

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Панченко Николая Алексеевича «Эффективные газовые лазеры с накачкой
диффузными разрядами, инициируемыми пучками электронов лавин»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических
наук по специальности 01.04.21 – Лазерная физика.

Актуальность исследования. С момента изобретения лазера прошло уже почти 60 лет, но до сих пор имеющиеся линии лазерной генерации не перекрывают весь оптический диапазон. В связи с этим физика лазеров и по сей день интенсивно развивается, и появляются новые и улучшаются существующие лазеры. Несмотря на существенный прогресс в области твердотельных лазеров, газовые среды остаются востребованными в ряде задач современной науки и техники, таких как зондирование атмосферы, оптическая накачка твердотельных лазеров, оптические системы с усилением яркости и др.

Диссертация Панченко Н.А. посвящена исследованию параметров вынужденного излучения объемных диффузных разрядов, которые формируются в газовых смесях высокого давления в резко неоднородном электрическом поле за счет предыонизации убегающими электронами, а также созданию на этой основе данных разрядов эффективных газоразрядных лазеров. Тема диссертации, несомненно, актуальна, так как параметры работы газовых лазеров существенно зависят от параметров накачки, в частности, от параметров газового разряда.

Содержание работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка цитируемой литературы.

Во введении обоснована актуальность работы, поставлены цели и задачи исследований, кратко сформулированы основные результаты работы, научная новизна, научная и практическая значимость, защищаемые положения. Приводятся основные достижения других авторов в области применения объемных разрядов, инициируемые пучками электронов лавин для накачки лазерных сред.

В первой главе выполнен анализ литературных данных, посвященных формированию объемных разрядов и использованию разрядов с убегающими электронами в качестве источника накачки различных активных сред на основе газовых смесей высокого давления. Приводятся теоретические сведения о формировании объемных разрядов, требованиях к разрядным промежуткам и параметрам накачки. Проведенный анализ свидетельствует о достаточно полной проработке литературы по теме диссертационной работы и отражает состояние проблемы к моменту постановки задач исследования. Список цитируемой литературы, включающий 253 наименования, подтверждает этот факт.

Во второй главе описаны экспериментальная установка и методики измерения различных параметров диффузных разрядов, исследованных в ходе эксперимента, обосновывается выбор средств измерений, приведены оценки погрешности измерения физических величин. Приводятся формулы для расчета энергии,

запасаемой в передающей линии импульсного генератора накачки, и результаты расчета. Описана модель азотного лазера на смеси азота с элегазом с накачкой диффузным разрядом с предыонизацией убегающими электронами, приводятся кинетические уравнения неравновесных плазмохимических процессов в объемном разряде и константы скоростей.

В третьей главе представлены параметры вынужденного излучения плазмы диффузного разряда, инициируемого убегающими электронами, в смесях азота с элегазом и (или) гелием, полученные в ходе исследований и численных расчетов. Показано, что электрический КПД азотного лазера с накачкой диффузным разрядом на $\lambda=337$ нм достигает предельных значений $\eta_0 \approx 0,2-0,23\%$, что превышает результаты, полученные в большинстве известных работ при использовании накачки поперечным разрядом с предыонизацией, на 10–15%. Впервые были получены новые режимы работы азотного лазера с двумя или тремя пиками генерации в течение нескольких последовательных полупериодов тока диффузного разряда. Обнаружено, что добавки гелия в смесь N_2-SF_6 позволяют перераспределять мощность и энергию излучения в отдельных пиках и изменять спектр излучения. В ряде режимов накачки максимальная мощность и длительность лазерного излучения наблюдалась $\lambda=357$ нм.

Четвёртая глава посвящена исследованию параметров нецепных химических лазеров на смесях элегаза с водородом и дейтерием с накачкой диффузным разрядом. Эксперименты показали, что высокая однородность диффузного разряда, формируемого убегающими электронами, что доказывается наличием интенсивных каскадных переходов в спектре генерации, позволяет получать предельные КПД генерации химических электроразрядных лазеров на молекулах HF и DF. Максимальная энергия излучения на молекулах HF получена в смесях с водородом составила $Q=110$ мДж при пиковой мощности излучения более 1 МВт. Энергия излучения на молекулах DF возрастала с увеличением добротности резонатора и достигала $Q=75$ мДж. Это связано с меньшим коэффициентом усиления в активной среде DF лазера из-за большего числа лазерных линий излучения в спектре. В ходе экспериментов получен Внутренний (относительно вложенной в плазму разряда энергии) КПД генерации на молекулах HF достигал $\eta_{int}=10\%$, что соответствует предельному значению КПД для лазеров этого типа. КПД генерации DF лазера ($\eta_{int} = 6,8\%$) также близок был к предельному значению для DF-лазера $\eta_{int} \approx 7\%$.

В пятой главе приведены параметры генерации на молекулах XeF^* , KrF^* и ВУФ лазера на молекулярном фторе при накачке диффузным разрядом, инициируемого убегающими электронами. Исследования показали, что диффузный разряд в смесях инертных газов с F_2 в диапазоне давлений 1–5 атмосфер сохраняет свою однородность в течение нескольких полупериодов тока в промежутке в течение 30–50 нс, При этом КПД и длительность импульсов генерации на молекулах XeF^* и KrF^* и ВУФ переходе молекул F_2^* , сопоставимы с данными лазерными параметрами, полученными в поперечных объемных разрядах с предыонизацией,

формируемых в промежутках с однородным электрическим полем между профилированными электродами.

В Заключении кратко изложены основные результаты, полученные при выполнении настоящей диссертационной работы.

