см. Однако при давлении паров ХеF₂ более 0,4 мм рт. ст. происходит ухудшение однородности его распределения по сечению активной среды.

Первые эксперименты по усилению фемтосекундного импульса осуществлялись в резонаторе-ловушке, зеркала которого устанавливались снаружи лазерной камеры. При этом импульс из старто-

вого комплекса усиливался напрямую или удлинялся на порядок при прохождении через блок из стекла. При этом плотность энергии усиливаемого сигнала выбиралась таким образом, чтобы она была значительно меньше плотности энергии насыщения на рабочем переходе ХеF(C–A) — 50 мДж/см^2 . При реализации 21 прохода по активной среде вблизи окон конвертера было получено 96-кратное увеличение интенсивности выходного сигнала, соответствующее коэффициенту усиления малого сигнала $1,9 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$. Полученное значение близко к величине коэффициента усиления, измеренной с помощью узкополосного непрерывного лазера.

Следующие эксперименты по усилению фемтосекундного импульса проводились в резонаторе-ловушке, зеркала которого устанавливались внутри лазерной камеры и имели коэффициент отражения 97,5%. При этом первоначальный импульс удлинялся стретчером примерно на порядок. Входной пучок имел диаметр 25 мм. При усилении пучка по всему активному объему на 94 проходах по активной среде было получено 500-кратное увеличение энергии излучения на выходе усилителя. За счет перестройки длины волны в стартовом комплексе на 470 нм был повышен коэффициент отражения зеркал резонатора до 98,5%. В этих условиях был проведен эксперимент, когда в резонатор заводился расходящийся пучок прямоугольной геометрии без использования стретчера. При входной энергии пучка 4 мДж на 36 проходах по активной среде была получена выходная энергия 250 мДж.

Заключение

Таким образом, создана и запущена гибридная фемтосекундная лазерная система, состоящая из Ti:сапфирового стартового комплекса, формирующего 50-фс импульс, и ХеF(C–A)-усилителя с апертурой $12 \times 12 \text{ см}$. Экспериментальные исследования условий преобразования энергии электронного пучка в ВУФ-излучение и накачки этим излучением лазерной смеси ХеF₂–N₂ показали, что эффективность накачки, определенная как отношение энергий, вложенных в лазерную смесь и в ксенон, составляет около 4%. Оптимизация лазерной смеси показала, что наилучшие условия по усилению импульса реализуются при давлении азота 1 атм и ХеF₂ 0,3–0,4 мм рт. ст. В этих условиях коэффициент усиления равен $(1,5–2,5) \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$. Усиление в такой активной среде фемтосекундного слабочирпированного импульса позволяет повышать его интенсивность до 500 раз. Впервые в активной среде ХеF(C–A) выполнено прямое усиление 50-фс импульса без использования стретчера, при этом на выходе усилителя получено 250 мДж энергии.

1. *Малиновский Г.Я., Мамаев С.Б., Михеев Л.Д., Москалев Т.Ю., Сентис М.Л., Черемискин В.И., Яловой В.И.* Численное моделирование активной среды и исследование источника накачки для разработки фотохимического ХеF(C–A)-усилителя фемтосекундных оптических импульсов // Квант. электрон. 2001. Т. 31. № 7. С. 617.

