

Отзыв

официального оппонента на диссертацию Панченко Юрия Николаевича «Энергетические, временные, пространственные и спектральные характеристики излучения в перестраиваемых ХеСl- и КrF-лазерных источниках», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Диссертационная работа Ю. Н. Панченко посвящена развитию направления, связанного с разработкой физических принципов формирования когерентного излучения в ХеСl и КrF лазерах и лазерных системах с высокой энергией в импульсе излучения. В электронно-пучковых ХеСl и КrF лазерах ранее была достигнута максимальная удельная энергия в импульсе ~ 20 Дж/л при максимальной эффективности от энергии, вложенной в газ 6 и 11 %, соответственно. Однако, в электроразрядных эксимерных лазерах экспериментально полученная максимальная удельная энергия излучения не превышала 7,6 Дж/л при КПД лазера ~ 3 %. Основной причиной, приводящей к снижению параметров ранее разработанных электроразрядных эксимерных лазеров, является контракция объемного разряда, которая наиболее явно проявляется с ростом удельной мощности накачки. Кроме того, контракция разряда или развитие в нем токовых каналов приводит не только к снижению энергии генерации, КПД и длительности импульса излучения, но и существенно усложняет условия для формирования высоконаправленного спектрально узкого лазерного пучка в спектрально селективном резонаторе электроразрядного эксимерного лазера. В этой связи, диссертационная работа Ю. Н. Панченко, в которой выясняются закономерности развития ионизационных неустойчивостей в объемной плазме, физических условий формирования спектрально узкого излучения в дисперсионных резонаторах эксимерных лазеров и лазерных систем **является актуальной** как с научной, так и с практической точки зрения.

Диссертация Ю. Н. Панченко состоит из введения семи глав и заключения.

Во введении автором работы сформулированы цель и основные задачи исследования, ее научная и практическая ценность, приведены защищаемые положения.

В первой главе выполнен анализ литературных данных, который свидетельствует о достаточно полной проработке литературы по теме диссертационной работы и отражает состояние проблемы к моменту постановки задач исследования. Список цитируемой литературы, включающий 301 наименование, подтверждает этот факт.

Во второй главе обсуждается широкий круг используемых диссертантом экспериментальных установок и экспериментальных методик. Применение современной регистрационной аппаратуры, сопоставление полученных результатов с литературными данными, а также высокая повторяемость изучаемых эффектов на различных экспериментальных установках определяет **достоверность сформулированных в диссертации научных положений и обоснованность сделанных выводов.**

Третья глава посвящена исследованию электроразрядных эксимерных лазеров при высоких удельных мощностях накачки, анализу возможности формирования устойчивого однородного и пространственно-неоднородного разряда в электроразрядных ХеСl и КrF лазерах. Приведены результаты исследований ХеСl лазера при колебательном режиме тока накачки, изучается развитие диффузных макроканалов в разрядной плазме ХеСl-лазера, характеристики разряда, состоящего из токовых микроканалов. Исследуются импульсно-периодические КrF-лазеры со средней мощностью генерации 50 и 100 Вт.

В четвертой главе представлены результаты исследований процесса генерации в электроразрядных ХеСl и КrF лазерах, являющихся задающими генераторами в лазерных системах «генератор – усилитель», для различных условий, в частности, вблизи порога генерации, в ненасыщенном и насыщенном режимах усиления. Анализируется работа этих лазеров с малоапертурными резонаторами, селективными по частоте излучения, в

том числе со спектрально узкой линией генерации и с относительно широким диапазоном частотной перестройки.

В пятой главе приведены результаты исследований широкоапертурных KrF и XeCl лазерных систем с достаточно большой энергией излучения. Пристальное внимание уделено проблеме угловой направленности этих систем и достижению дифракционного предела угловой расходимости, в частности, формированию излучения в широкоапертурной XeCl лазерной системе с энергией излучения 330 Дж.

Шестая глава посвящена применению эффекта вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ) для управления характеристиками излучения XeCl лазера. Анализируется воздействие фотодиссоциации гептана C_7H_{16} на параметры излучения при ВРМБ и механизм этой диссоциации при двухфотонном поглощении на длине волны генерации XeCl лазера. Эффект обращения волнового фронта (ОВФ) на ВРМБ в гептане применяется для компенсации оптических искажений волнового фронта лазерного пучка при его распространении в атмосфере и оптических элементах XeCl лазерной системы. Показана возможность значительного сокращения длительности импульса излучения за счет его компрессии при ВРМБ.

