

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Казанцева Сергея Юрьевича «Высокоэнергетические нецепные HF(DF) лазеры, инициируемые объемным самостоятельным разрядом» на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Диссертационная работа посвящена решению проблемы создания высокоэнергетических нецепных HF(DF) лазеров, инициируемых объемным самостоятельным разрядом.

Актуальность диссертационной работы не вызывает сомнений поскольку описанные в работе лазеры действуют в интересном для многих практических приложений спектральном диапазоне 2.6 - 5 мкм, перекрывающим два окна прозрачности атмосферы и сильную полосу поглощения воды.

Казанцевым С.Ю. была решена проблема получения масштабируемого объемного разряда в газовых смесях на основе сильно электроотрицательных газов. В частности, на основе подхода предложенного автором в рабочих смесях нецепных химических HF(DF) лазеров были получены однородные объемные разряды в разрядных промежутках с межэлектродным расстоянием до 30 см, что позволило создать нецепные электроразрядные HF(DF) лазеры с самыми высокими на сегодняшний день в мире энергетическими характеристиками, 410 Дж на HF-лазере и 330 Дж на DF-лазере с КПД 4,3% и 3,4% соответственно, а также импульсно-периодические HF лазеры со средней мощностью более 1 кВт. В настоящее время практически все нецепные электроразрядные HF(DF) лазеры с апертурой свыше 10 см создаются на основе подхода развитого в работах автора.

Системный анализ проблем формирования однородного масштабируемого разряда в газовых смесях на основе SF<sub>6</sub> позволил выявить новую форму объемного разряда (самоиницирующийся объемный разряд), для получения которой не требуется применение специальных устройств для предыонизации разрядного промежутка. В работах Казанцева С.Ю. были определены условия для реализации самоиницирующегося объемного разряда, который может применяться не только для возбуждения активной среды лазеров, но и при создании различных плазмохимических реакторов.

Известно, что спектр нецепных химических HF(DF) лазеров значительно беднее в длинноволновой области, чем у HF(DF) лазеров на цепной реакции. Поэтому автором было предложено для получения мощной и перестраиваемой генерации в спектральной области 4 - 5 мкм использовать Fe<sup>2+</sup>:ZnSe-лазер, оптически возбуждаемый с помощью нецепного HF лазера. В работах Казанцева С.Ю. были предложены и реализованы мощные лазерные системы, работающие на основе оптически возбуждаемых с помощью нецепного HF(DF)-лазера кристаллических структур ZnSe:Fe<sup>2+</sup> и ZnS:Fe<sup>2+</sup> и излучающие при комнатной температуре в спектральном диапазоне 3.7 – 5 мкм. На поликристаллических структурах ZnSe:Fe<sup>2+</sup> и ZnS:Fe<sup>2+</sup> в работах автора при комнатной температуре были достигнуты рекордные энергетические характеристики более чем на порядок превышающие результаты, достигнутые другими исследовательскими группами.

### Замечания

Из автореферата видно, что в диссертационной работе основное внимание уделено исследованию физики газового разряда и химическим HF(DF) лазерам на цепной реакции, инициируемой объемным разрядом. В тоже время, перспективному и многообещающему методу оптической накачки этими лазерами кристаллических структур ZnSe:Fe и ZnS:Fe, получению генерации и достижению на них высоких энергетических характеристик посвящен всего один раздел 6-й главы диссертации, хотя в публикациях автора более четверти работ посвящены именно этим исследованиям. Кроме

того, из автореферата неясно место этих работ автора в мировом сообществе - что сделано до него, что здесь является новым.

Автореферат в полной мере отражает законченную докторскую диссертацию, результаты которой имеют большую научную и практическую ценность. Основные результаты этой диссертационной работы опубликованы в 56 рецензируемых научных изданиях, соответствующих Положению о присуждении ученых степеней, апробированы на 29 международных конференциях и симпозиумах. Автореферат ясно написан, хорошо иллюстрирован, изложен последовательно и оформлен в соответствии с Положением о присуждении ученых степеней. На основании вышеизложенного полагаю, что Казанцев Сергей Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – «Лазерная физика».

