

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Дмитрия Эдуардовича Закревского "Методы возбуждения лазерных сред на основе газовых разрядов среднего и высокого давления", представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 «Лазерная физика»

В диссертационной работе представлены результаты исследований лазерной генерации в активных средах при их возбуждении низкоэнергетическими электронными пучками и газовыми разрядами высокого давления. Интерес к этой теме и соответственно **актуальность** этих исследований связаны с необходимостью развития газовых лазеров. Проблема сводилась к тому, что особенности функционирования газового разряда, особенно при высоком давлении, процессы, протекающие в газовом разряде, и их воздействие на лазерные среды, в частности на ограничение эффективности и мощности генерации, делали необходимым расширение возможностей известных и развитие новых методов возбуждения для получения новых длин волн излучения, повышения мощности, эффективности генерации лазерного излучения и выявления новых свойств активных сред. Предпосылками решений этих проблем были работы, демонстрирующие перспективность возбуждения некоторых типов газовых лазеров пучками и потоками быстрых частиц, и известные эффекты, связанные с функционированием лазеров на парах металлов при давлениях, когда газовый разряд в чистом инертном газе контрагирован и соответственно не пригоден для возбуждения лазеров.

Целью работы являлось изучение новых методов энергетического воздействия на активные среды на основе газовых разрядов среднего и высокого давления и возбуждение ими лазеров. В диссертации решались следующие основные задачи: - исследование методов генерации низкоэнергетических электронных пучков на основе газовых разрядов среднего давления; - исследование лазерных источников с электронно-пучковым возбуждением; - исследование продольного импульсно-периодического газового разряда в парогазовых смесях высокого давления; - исследование газоразрядных лазеров на парах металлов высокого давления; - исследование физико-технических ограничений частотно-энергетических характеристик разрядных лазеров на самоограниченных переходах и способов их преодоления

Диссертация состоит из введения, 6 глав и заключения, в котором перечислены основные результаты. Содержание диссертации фактически можно разделить на 3 части. Первая посвящена экспериментальному изучению методов генерации пучков убегающих

электронов и исследованию возбуждения этими пучками активных сред, как газовых, так и твердотельных. Вторая часть посвящена исследованию продольного газового разряда в при высоких давлениях парогазовых смесей и возбуждению им лазеров на парах металлов атмосферного давления и выше в газоразрядных трубках большого диаметра. Третья часть посвящена исследованию ограничений частотно-энергетических характеристик разрядных лазеров на самоограниченных переходах на примере лазеров на парах меди и бромида меди и демонстрация путей преодоления этих ограничений

Среди результатов первой части диссертации (главы 3,4) можно выделить следующие: - проведены исследования генерации электронных пучков в различных режимах «открытого» разряда с различной геометрией во всех инертных газах, а также в их смесях с молекулярными газами и парами металлов; - предложена новая разновидность разряда - «открытый» разряд с катодной полостью; - исследована генерация электронных пучков в широкоапертурных разряде в полой катодной и аномально тлеющем разряде; - продемонстрирована возможность получения высокой эффективности генерации пучков при обеспечении условий преобладания фотоэмиссионного механизма генерации электронов. В качестве важных результатов можно отнести получение электронных пучков с широким набором параметров, исследования их оригинальных свойств, как положительных, так и отрицательных. Ценным качеством диссертации является комплексный подход к объяснению полученных результатов. Например, для обоснования механизмов генерации электронов (глава 2) проведены измерения параметров разрядов, определяющих развитие тока и эмиссии электронов (распределение электрического поля, коэффициентов размножения электронов, коэффициентов фотоэмиссии, представлены новые представления о фотоэмиссии в газовом разряде).

С точки зрения исследования лазерной генерации, то из всей совокупности представленных материалов, касающихся возбуждению электронными пучками активных сред с различными механизмами инверсии населённостей, можно выделить: - исследование лазерной генерации на самоограниченном переходе атома гелия $2^1P_1^0 - 2^1S_0$ с $\lambda=2.06\text{мкм}$ и осуществление столкновительного режима генерации вследствие девозбуждения нижнего рабочего состояния плазменными электронами и молекулярными газами при введении в активную среду молекулярных примесей; - первое получение и исследование самоограниченной лазерной генерации на переходах $4p \ ^2P_{3/2}^0 - 4s^2 \ ^2D_{5/2}$ с $\lambda=510.6\text{нм}$ и $4p \ ^2P_{1/2}^0 - 4s^2 \ ^2D_{3/2}$ с $\lambda=578\text{нм}$ в атоме меди при возбуждении смеси *Ne-CuBr* низкоэнергетическим пучками. Получение мощности генерации $\sim 44\text{мкДж/см}^3$ с физической эффективностью $\sim 8.5\%$ позволяет говорить о реализации (или приближении

к ней) предсказанной еще 1995 году в [Arlantsev S.V., et al *J. Russ. Laser Res.*, 16(2), 99 (1995)] возможности генерации с КПД $\approx 16\%$ при электронно-пучковом возбуждении; - демонстрация отсутствия ограничений частотно-энергетических характеристик лазеров при возбуждении электронными пучками.

