



ГОСКОРПОРАЦИЯ «РОСАТОМ»

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ТРОИЦКИЙ ИНСТИТУТ ИННОВАЦИОННЫХ И ТЕРМОЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

(АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ»)

Адрес: 108840, г. Москва, г. Троицк, ул. Пушкиных, владение 12, Телеграф/телекс: 206178 LINER RU,
Телеграф: г. Москва, г. Троицк, ГНЦ РФ ТРИНИТИ, Телеракс: +7(495) 841-57-76; E-mail: liner@triniti.ru; WEB-сервер: www.triniti.ru
ОКПО:08624272; ОГРН:1157746176400; ИНН/КПП: 7751002460/775101001

04.05.19 № 226/10/938исх

на _____

“Утверждаю”

Генеральный директор
АО "ГНЦ РФ ТРИНИТИ",
доктор технических наук

Марков Д. В.

2019 г.



О Т З Ы В

**Ведущей организации
на диссертационную работу Казанцева Сергея Юрьевича
“Высокоэнергетические нецепные HF(DF) лазеры, инициируемые
объемным самостоятельным разрядом”, представленную на соискание
ученой степени доктора физико-математических наук по специальности
01.04.21 – лазерная физика.**

Диссертация Казанцева Сергея Юрьевича посвящена актуальной теме – исследованию физических процессов, протекающих в рабочих средах нецепных HF(DF) лазеров, инициируемых объемным самостоятельным разрядом, а также созданию мощных лазерных систем, излучающих в спектральном диапазоне 3-5 мкм. Совокупность результатов работы можно квалифицировать как существенный вклад в решение проблемы создания высокоэнергетических нецепных HF(DF) лазеров, масштабирования их характеристик и исследования процессов, протекающих в плазме объемного разряда, зажигаемого в газовых смесях, содержащих сильно электроотрицательные газы. Исходя из этого, **актуальность** данного исследования не вызывает сомнений.

Основное внимание в работе уделено проблеме получения однородного масштабируемого разряда в рабочих средах нецепного HF(DF)-лазера и созданию высокоэнергетических лазерных установок, излучающих в области среднего ИК-диапазона спектра. Найденные решения и подходы позволяют многократно увеличить выходные параметры лазеров, работающих в спектрально диапазоне 2.6-5 мкм. Представленная работа является значительным вкладом в развитии химических HF(DF) лазеров на нецепной реакции, позволившим не только создать лазеры с рекордными энергетическими характеристиками, но и значительно расширить область их применений в науке и народном хозяйстве.

Научная новизна диссертационной работы состоит в исследовании физических основ формирования масштабируемого самоиницирующегося объемного разряда и создании высокоэнергетических широкоапертурных лазерных систем на его основе, а также в создании и исследовании лазеров, работающих на основе кристаллических структур ZnSe и ZnS, легированных ионами железа, оптически возбуждаемых с помощью нецепного HF(DF)-лазера.

Значимость результатов исследования для науки и технических применений заключается в том, что в SF₆ и смесях на его основе выявлена и исследована особая форма объемного разряда – самоиницирующийся объемный разряд, формирование которого происходит вследствие процессов самоорганизации диссипативных структур, представляющих собой диффузные плазменные каналы. Для получения самоиницирующегося объемного разряда в сильно электроотрицательных газах не требуется предварительной ионизации газа, что позволяет значительно увеличить рабочий объем газоразрядных лазеров. Кроме того, это позволяет отказаться от использования внешнего ионизатора пучком быстрых электронов, что значительно упрощает конструкцию и безопасность лазерной системы.

Таким образом, впервые предложен новый подход к проблеме получения однородной газоразрядной плазмы в больших объемах,

содержащих сильно электроотрицательные газы при средних давлениях, который позволил более чем в 40 раз увеличить энергию генерации нецепных HF(DF)-лазеров, инициируемых объемным разрядом.

Созданы импульсные нецепные HF(DF)-лазеры с рекордными энергетическими характеристиками: $W_{\text{out}} = 410$ Дж для HF, $W_{\text{out}} = 330$ Дж для DF (импульсная мощность $P_{\text{out}} = 1.4$ ГВт для HF, $P_{\text{out}} = 1.1$ ГВт для DF при электрическом КПД 4.3% и 3.4%, соответственно). Также созданы импульсно-периодические HF(DF)-лазеры со средней мощностью свыше 1 кВт. Впервые получены температурные зависимости критической приведенной напряженности электрического поля в недиссоциированном SF₆ и смесях SF₆:C₂H₆ в диапазоне температур $T = 300\text{--}2300$ К.

Предложен ряд новых применений. Так, например, показано, что излучение нецепного HF(DF) лазера попадает в полосы поглощения ряда халькогенидных кристаллов, легированных ионами железа. Если осуществлять оптическую накачку этих кристаллов нецепным HF(DF) лазером, то с достаточно высокой эффективностью при комнатной температуре активного элемента можно получить мощное лазерное излучение, перестраиваемое в диапазоне 3–7 мкм.