Селезнев Леонид Владимирович  
доктор физико-математических наук, доцент  
старший научный сотрудник  
лаборатории газовых лазеров ОКРФ ФИАН

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Физический институт им.П.Н. Лебедева Российской академии наук  
119991, Москва, Ленинский проспект, д.53

Тел. +7 (499)135-42-64

e-mail: [office@lebedev.ru](mailto:office@lebedev.ru)

Подпись Л.В.Селезнева заверяю

Колобов Андрей Владимирович  
кандидат физико-математических наук  
ученый секретарь ФИАН



С отзивом ознакомлен

28.05.2019

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Казанцева Сергея Юрьевича «Высокоэнергетические нецепные HF(DF) лазеры, инициируемые объемным самостоятельным разрядом», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – «Лазерная физика»

Диссертационная работа посвящена проблеме создания высокоэнергетических нецепных HF(DF) лазеров, инициируемых объемным самостоятельным разрядом. Нецепные химические HF(DF) лазеры являются наиболее мощными и удобными источниками когерентного излучения в спектральном диапазоне 2,6-5 мкм, что делает тему исследований актуальной и востребованной.

Автором была решена проблема получения масштабируемого объемного разряда в газовых смесях на основе сильно электроотрицательных газов. В частности, на основе подхода, предложенного автором, в рабочих смесях нецепных химических HF(DF) лазеров были получены однородные объемные разряды в разрядных промежутках с межэлектродным расстоянием ~30 см, что позволило создать нецепные электроразрядные HF(DF) лазеры с самыми высокими в мире энергетическими характеристиками. Созданы импульсные лазеры, инициируемые СИОР с межэлектродным расстоянием 27 см, объемом до 70 л и энергией излучения 410 Дж на HF и 330 Дж на DF с КПД 4,3% и 3,4% соответственно, а также нецепные импульсно-периодические HF лазеры со средней мощностью ~1 кВт. В настоящее время все нецепные электроразрядные HF(DF) лазеры с апертурой свыше 10 см создаются на основе подхода, развитого в работах Казанцева С.Ю.

Системный анализ проблем формирования однородного масштабируемого разряда в газовых смесях на основе SF<sub>6</sub> позволил выявить новую форму объемного разряда (самоиницирующийся объемный разряд), для получения которой не требуется применение специальных устройств для предыонизации разрядного промежутка. В работах Казанцева С.Ю. были определены необходимые и достаточные условия для реализации самоиницирующегося объемного разряда, который может применяться не только для возбуждения активной среды лазеров, но и при создании различных плазмохимических реакторов.

Известно, что спектр нецепных химических HF(DF) лазеров значительно беднее в длинноволновой области, чем у HF(DF) лазеров на цепной реакции. Доля лазерной энергии в спектральной области 4,4-5 мкм у химических DF лазеров, обычно не превышает 5 %, поэтому автором было предложено для получения мощной и перестраиваемой генерации в спектральной области 4,4-5 мкм использовать Fe<sup>2+</sup>:ZnSe-лазер, оптически возбуждаемый с помощью нецепного HF лазера. В работах Казанцева С.Ю. были предложены и реализованы мощные лазерные системы, работающие на основе оптически возбуждаемых с помощью нецепного HF(DF)-лазера кристаллических структур ZnSe:Fe<sup>2+</sup> и ZnS:Fe<sup>2+</sup> и излучающие при комнатной температуре в спектральном диапазоне 3,7-5 мкм. На поликристаллических структурах ZnSe:Fe<sup>2+</sup> и ZnS:Fe<sup>2+</sup> в работах автора при комнатной температуре были достигнуты рекордные энергетические характеристики, более чем на порядок превышающие результаты, достигнутые другими исследовательскими группами.

Основные результаты диссертационной работы достаточно полно отражены в работах автора в рецензируемых научных изданиях высокого уровня и апробированы на международных конференциях и симпозиумах. Автореферат написан грамотно, изложен последовательно, хорошо иллюстрирован и оформлен.

Замечания по автореферату диссертации:

- в работе значительное внимание уделено исследованию физики газового разряда, при этом исследованию лазеров на кристаллических структурах ZnSe:Fe и ZnS:Fe посвящен всего один раздел 6-й главы диссертации;
- в автореферате не приведены данные о стабильности энергетических параметров и ресурсе работы нецепных HF(DF) лазеров, инициируемых объемным разрядом.

Представленные замечания не снижают ценность работы. Диссертационная работа представляет собой законченное исследование, результаты которого имеют большую научную и практическую значимость. Работа соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Казанцев Сергей Юрьевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – «Лазерная физика».