2. *Tcheremiskine V.I., Sentis M.L., Mikheev L.D.* Amplification of ultrashort laser pulses in the photolytically driven XeF(C–A) active medium // *Appl. Phys. Lett.* 2002. V. 81. N 3. P. 403–405.
3. *Clady R., Coustillier G., Gastaud M., Sentis M., Spiga P., Tcheremiskine V., Uteza O., Mikheev L.D., Mislavskii V., Chambaret J.P., Chériaux G.* Architecture of a blue high contrast multiterawatt ultrashort laser // *Appl. Phys. B.* 2006. V. 82. N 3. P. 347–358.
4. *Tcheremiskine V., Uteza O., Aristov A., Sentis M., Mikheev L.* Photolytical XeF(C–A) laser amplifier of femtosecond optical pulses: gain measurements and pump efficiency // *Appl. Phys. B.* 2008. V. 91. N 3–4. P. 447–454.
5. *Зуев В.С., Кашиников Г.Н., Мамаев С.Б.* Исследование XeF-лазера с оптической накачкой излучением поверхностных разрядов // *Квант. электрон.* 1992. Т. 19. № 11. С. 1047.
6. *Anisimov S.V., Zemskov E.M., Zuev V.S., Kazanskii V.M., Kashnikov G.N., Mikheev L.D., Nestorov R.O., Sokolov V.V., Stavrovskii D.B., Tcheremiskine V.I.* Spectrally selective time-resolved actinometry of VUV radiation of a moving gas-dynamic discontinuity // *Laser Phys.* 1994. V. 4. N 2. P. 416.
7. *Losev V., Ivanov N., Mikheev L., Bojchenko A., Tkachev A., Yakovlenko S.* Project of a 100-terawatt XeF (C–A) femtosecond pulse amplifier pumped by the VUV radiation from an e-beam driven converter // *Proc. of Second Int. Conf. on Ultrahigh Intensity Lasers. Development, Sciece and Emerging Applications (ICUIL 2006), September 25–29, Cassis, France, 2006.* P. 197–199.
8. *Ionin A.A., Konyashchenko A.V., Koval'chuk B.M., Krokhin O.N., Losev V.F., Mesyats G.A., Mikheev L.D., Molchanov A.G., Novoselov Yu.N., Seleznev L.V., Sinitsyn D.V., Starodub A.N., Tarasenko V.F., Yakovlenko S.I., Zvorykin V.D.* High Power Optical Sources of Femtoseconf Pulses on the Base of Hibrid Laser System with Wide-Aperture Gas Laser Amplifiers // *Proc. SPIE.* 2007. V. 6454. P. 645409 (1–11).
9. *Зворыкин В.Д., Ионин А.А., Конященко А.В., Ковальчук Б.М., Крохин О.Н., Лосев В.Ф., Месяц Г.А., Михеев Л.Д., Молчанов А.Г., Новоселов Ю.Н., Селезнев Л.В., Синицын Д.В., Стародуб А.Н., Тарасенко В.Ф., Яковленко С.И.* Мощные фемтосекундные гибридные лазерные системы с широкоапертурными усилителями на основе газовых лазеров. 2. Гибридная фемтосекундная XeF(C–A) лазерная система // *Изв. ТПУ.* 2008. № 2. С. 123–127.
10. *Иванов Н.Г., Лосев В.Ф., Михеев Л.Д.* Фемтосекундный усилитель на основе эксимерных молекул XeF (C–A) // *Тез. докл. III Всерос. конф. «Взаимодействие высококонцентрированных потоков энергии с материалами в перспективных технологиях и медицине».* Новосибирск, 16–20 марта 2009. С. 77–78.
11. *Mikheev L.D., Stavrovskii D.B., Zuev V.S.* Photodissociation XeF laser operating in the visible and UV regions // *J. Russ. Laser Res.* 1995. V. 16. N 5. P. 427–475.
12. *Eckstrom D.J., Walker H.C.* Multijoule Performance of the Photolytically Pumped XeF(C–A) Laser // *IEEE J. Quantum Electron.* 1982. V. 18. N 2. P. 176–181.

A.I. Aristov, Ya.V. Grudtsyn, I.G. Zubarev, N.G. Ivanov, A.V. Konyashchenko, O.N. Krokhin, V.F. Losev, A.O. Mavritskii, S.B. Mamaev, G.A. Mesyats, L.D. Mikheev, Yu.N. Panchenko, A.A. Rastvortseva, N.A. Ratakhin, M. Sentis, A.N. Starodub, S.Yu. Tenyakov, O. Uteza, V.I. Tcheremiskin, V.I. Yalovoy. **Hybrid femtosecond laser system based on photochemical XeF(C–A) amplifier with an aperture of 12 cm.**

Development of hybrid femtosecond laser system on the basis of Ti:sapphire starting complex «Start-480M» and photochemical XeF(C–A) amplifier with an aperture of 12×12 cm is presented. The start complex provides a 50 fs radiation pulse with a 5 mJ energy on the second harmonic (475 nm). The active medium is created in XeF₂/N₂ mix under the influence of VUV radiation of xenon excited by an electronic beam. A 250 mJ output energy was obtained, when a 50 fs pulse with 4 mJ energy was amplified in the XeF(C–A) amplifier.