

**Государственный контракт №02.740.11.0225 от 07 июля 2009г.
(Сроки выполнения: 7.07.2009 - 5.09.2011)
Тема: «Экстремальные световые поля и их приложения»
Руководитель: член-корреспондент РАН А.М.Сергеев
Исполнитель: Институт прикладной физики РАН (ИПФ РАН)**

Основные результаты работы в целом:

1. Предложены новые способы высокоэффективной генерации аттосекундных импульсов при взаимодействии высокоинтенсивных лазерных импульсов с газовыми и твердотельными мишенями. Для достижения высокой эффективности генерации гармоник в газах предложено использование гигантских резонансов в сечениях свободно-связанных переходов в многоэлектронных атомах и многоцентрковой квантовой интерференции при ионизации молекул; для генерации гигантских аттосекундных импульсов при облучении поверхности критической плазмы найден режим взаимодействия, описываемый разработанной авторами моделью релятивистской электронной пружины и позволяющий достигать интенсивностей, достаточных для наблюдения эффектов нелинейности вакуума с использованием создаваемых в настоящее время лазерных источников.

2. Экспериментально получена генерация мягкого рентгеновского излучения при распространении интенсивного фемтосекундного лазерного излучения в диэлектрическом капилляре, заполненном ксеноном. Проведена оптимизация энергии рентгеновского излучения от давления газа. Максимальное количество рентгеновских квантов, зарегистрированных в эксперименте $\sim 10^8$. Выполнено численное моделирование активной среды для генерации мягкого рентгеновского излучения в плазме многозарядных ионов. Исследована динамика заселенностей уровней, важных для получения лазерной генерации, и динамика стимулированного излучения.

3. Предложена и экспериментально реализована новая схема создания оптически синхронизированных фемтосекундных импульсов на двух сильно различающихся длинах волн в ближнем ИК диапазоне, основанная на эффектах сверхширения спектра и синхронного взаимодействия цуга коротковолновых дисперсионных волн и длинноволнового солитона, расположенных по разные стороны от длины волны нулевой дисперсии в специальном нелинейном световоде со смещенной дисперсией. В компактной полностью волоконной гибридной эрбиево-иттербиевой лазерной системе продемонстрирована генерация импульсов длительностью 55 фс на длине волны 1.05 мкм, с возможностью усиления до 100 нДж с выходной длительностью 180 фс, и синхронизированных с ними по времени ультракоротких импульсов длительностью 20...40 фс в диапазоне 1,56...2,65 мкм.

4. Разработана новая концепция построения плазменного компрессора для получения предельно коротких релятивистски сильных фемтосекундных импульсов оптического излучения петтаватного уровня мощности. Механизм компрессии принципиально связан с процессом нестационарной самофокусировки пространственно ограниченного волнового пакета в прозрачной плазме при возбуждении кильватерной плазменной волны с периодом, превышающим длительность лазерного импульса. Теоретически показано, что в оптимальном режиме возможна генерация лазерных импульсов с длительностью до одного оптического периода поля и энергией единицы килоджоулей.

5. Разработан экспериментальный образец широкополосного терагерцового источника с рекордной (~0.25 %) эффективностью оптико-терагерцового преобразования и возможностью перестройки спектра излучения. Источник основан на оптическом выпрямлении фемтосекундных лазерных импульсов, распространяющихся вдоль сэндвич-структуры с 30 мкм пластиной LiNbO_3 , которая помещена между кремниевой призмой и металлической подложкой с варьируемым воздушным зазором.

6. Впервые осуществлена стабилизация частоты лампы обратной волны по эквидистантной гребенке терагерцовых частот, формируемых при оптико-терагерцовой конверсии излучения фемтосекундного лазера в кристалле GaAs. Достигнута рекордно узкая, менее 10 Гц, ширина линии генерации и высокая спектральная чистота излучения с выигрышем по мощности фазовых шумов на несколько порядков относительно классической схемы стабилизации, где в качестве опорной частоты используется многократно умноженная частота сигнала высокостабильного радиосточника.