Проректор по научной и инновационной деятельности,  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой прикладной физики

И.А. Каплунов

170100, г. Тверь, ул. Желябова, д. 33,  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования «Тверской государственный университет»  
Телефон: +7 (4822) 32-28-39  
E-mail: Kaplunov.IA@tversu.ru

Подпись удостоверяю  
Нач. Общего отдела



**Отзыв на автореферат диссертации С. Ю. Казанцева «Высокоэнергетические нецепные HF(DF)-лазеры, иницируемые объемным самостоятельным разрядом», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности: 01.04.21 – лазерная физика.**

Диссертационная работа Сергея Юрьевича Казанцева посвящена исследованию формирования объемных самостоятельных разрядов в смесях на основе электроотрицательных газов ( $\text{SF}_6$  и др.) и созданию на основе данных исследований высокоэнергетических нецепных HF(DF)-лазеров и лазерных комплексов на их основе. Тема диссертации, несомненно, актуальна, поскольку данные лазеры находят широкое применение в ряде областей науки и техники (зондирование атмосферы, оптическая накачка твердотельных лазеров и т.д.).

В диссертационной работе С. Ю. Казанцева впервые обнаружен и исследован новый вид объемного самостоятельного разряда, а именно, самоиницирующийся объемный разряд в смесях с элегазом. Определены условия и границы существования разрядов данного вида.

На основе самоиницирующегося объемного разряда решена проблема увеличения энергии генерации нецепных HF(DF) лазеров. Разработаны нецепные химические HF и DF лазеры с максимальными в мире значениями энергии в импульсе (440 и 330 Дж, соответственно).

Впервые определена величина приведённой критической напряженности электрического поля в недиссоциированном  $\text{SF}_6$  в температурном диапазоне от 300 до 2300 градусов К и указаны причины противоречия с данными, полученными в других исследовательских группах.

Впервые созданы мощные лазерные системы на основе кристаллов ZnSe и ZnS, легированных ионами железа, для накачки которых применены разработанные С. Ю. Казанцевым нецепные HF(DF)-лазера. Получена эффективная генерация в диапазоне длин волн диапазоне 3,7–5 мкм.

Цель диссертационной работы, заключающаяся в поиске новых принципов формирования объемных разрядов в газовых смесях с электроотрицательными газами для создания мощных нецепных химических лазеров и создании эффективных мощных лазеров, работающих в диапазоне 2,6– 5 мкм, успешно достигнута.

В автореферате диссертационной работы хорошо отражается личный вклад автора в ходе многолетних исследований и разработке нецепных лазеров и мощных лазерных систем на их основе. Основные результаты диссертационной работы изложены в 90 научных статьях.

Достоверность полученных в диссертационной работе научных результатов также не вызывает сомнений, поскольку данные результаты получены с применением общепринятых методик измерения параметров электрических импульсов и характеристик лазерного излучения, использованием современной регистрационной аппаратуры и современных методик эксперимента, современных аналитических и численных методов; согласованием полученных результатов с данными, полученными другими авторами в подобных условиях эксперимента и опубликованными в научной литературе.

После прочтения автореферата диссертационной работы у меня возникли некоторые вопросы относительно проведенных исследований:

1. На стр. 4 и 6 автореферата вводится термин «самоорганизация диссипативных структур», «нестационарные самоорганизующиеся процессы», которые затем никак не описываются. По моему мнению, автору следовало бы кратко описать физическую суть данных терминов.
2. На Рисунке 6 не понятно, в каком месте разрядного промежутка снято распределение интенсивности свечения объемного разряда.

В автореферате диссертационной работы содержится ряд неточностей. Например, в первом защищаемом положении написано «В SF<sub>6</sub> и смесях на ее основе ». Принято писать «на его основе».

Однако данные замечания не могут повлиять на высокую оценку данной диссертационной работы. Научные положения, представленные в диссертационной работе, прошли апробацию на многих Российских и международных конференциях, опубликованы в высокорейтинговых научных журналах.

На основании представленного автореферата диссертационной работы считаю, что работа выполнена на высоком научном уровне и соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям, а С. Ю. Казанцев заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности: 01.04.21 – лазерная физика.