Оценивая в целом диссертационную работу Панченко Н. А., считаю, что работа выстроена логически, материал изложен последовательно, а работа в целом соответствует специальности 01.04.21 - Лазерная физика. Изложенный материал в автореферате полностью отражает содержание диссертационной работы.

Достоверность выносимых на защиту положений и других результатов работы достаточно обоснована, в ходе выполнения работы использованы общепринятые методики измерения параметров электрических импульсов и характеристик лазерного излучения, полученные в ходе экспериментов лазерные параметры, соответствуют результатам расчетов. Достоверность результатов измерений мощности, энергии и длительности импульсов лазерного излучения подтверждается воспроизводимостью. Приведенные в работе результаты согласуются с данными, опубликованными в научной литературе.

Научная новизна, практическая ценность и использование полученных результатов.

Впервые получены новые режимы генерации азотного лазера с двумя и тремя пиками излучения в течение нескольких последовательных осцилляций тока диффузного разряда между двумя лезвийными электродами.

Определены активные среды на основе газовых смесей высокого давления, в которых при накачке диффузными разрядами, инициируемыми убегающими электронами, получены, как предельная эффективная генерации на молекулах N₂ и HF(DF), так и длительности излучения до 50 нс на молекулах фторидов инертных газов и фтора.

Впервые получено лазерное излучение на переходах Р-ветви молекул DF при накачке мощными диффузными разрядами активных сред на основе газовых смесей SF₆ с дейтерием, верхние уровни которых заселяются в «горячих» реакциях атомов дейтерия с молекулами фтора $D + F_2 \rightarrow DF(v), v > 4$.

Практическая значимость работ заключается в следующем.

Созданы азотные лазеры с накачкой диффузным разрядом с предельным КПД до 0,23%. Данный результат превышает на 10-15% КПД азотных лазеров с накачкой поперечным разрядом с предыонизацией.

В газовых смесях элегаза с водородом и дейтерием, получен предельный внутренний КПД нецепных лазеров на молекулах FIF(DF) до 7-10%, что сравнимо с результатами, полученными при накачке поперечным разрядом с предыонизацией.

Апробация материалов диссертации и публикации. Представленные в диссертации результаты опубликованы в 21 работе, из которых 10 статей в журналах, включенных в Список ВАК (из них 2 статьи в зарубежных научных журналах, входящих в Web of Science; 4 статьи в российских научных журналах, переводные версии которых входят в Web of Science, и 2 статьи в российских

научных журналах, переводные версии которых входят в Scopus), 6 статей в электронных сборниках материалов конференций, представленных в изданиях, входящих в Web of Science, 3 монографии в соавторстве (из них 2 монографии, входящие в Scopus), 2 публикации в прочих научных журналах.

Полученные в работе результаты вошли в отчеты по проектам РФФИ, РНФ, Министерства образования и науки Российской Федерации и многократно докладывались на представительных Российских и Международных конференциях.

Диссертационная работа и автореферат содержат ряд недостатков.

1. При описании лабораторной установки во второй главе диссертации не указано, какие энергии электронов ОРИПЭЛ достигаются, и какова их функция распределения по энергиям?

2. Каким образом оценивалась однородность разряда? Существует ли критерий однородности?

3. Для получения объемного разряда большой длительности в смесях инертных газов с фтором используются лезвийные электроды. Каков срок службы таких электродов?

4. На стр. 51 автором отмечается: «Чтобы обеспечить работу фотоприемников в линейном режиме, лазерное излучение ослаблялось с помощью ряда металлических сеток, размещенных непосредственно перед фотоприемником». Почему использовались сетки, а не светофильтры? Каким образом определялся коэффициент ослабления?

5. Первый абзац научной новизны (стр. 11) сформулирован не совсем корректно. Предлагаю сформулировать следующим образом: «Научная значимость работы определяется её вкладом в понимание физических процессов при генерации когерентного оптического излучения в диффузных разрядах, инициируемых пучками электронов лавин, который заключается в том, что определены условия для получения ряда лазеров с накачкой таким типом разряда с эффективностью близкой к предельной, а также реализован новый режим работы азотного лазера с двумя или тремя пиками излучения».

6. Присутствуют опечатки, например, «повторное измерения» на стр. 50. Часто значение величины находится на одной строке, а единица измерения на другой, например, 193 нм и 200-600 нм на стр. 51.

7. В автореферате отсутствуют схемы накачки и малое внимание уделено методической стороне проведения экспериментальных исследований.


8. Если традиционные газоразрядные лазеры на сегодня могут быть сделаны простыми и надежными, то насколько лазеры с накачкой ОРИПЭЛ близки к коммерческой реализации?

Указанные замечания носят частный характер и не касаются сущности диссертации. Диссертация Панченко Николая Алексеевича «Эффективные газовые лазеры с накачкой диффузными разрядами, инициируемыми пучками электронов лавин» представляет собой законченное исследование, выполненное на высоком

научном уровне. Основное содержание работы достаточно полно отражено в публикациях по теме диссертации.

Считаю, что представленная диссертация соответствует критериям, установленным для диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук действующим п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в редакции от 01 октября 2018 г.), а ее автор, Панченко Николай Алексеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – Лазерная физика.

Официальный оппонент
доцент Исследовательской школы
химических и биомедицинских технологий
федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
"Национальный исследовательский Томский
политехнический университет"
(634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30, (3822) 60-63-33,
tpu@tpu.ru, <https://tpu.ru>)
кандидат физико-математических наук (01.04.05 – Оптика),
доцент


_____ Федор Александрович Губарев

«05» декабря 2019 г.

Подпись Ф.А. Губарева удостоверяю,
Ученый секретарь


_____ Ольга Афанасьевна Ананьева