7. Впервые в мире разработан метод коррекции влияния дисперсии в широкополосном волоконно-оптическом интерферометре Майкельсона, основанный на использовании при цифровой обработке скорректированного спектра аппаратной корреляционной функции на частоте доплеровского сдвига. Метод апробирован на разработанных макетах волоконно-оптического интерферометра Майкельсона 1) на длине волны 0.93 мкм с шириной оптического спектра источника излучения 150 нм, 2) на длине волны 0.87 мкм с шириной спектра источника излучения ~200 нм. В результате для обоих макетов в обработанных ОКТ-изображениях было получено спектрально обусловленное продольное разрешение ~ 3 мкм.

Результаты НИР в целом могут быть использованы в фундаментальных научных исследованиях, медицине, системах безопасности на основе терагерцового видения. В частности:

- Продемонстрированные возможности создания высокоярких настольных источников импульсов когерентного излучения фемто- и субфемтосекундной

длительности с энергиями фотонов от сотен эВ до единиц кэВ представляют большой интерес с точки зрения применений в тех областях, в которых до недавнего времени могли использоваться только синхротронные источники. Так, в диапазоне 0.4–1.2 кэВ лежат L-края полос поглощения многих металлов, включая магнитные материалы, что обуславливает интерес к развитию элементарно-чувствительной фемто- и аттосекундной спектроскопии в этом диапазоне, перспективной для имиджинга магнитных материалов, в том числе наноструктур, и исследования сверхбыстрых процессов в них.

- Полученная генерация когерентного мягкого рентгеновского излучения при распространении интенсивного фемтосекундного лазерного излучения в диэлектрическом капилляре при накачке лазером тераваттного уровня мощности открывает возможности создания компактного источника мягкого рентгеновского излучения, который может быть использован в фундаментальных исследованиях – рентгеновской спектроскопии, диагностике плазмы и в медицине.

- Созданная волоконная фемтосекундная лазерная система востребована для оптической и ИК спектроскопии, двухфотонной микроскопии, для генерации терагерцового излучения, теравидения и мониторинга окружающей среды, и уже используется в ИПФ РАН в качестве задающего генератора для мощных параметрических систем петаваттного уровня мощности.

- Продемонстрированная схема генерации терагерцового излучения в сэндвич-структуре может служить основой для создания широкополосного, компактного и дешевого терагерцового источника. Такие источники могут быть применены для спектроскопии полупроводниковых материалов и биологических объектов, а также в системах безопасности для визуализации скрытых под одеждой металлических объектов, например оружия, для обнаружения взрывчатых и наркотических веществ без вскрытия упаковки, мониторинга наличия отравляющих веществ в воздухе.

- Стабилизация непрерывного субтерагерцового источника терагерцовой гребенкой частот открывает возможность создания нового поколения синтезаторов частоты с низким уровнем фазовых шумов и необходимой мощностью. Такие синтезаторы могут иметь существенно меньшую стоимость, чем классические, основанные на многократном умножении частоты сигнала высокостабильного радиоисточника, и в то же время обладать существенно лучшими характеристиками, что востребовано в задачах радиолокации, терагерцовой спектроскопии, системах обработки информации и т.д.

- Результаты в области сверхширокополосной волоконно-оптической интерферометрии могут применяться для разработки датчиков, основанных на измерении групповой задержки с разрешением в единицы микрон. Эти результаты востребованы в

области физических измерений, а также в системах видения в оптически мутных средах. На основе такой интерферометрии в настоящее время в мире ведутся интенсивные разработки систем оптической когерентной томографии (ОКТ) для дистанционной визуализации внутренних структур биологической ткани, что представляет уже доказанную ценность для диагностики ранней патологии при медицинских исследованиях. Только в одной из возможных областей медицины – офтальмологии – в мире используется ОКТ-оборудование на сумму более 1 миллиарда долларов. ОКТ-оборудование может быть использовано и при эндоскопических исследованиях внутренних органов на уровне даже районных медицинских учреждений.