Доктор физико-математических наук,  
старший научный сотрудник



Панченко Алексей Николаевич

27.05.2019 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт  
сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭ  
СО РАН),

Старший научный сотрудник

634055, Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/3

Тел.: (382) 491-685, E-mail: alexei@loi.hcei.tsc.ru

**Подтверждаю свое согласие на дальнейшую обработку моих персональных  
данных.**

Подпись Панченко А. Н. удостоверяю  
Ученый секретарь ИСЭ СО РАН,  
доктор физико-математических наук



Пегель И. В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт  
сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭ  
СО РАН),

634055, Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/3

Тел.: (382) 491-947, E-mail: contact@hcei.tsc.ru, сайт: <http://www.hcei.tsc.ru>

С ознакомлением



## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Казанцева Сергея Юрьевича  
«Высокоэнергетические нецепные HF(DF) лазеры, инициируемые объемным  
самостоятельным разрядом»,  
представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук  
по специальности: 01.04.21 – лазерная физика.

Диссертационная работа С. Ю. Казанцева посвящена актуальной теме, связанной с разработкой физических основ для создания высокоэнергетических эффективных нецепных HF(DF)-лазеров и лазерных комплексов на их основе, излучающих в спектральном интервале 2,6–5 мкм, которые востребованы во многих областях науки и техники.

Для достижения поставленной цели диссертанту необходимо было решить ряд задач, а именно:

- Изучить влияние условий формирования объемного самостоятельного разряда (ОСР), газового состава, режима ввода энергии в газ на эффективность и энергию излучения нецепных HF(DF)-лазеров.
- Исследовать устойчивость и динамику развития ОСР в рабочих смесях нецепного HF(DF)-лазера, влияние газового состава и геометрии разрядного промежутка (РП) на характеристики ОСР. На основании проведенных исследований выработать рекомендации к газовому составу и к методике получения ОСР в нецепных HF(DF)-лазерах.
- Разработать простые и надежные высокоэнергетические широкоапертурные нецепные HF(DF)-лазеры и исследовать их характеристики.
- Исследовать возможности расширения спектра генерации нецепного HF(DF)-лазера с целью создания мощного источника излучения, перестраиваемого в области 2,6–5 мкм.

К началу проведения исследований было понятно, что традиционные методы осуществления ОСР, имеют крайне ограниченное применение в случае электроразрядных HF(DF)-лазеров с большими апертурами. Однако это не помешало успешно выполнить, поставленные в диссертации задачи. Автором получены новые научные результаты, позволившие обобщить обнаруженные физические явления и разработать принципы формирования масштабируемого самоиницирующегося объемного разряда (СИОР), а также создать ряд уникальных высокоэнергетических лазерных систем.

Среди основных научных результатов можно выделить следующее. Во-первых, впервые в SF<sub>6</sub> и смесях на его основе выявлена и исследована особая форма объемного разряда – СИОР, обнаружен эффект ограничения плотности тока в диффузном канале, обуславливающий существование такой формы разряда. Во-вторых, созданы импульсные нецепные HF(DF)-лазеры с рекордными энергетическими характеристиками. В-третьих, получены температурные зависимости критической приведенной напряженности электрического поля  $(E/N)_{cr}$  в недиссоциированном SF<sub>6</sub> и смесях SF<sub>6</sub>:C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> в диапазоне температур  $T = 300–2300$  К. Также следует отметить, что 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.

К результатам с важной практической значимостью следует отнести 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 и достичь выходной энергии  $W_{out} = 410$  Дж на HF и  $W_{out} = 330$  Дж на DF при

электрическом КПД 4,3% и 3,4% соответственно. Также, результаты работы важны для понимания условий получения объемных разрядов в различных сильно электроотрицательных газах.

Основные результаты диссертационной работы изложены в 56 научных работах, опубликованных в изданиях рекомендованных ВАК РФ, 51 статья опубликованы в ведущих рецензируемых научных журналах, входящих в международную библиографическую базу WoS.

При прочтении автореферата диссертационной работы хотелось бы отметить, что: 1) из третьей главы автореферата не ясно, проводилось ли прямое измерение зависимости проводимости в канале (например, в канале с иницирующего разряд электрода) СИОР от величины удельного энерговклада, подтверждающее эффект ограничения плотности тока; 2) в разделе 5.4 сообщается о создании нецепного HF-лазера со средней мощностью генерации более 1 кВт и частотой следования импульсов 20 Гц. Для импульсно-периодических лазеров важной характеристикой является ресурс работы газовой смеси, но сведений о ресурсе в автореферате не приводится. Как появление множества диффузных макроканалов и катодных пятен в разряде может сказываться на ресурсе работы HF(DF)-лазеров?

Тем не менее, сделанные замечания не носят принципиального характера и не снижают положительной оценки автореферата диссертационной работы. На основании представленного автореферата диссертационной работы считаю, что работа выполнена на высоком научном уровне и соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям, а С. Ю. Казанцев заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – Лазерная физика.