Впервые созданы мощные лазерные системы, излучающие в спектральном диапазоне 3.7–5 мкм, на основе оптически возбуждаемых с помощью нецепного HF(DF)-лазера кристаллов ZnSe и ZnS, легированных ионами железа. Показано, что эффективность преобразования излучения накачки в кристалле ZnSe:Fe²⁺ при комнатной температуре составляет ~50%.

Практическое значение результатов работы определяется тем, что они могут быть использованы при создании как мощных лазеров среднего ИК-диапазона спектра, так и плазмохимических реакторов с большими рабочими объемами.

Рекомендации по использованию результатов диссертации. Считаем целесообразным продолжить работу в направлении поиска новых приложений самоиницирующегося объемного разряда, для формирования

которого не требуется применять дополнительные источники предыонизации. Кроме того, решение проблемы масштабирования характеристик нецепных HF(DF) лазеров и упрощение конструкции лазеров этого типа позволяет расширить спектр применений этих лазеров в различных областях науки и техники.

Основные положения диссертации нашли отражение в статьях автора, опубликованных в высокорейтинговых журналах, а также в докладах на международных научно-технических конференциях и симпозиумах.

Отмечая достоинства диссертационной работы, ее практическую значимость и научную новизну, следует указать на некоторые спорные положения и высказать замечания.

Общие замечания:

1. В работе слабо отражены современные тенденции в области создания альтернативных источников лазерного излучения в спектральном диапазоне 2-5 мкм.

2. Уделено недостаточно внимания исследованию спектрально-временных характеристик импульсов генерации нецепных HF (DF) лазеров, а также лазеров на кристаллах $ZnSe:Fe^{2+}(ZnS:Fe^{2+})$ с оптической накачкой нецепными HF лазером.

3. В диссертации подробно описаны исследования низкотемпературной плазмы газовых смесей на основе SF_6 , но практически не рассматривались другие газы в качестве донора атомов фтора.

4. Кроме того, имеются определённые, редакционные, погрешности в оформлении текста и рисунков диссертации. Так на стр.40 диссертации, где на рис. 2.1 приводятся схемы разрядных промежутков, первые два рисунка приведены не полностью, на схемах не показан анод. Для удобства восприятия рис. 2.2 нужно было разместить сразу после рис. 2.1. Подпись рис 2.7 не соответствует тексту, описывающему этот рисунок. На рис 2.9 нет точек с УФ подсветкой. На стр. 76 уравнение (2.9) эквивалентно уравнению (2.7) и оно должно быть выкинуто из системы уравнений. На рис. 3.1 на

экспериментальных осциллограммах не указано, какая из них соответствует току, а какая напряжению. Для обозначения разных физических переменных иногда используется одна и та же буква, например, T в первых главах диссертации используется для обозначения длительности разрядного импульса, а позже этой же буквой обозначаются и температура газа, и величина пропускания кристаллов.

Перечисленные замечания не относятся к основным выводам и результатам диссертационной работы, не снижают её общей высокой оценки. Результаты работы изложены логично, диссертация читается с интересом, основные результаты опубликованы в журналах из списка изданий, рекомендованных ВАК для публикации докторских диссертаций. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Заключение. Диссертация Казанцева Сергея Юрьевича представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу на актуальную тему. Новые научные результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для российской науки и технических применений в области исследований газоразрядной плазмы и создания высокоэнергетических лазеров, излучающих в спектральном диапазоне 2.6-5 мкм. Выводы и рекомендации обоснованы. На основании выполненных автором исследований решены научные проблемы получения однородного масштабируемого объемного разряда в сильно электроотрицательных газах, создания высокоэнергетических нецепных HF(DF)-лазеров и реализации мощной перестраиваемой генерации в спектральной области 3–5 мкм. Разработанные в диссертации положения и полученные результаты вносят значительный вклад в развитие страны, поскольку позволяют более чем на порядок увеличить выходную энергию и мощность нецепных HF(DF)-лазеров и расширить области их эффективных применений. Диссертационная работа Казанцева Сергея Юрьевича соответствует требованиям п. 7 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 30.01.2002 г. № 74 (с изменениями,

внесенными Постановлением Правительства РФ от 20.06.2011 г. № 475), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 - «Лазерная физика».

Отзыв обсужден и одобрен на заседании секции № 6 НТС АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ» протокол №2 от 22.03.2019.

Отзыв составил главный научный сотрудник
лаборатории кинетики и оптики
низкотемпературной плазмы,
профессор, д.ф.-м.н.

/А. П. Напартович/

Подпись главного научного сотрудника д.ф.-м.н. Напартовича А. П. заверяю

Ученый секретарь АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ», к.ф.-м.н.

/А. А. Ежов/