Среди результатов второй части (глава 5) можно выделить следующие: - качественное обоснование то, что пар металла как легкоионизируемая компонента в парогазовых смесях позволяет получать объёмный газовый разряд в условиях когда обычный разряд уже сконтрагирован и экспериментальную демонстрацию этого (продольный импульсно-периодический газовый разряд до 5 атм); - непосредственное получение и исследование лазерной генерации при давлениях, значительно превышающих атмосферное, что позволило определить предельные характеристики лазеров на парах щелочно и редкоземельных элементов.

Среди результатов третьей части (глава 6) можно выделить: - демонстрацию отсутствия в лазерах на парах меди и бромида меди частотных ограничений из – за предимпульсной концентрации метастабильных атомов. Для этого применен предложенный автором метод пространственно разнесённых областей поглощения и генерации, позволяющий разделить влияние предимпульсных концентраций метастабильных атомов и электронов на частотно-энергетические характеристики. Сделан вывод о том, что энергетические параметры лазеров на парах меди не могут быть ограничены недостаточной скоростью девозбуждения метастабильных состояний; - сравнительные исследования параметров генерации лазеров на парах меди при изменении длительности фронта импульса возбуждения, при этом в качестве обострителя фронта импульса возбуждения применено предложенное и исследованное в отдельном разделе диссертации специальное устройство на основе открытого разряда. Впервые продемонстрировано (о чём ранее много говорилось), что при укорочении фронта импульса напряжения происходит изменение характера частотно-энергетической характеристики генерации.

Диссертация является экспериментальной работой, результаты качественно обосновываются оценками. Получено большое количество оригинальных и интересных результатов, демонстрирующих перспективность подходов, представленных в диссертации и исследуемого направления физики активных сред. Все результаты известны и опубликованы в ведущих отечественных (*Письма ЖЭТФ, Квантовая электроника, Физика плазмы, ЖТФ, Письма ЖТФ*) и зарубежных (*IEEE Journal of Quantum Electronics, Optics Communications, Physical Review, Applied Physics Letters, Journal of Applied Physics, Plasma Sources Sci. Technol., Physics of Plasma*) журналах и

неоднократно докладывались на конференциях. Полученные результаты являются актуальными и имеют высокую научную и практическую ценность. Результаты работы представляют интерес в исследованиях широкого класса лазеров с возбуждением газовым разрядом и электронными пучками, а также в физике плазмы и газового разряда. Выводы диссертации достаточно аргументированы. В работах, опубликованных в соавторстве, автору принадлежат результаты, которые вошли в сформулированные защищаемые положения.

В качестве **замечаний** к диссертационной работе можно указать следующие:

1. Изложение результатов исследований различных типов газовых разрядов, генерирующих электронных пучков, хоть и связанных общим принципом реализации условий их генерации, на мой взгляд избыточно. При этом не все из них применены в диссертационной работе для возбуждения лазеров.
2. Было бы полезно показать отличия исследуемого в диссертации «открытого» разряда от известного разряда в полном катоде.
3. В диссертации включен раздел 4.6, посвященный электронно-пучковому возбуждению твердотельных сред, отсутствие которой несколько не ухудшило бы диссертацию.
4. При определении предельных энергетических характеристик лазеров на парах металлов высокого давления автор ограничился случаем возбуждения активной среды продольным импульсно-периодическим разрядом. В диссертации не уделено внимание предельным давлениям активной среды и не обсуждаются перспективы его дальнейшего повышения. На защите хотелось бы обсудить вопрос о возбуждении лазеров на парах металлов поперечным газовым разрядом высокого давления, в том числе и с возможностью укорочения фронта импульса возбуждения, опять-таки в свете работ, представленных в диссертации.

Изложенные замечания и вопросы не умаляют достоинств диссертации, а касаются формы представления материалов и демонстрируют необходимость и актуальность данной работы и интерес к полученным результатам.

В целом диссертационная работа "Методы возбуждения лазерных сред на основе газовых разрядов среднего и высокого давления" выполнена на высоком научном уровне и оставляет очень хорошее впечатление. Автореферат точно отражает содержание диссертационной работы. Диссертационная работа является законченной научно-квалификационной работой, которая удовлетворяет требованиям п.9, изложенным в Постановлении о порядке присуждения учёных степеней №842 (от 24.09.2013г), утвержденным Правительством Российской Федерации, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора наук, а её автор, Закревский Дмитрий Эдуардович,

заслуживает присуждения степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 «Лазерная физика».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук
по научной специальности 01.04.05 – оптика
профессор,
заведующий лабораторией газовых лазеров

Лосев Валерий Федорович

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук
(ИСЭ СО РАН)
634055, г. Томск, просп. Академический, д. 2/3.
Телефон: 8 (382) 249-18-91
Электронный адрес: losev@ogl.hcei.tsc.ru

Подпись официального оппонента

Лосева Валерия Федоровича удостоверяю:

Ученый секретарь ИСЭ СО РАН

доктор физико-математических наук



И.В. Пегель

22 ноября 2016