**Подтверждаю свое согласие на дальнейшую обработку моих персональных данных.**

Доктор технических наук,  
член-корреспондент РАН

Ямщиков Владимир Александрович

Директор филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Института электрофизики и электроэнергетики Российской академии наук (ИЭЭ РАН),  
РФ, 119334, г. Москва, Ленинский проспект, д. 32А  
Тел.: (499) 135-11-95, E-mail: yamshchikov@ras.ru.

Подпись Ямщикова В. А. удостоверяю  
Ученый секретарь филиала ИЭЭ РАН  
кандидат технических наук



Шершунова Е. А.

16 мая 2019 г.

С отзавом ознакомлен   
17.05.19



## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Казанцева Сергея Юрьевича «Высокоэнергетические нецепные HF(DF) лазеры, иницируемые объемным самостоятельным разрядом» на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Диссертационная работа посвящена проблеме создания высокоэнергетических нецепных HF(DF) лазеров, иницируемых объемным самостоятельным разрядом.

Актуальность темы диссертации не вызывает сомнений поскольку нецепные химические HF(DF) лазеры являются наиболее мощными и удобными источниками когерентного излучения в интересном для многих практических приложений спектральном диапазоне 2.6-5 мкм.

Автором была решена проблема получения масштабируемого объемного разряда в газовых смесях на основе сильно электроотрицательных газов. В частности, на основе подхода предложенного автором в рабочих смесях нецепных химических HF(DF) лазеров были получены однородные объемные разряды в разрядных промежутках с межэлектродным расстоянием ~30 см, что позволило создать нецепные электроразрядные HF(DF) лазеры с самыми высокими в мире энергетическими характеристиками. Созданы импульсные лазеры, иницируемые СИОР с межэлектродным расстоянием 27 см, объемом до 70 л и энергией излучения 410 Дж на HF и 330 Дж на DF с КПД 4,3% и 3,4% соответственно, а также нецепные импульсно-периодические HF лазеры со средней мощностью ~1 кВт. В настоящее время все нецепные электроразрядные HF(DF) лазеры с апертурой свыше 10 см создаются на основе подхода развитого в работах Казанцева С.Ю.

Системный анализ проблем формирования однородного масштабируемого разряда в газовых смесях на основе SF<sub>6</sub> позволил выявить новую форму объемного разряда (самоиницирующийся объемный разряд), для получения которой не требуется применение специальных устройств для предионизации разрядного промежутка. В работах Казанцева С.Ю. были определены необходимые и достаточные условия для реализации самоиницирующегося объемного разряда, который может применяться не только для возбуждения активной среды лазеров, но и при создании различных плазмохимических реакторов.

Известно, что спектр нецепных химических HF(DF) лазеров значительно беднее в длинноволновой области, чем у HF(DF) лазеров на цепной реакции. Доля лазерной энергии в спектральной области 4.4-5 мкм у химических DF лазеров, обычно не превышает 5 %, поэтому автором было предложено для получения мощной и перестраиваемой генерации в спектральной области 4.4-5 мкм использовать Fe<sup>2+</sup>:ZnSe-лазер, оптически возбуждаемый с помощью нецепного HF лазера. В работах Казанцева С.Ю. были предложены и реализованы мощные лазерные системы, работающие на основе оптически возбуждаемых с помощью нецепного HF(DF)-лазера кристаллических структур ZnSe:Fe<sup>2+</sup> и ZnS:Fe<sup>2+</sup> и излучающие при комнатной температуре в спектральном диапазоне 3,7-5 мкм. На поликристаллических структурах ZnSe:Fe<sup>2+</sup> и ZnS:Fe<sup>2+</sup> в работах автора при комнатной температуре были достигнуты рекордные энергетические характеристики более чем на порядок превышающие результаты, достигнутые другими исследовательскими группами.

### Замечания

В тексте автореферата часто встречаются сокращения и аббревиатуры, что затрудняет чтение. Из автореферата диссертации видно, что в работе значительное внимание уделено исследованию физики газового разряда, при этом исследованию лазеров на кристаллических структурах ZnSe:Fe и ZnS:Fe посвящен всего один раздел 6-й главы

диссертации, в автореферате не приводятся данные спектрально временных характеристиках излучения, исследуемых лазеров, а также данных о стабильности энергетических параметров и ресурсе работы нецепных HF(DF) лазеров, инициируемых объемным разрядом.