В седьмой главе рассматриваются результаты исследований возможности генерации в электроразрядном лазере на тримере Kr_2F^* . Проведено сравнение сигналов флуоресценции димера KrF^* и выше названного тримера. Выполнена оценка коэффициента усиления в активной среде электроразрядного лазера на тримере Kr_2F^* .

В Заключении представлены основные результаты диссертационной работы.

К наиболее **важным и значимым результатам**, определяющими научную новизну диссертационной работы, на мой взгляд, можно отнести следующие результаты.

В электроразрядном XeCl-лазере экспериментально установлены общие закономерности формирования ионизационных неустойчивостей в объемной плазме при удельных мощностях накачки более 3 МВт/см^3 и длительности импульса полупериода тока разряда 20 – 40 нс. Определена парциальная доля галогена в газовой смеси Ne/Xe/HCl, необходимая для устойчивого горения квазиоднородного объемного разряда, состоящего из перекрывающихся диффузных каналов. Удельная мощность накачки увеличена до 5 МВт/см^3 при сохранении такой формы разряда в течении всей длительности импульса накачки, включающей в себя несколько периодов колебания разрядного тока.

Для широкоапертурных электроразрядных XeCl-усилителей с длительностью импульса накачки более 200 нс найдены необходимые условия для обеспечения оптической однородности активной среды. Показано, что с ростом удельной энергии накачки в разряде могут возникать различные типы неоднородностей в зависимости от соотношения компонентов газовой смеси. Экспериментально продемонстрировано, что электроразрядный XeCl-усилитель с апертурой разряда $2 \times 4 \text{ см}$ и длительностью импульса излучения 200 нс при максимальной удельной мощности накачки 250 кВт/см^3 не ухудшает угловую направленность усиливаемого пучка с дифракционной расходимостью $3,7 \cdot 10^{-5}$ рад.

Выявлены общие закономерности влияния нелинейных свойств вещества, геометрии фокусировки и параметров пучка накачки на условия реализации ОВФ при ВРМБ для излучения XeCl лазера. Выявлены сопутствующие нелинейные эффекты, возникающие при взаимодействии излучения с веществом. Впервые продемонстрировано, что в XeCl-лазерной системе с диаметром пучка 150 мм за счет ОВФ при ВРМБ возможно получение расходимости $5 \cdot 10^{-6}$ рад после ее ухудшения до 20 дифракционных пределов. За счет компрессии импульса излучения XeCl-лазера при ВРМБ с 20 до 1 нс получено 10-кратное повышение его мощности с сохранением расходимости близкой к дифракционному пределу.

Обнаружены особенности влияния контура усиления активной среды на нелинейную спектральную селекцию излучения в спектрально селективном резонаторе ХеСl-лазера. Показано, что для резонатора со спектральной полосой пропускания $\sim 1 \text{ \AA}$ возникает дополнительная спектральная селекция излучения за счет неоднородностей в контуре усиления активной среды. Замена дисперсионного элемента в резонаторе на ВРМБ-ячейку с гептаном C_7H_{16} обеспечивает генерацию излучения с высоким параметром качества пучка и субнаносекундной длительностью импульса генерации.

Созданы спектрально узкополосные импульсно-периодические электроразрядные KrF лазеры, действующие с частотой повторения импульсов до 100 Гц и шириной спектральной линии 2 пм.

Установлены условия образования активной среды на трехатомных молекулах Kr_2F^* в газоразрядной плазме. Показано, что в газовой смеси Ar/Kr/ F_2 формируется активная среда на молекулах Kr_2F^* с коэффициентом усиления $3,14 \cdot 10^{-4} \text{ см}^{-1}$. Спектральный профиль контура усиления активной среды состоит из широких полос с максимумами на длинах волн 414, 456 и 503 нм.

Следует отметить, что все эти важные для развития лазерной физики результаты удается получить только при обобщении и анализе полученных закономерностей поддержания диффузного разряда в плотных эксимерных смесях с разными удельными мощностями накачки; при изменении условий нелинейного взаимодействия поля формирующегося излучения и усиления активной среды, а также при изучении методов управления спектральным составом излучения.

Практическая значимость экспериментальных и численных результатов, полученных в ходе исследования диффузного разряда, заключается в возможности применения обнаруженных условий поддержания разряда для разработки эффективных электроразрядных ХеСl и KrF лазеров с высокой удельной энергией излучения до 10 Дж/л. Разработанные KrF лазеры использованы в лидарных системах для дистанционного обнаружения опасных веществ в воздухе.