В целом автореферат отражает законченную докторскую диссертацию, результаты которой имеют большую научную и практическую ценность. Основные результаты этой диссертационной работы опубликованы в 56 рецензируемых научных изданиях из списка ВАК и апробированы на 29 международных конференциях и симпозиумах. Автореферат написан грамотно, хорошо иллюстрирован, изложен последовательно и оформлен в соответствии с требованиями ВАК. На основании этого полагаю, что Казанцев Сергей Юрьевич заслуживает (не заслуживает) ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – «Лазерная физика».

Заведующий Лабораторией квантовой электроники ИЭФ УрО РАН  
Член-корреспондент РАН, профессор,  
заслуженный деятель науки РФ

*В. В. Осипов*

В. В. Осипов

Подпись Осипова В.В.  
заверяю  
Ученый секретарь ИЭФ УрО РАН,  
к.ф.м.-н.



*Е. Е. Кокорина*

Е.Е.Кокорина

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Казанцева Сергея Юрьевича «Высокоэнергетические нецепные HF(DF)-лазеры, инициируемые объемным самостоятельным разрядом», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности

01.04.21 – лазерная физика

Диссертационная работа С. Ю. Казанцева посвящена решению одной из актуальных задач современной лазерной физики – разработке новых эффективных лазерных источников с высокой выходной энергией излучения в спектральной области 2,6–5 мкм. Такие лазеры востребованы в различных областях науки и техники — это дистанционное зондирование атмосферы, разделение изотопов, медицина, специальные применения и т.п. Автором разработаны физические основы создания высокоэнергетических эффективных HF(DF)-лазеров на нецепных реакциях на основе новых принципов формирования объемных самостоятельных разрядов (ОСР).

Получен ряд принципиально новых научных результатов, совокупность которых является крупным вкладом в физику электроразрядных лазеров. Среди наиболее важных результатов можно выделить следующие:

- Выявлена и исследована особая форма объемного разряда — самоиницирующий объемный разряд (СИОР), являющийся формой объемного самостоятельного разряда (ОСР), получаемого без предыонизации в газовых смесях, содержащих сильно электроотрицательные многоатомные газы  $SF_6$ ,  $C_3F_8$ ,  $C_2HCl_3$  и  $C_3H_7I$ . Показано, что формирование СИОР в сильно электроотрицательных газах происходит вследствие процессов самоорганизации диссипативных структур, представляющих собой диффузные плазменные каналы.
- Установлены критерии для качественной и количественной оценки влияния различных газовых добавок на устойчивость СИОР в газовых смесях на основе  $SF_6$ .
- Впервые в  $SF_6$  и ряде других сильно электроотрицательных многоатомных газов (например,  $C_3F_8$ ,  $C_2HCl_3$ ,  $C_3H_7I$ ) экспериментально обнаружен и исследован эффект ограничения плотности тока в диффузном канале, обуславливающий существование такой формы ОСР, как СИОР.
- Определены условия получения СИОР с равномерным распределением энерговклада в объеме разрядного промежутка, что позволило получить однородную газоразрядную плазму сильно электроотрицательных газов в больших объемах при средних давлениях.

Особо значимо выделяется цикл по исследованию генерационных характеристик созданных HF(DF)-лазеров, инициируемых СИОР. Показано, что реализация СИОР позволяет значительно увеличить апертуру и разрядный объем нецепных HF(DF)-лазеров, повысить их надежность и ресурс работы. Созданы импульсные нецепные HF(DF)-лазеры с рекордными энергетическими характеристиками.

Приоритетный характер имеют также выполненные исследования в области создания мощных лазерных систем, излучающих 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:Fe<sup>2+</sup> при комнатной температуре может достигать ~50%.

Рассматриваемый автореферат дает четкое и однозначное представление о несомненной научной и практической значимости результатов исследований, выполненных С. Ю. Казанцевым.

Результаты выполненных соискателем исследований по направлениям диссертационной работы опубликованы в более чем 50 статьях в ведущих реферируемых научных журналах. Объем и высокий уровень представленного материала соответствуют требованиям к диссертационным работам высшей квалификации и автор, несомненно, заслуживает присуждения искомой степени доктора физико–математических наук.

Заведующий центром “Физика плазмы”

Института физики НАН Беларуси,

член-корреспондент НАН Беларуси

доктор физико-математических наук



Н.В. Тарасенко