Предложенные в работе научные подходы позволили создать широкоапертурную ($\sim 40 \text{ см}$) пятикаскадную ХеСl лазерную систему и получить на ней узкополосное излучение с малой расходимостью, рекордно большой длительностью импульса 220 нс и энергией 330 Дж.

В ходе проведения работ были разработаны различные оригинальные оптические схемы спектрально селективных резонаторов задающих генераторов и лазерных систем на молекулах ХеСl и KrF. Отдельно следует выделить результаты исследования обращения волнового фронта при ВРМБ излучения ХеСl-лазера, которые впервые позволили показать применимость данного метода для компенсации фазовых искажений волнового фронта пучка с угловой направленностью излучения 5×10^{-6} рад.

Полученные в диссертации результаты представляют интерес для специалистов, работающих в области лазерной физики, газового разряда, оптики и спектроскопии, могут быть использованы при разработке газовых лазеров с высоким качеством излучения, а также при подготовке учебных курсов в высших учебных заведениях Российской Федерации.

По диссертационной работе имеются следующие **замечания**:

1. Глава 7, в которой представлены оригинальные результаты по реализации активной среды при электроразрядном (не электронно-пучковом) способе возбуждения тримера Kr_2F^* и измерению коэффициента усиления в этой среде, несколько выпадает из общей канвы диссертации и недостаточно точно

соответствует ее названию «Энергетические, временные, пространственные и спектральные характеристики излучения в перестраиваемых ХеСl- и КrF-лазерных источниках»

2. В работе не сопоставляются данные по величине энергозклада в разряд ХеСl и КrF лазеров для сохранения высокой однородности объемной плазмы при длительности импульса накачки менее 200 нс. Такое сопоставление было бы содержательным и позволило бы обобщить предлагаемое в диссертации эмпирическое неравенство для наиболее часто используемого диапазона длительностей накачки эксимерных лазеров.
3. На рис. 2.1, (стр. 52, электрическая принципиальная схема) не показано, где подается зарядное напряжение (U_0). Нет расшифровки понятия внутренний КПД лазера, рис. 2.4, стр. 58.
4. В диссертационной работе имеются синтаксические ошибки и опечатки. Например, неправильно расставлены знаки препинания на стр. 6, 7, 47, 77, 150. Нарушено согласование слов в предложениях на стр. 100, 225, 227.

Указанные замечания и недостатки не затрагивают основных выводов работы и положений, выносимых на защиту, не снижают общей положительной оценки диссертации. Работа представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу и выполнена автором на высоком научном уровне. В целом диссертация хорошо написана и оформлена в соответствии с установленными требованиями. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации и требованиям ВАК. Основное содержание работы достаточно полно отражено в 54 публикациях. Из них 27 публикаций - в журналах из списка ВАК и входящих в базы данных Web of Science, Scopus, 1 монография, получено 8 патентов.

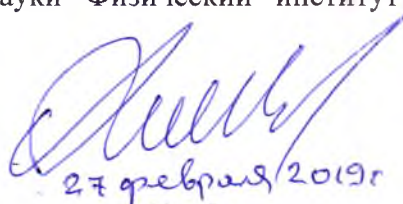
Считаю, что диссертационная работа Ю. Н. Панченко по объёму, актуальности, научной новизне и практической значимости удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям (п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней), соответствует специальности 01.04.21 – лазерная физика, а сам диссертант, Панченко Юрий Николаевич, заслуживает присуждения степени доктора физико-математических наук.

Официальный оппонент,

Ионин Андрей Алексеевич, доктор физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика, профессор по специальности 01.04.21 – лазерная физика, руководитель отделения, Отделение квантовой радиофизики, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт имени П. Н. Лебедева Российской академии наук.

Тел.: +7(499) 783-36-90

E-mail: aion@sci.lebedev.ru



27 февраля 2019г

А. А. Ионин

119991, Россия, ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д. 53, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт имени П. Н. Лебедева Российской академии наук.

Тел.: 8(499)135-14-29

E-mail: office@lebedev.ru

<http://www.lebedev.ru>

Отделение квантовой
радиофизики им. Н.Г. Басова
<http://sites.lebedev.ru/okrf>

Подпись д.ф.-м.н., профессора А. А. Ионина заверяю



Савинов С.Ю.