

**Отзыв официального оппонента  
на диссертационную работу Козлова Андрея Юрьевича**

**«Лазер на основных и обертоновых переходах молекулы СО с накачкой  
щелевым высокочастотным разрядом и криогенным  
охлаждением электродов»,**

**представленную на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.04.21 – «Лазерная физика»**

Диссертационная работа Козлова А.Ю. посвящена созданию «отпаянных» щелевых СО лазеров с накачкой ВЧ разрядом и криогенным охлаждением электродов, излучающих как на основных, так и на обертоновых переходах молекулы СО в непрерывном, квазинепрерывном и импульсно-периодическом режимах. Поскольку генерация излучения в СО лазерах может происходить в диапазоне длин волн от  $\sim 4.6$  мкм до  $\sim 8.7$  мкм и в диапазоне от  $\sim 2.5$  мкм до  $\sim 4.2$  мкм, эти лазеры востребованы в мониторинге окружающей среды, в спектроскопии, а также в специальных целях. Этим и определяется актуальность исследований, так как их результаты позволяют создавать надежные компактные источники ИК излучения с широким диапазоном выходных параметров (спектральный диапазон, выходная мощность, эффективность и ресурс работы).

Диссертация состоит из введения, четырех содержательных глав и заключения. Работа объемом 107 страниц, содержит 77 иллюстраций и список литературы из 158 наименований.

Введение содержит обоснование актуальности темы исследований, формулировку цели работы, ее научную новизну и практическая ценность. Здесь же приводятся защищаемые положения. Также во Введении представлены сведения об основных публикациях, в которых излагаются результаты диссертационной работы.

В первой главе автор приводит общеизвестные сведения о формировании оптически активной среды СО лазеров и описывает особенности и преимущества применения ВЧ разряда для накачки СО содержащих сред.

В целом содержание главы не вызывает отторжения, если бы автор сосредоточился исключительно на обсуждении той «экологической» ниши, которую занимает СО лазер с ВЧ накачкой.

Не понятно, зачем столько усилий нужно затратить, чтобы сравнивать ВЧ накачку и накачку постоянным током СО<sub>2</sub> лазеров и СО лазеров. Известно, что при криогенной температуре СО содержащие смеси трудно накачать в разряде постоянного тока, поскольку нормальная плотность тока в таких разрядах втрое меньше, чем в СО<sub>2</sub> содержащих смесях. Зачем даже упоминать о СО лазерах со сверхзвуковым потоком, если сам автор знает, что сверхзвуковые лазеры целесообразны при очень больших мощностях.

Во второй главе представлены описания, конструктивные особенности и основные параметры использованных в исследованиях установок. Описаны характеристики высокочастотных источников питания, приводится геометрия разрядных камер, конструкция оптической системы резонатора и дополнительных систем обеспечения работы лазеров.

В описаниях путаница:

- (в диссертации) для глубокого криогенного охлаждения (до  $T \sim 105-110$  К) электродной системы **A** и для выравнивания температуры вдоль электродов с точностью лучше  $\pm 3-5$  К необходим относительно длинный период времени, который в наших условиях составил  $\sim 1$  час. Далее:  
- типичное время готовности лазера к работе составило для электродной системы **B** не более 15 минут.

- (в автореферате) типичное время охлаждения установок при подготовке к работе составило 15 – 20 минут *для всех электродных систем.*

Утверждается: Температура газовой смеси в межэлектродном зазоре при отсутствии накачки достигает  $\sim 90$  К за 15 мин. (Как газовая смесь может быть холодней, чем охлаждающие ее стенки?).

Вообще - то высотой разрядного промежутка принято называть размер разрядной камеры вдоль направления тока.

В третьей главе представлены результаты исследования характеристик криогенного щелевого СО лазера с длиной активной среды 250 мм с накачкой емкостным ВЧ разрядом, работающего на колебательно-вращательных переходах основной полосы молекулы СО.

Здесь был экспериментально определен оптимальный состав смеси СО:О<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>:He и СО:Воздух:He и практически осуществлен отпаянный режим

работы лазера. Максимальная полученная в экспериментах средняя мощность лазера составила  $\sim 12$  Вт, а его КПД достигал  $\sim 14\%$ . Спектр многочастотного лазерного излучения располагался в диапазоне 5.1 - 5.4 мкм.

Был также реализован частотно-селективный режим работы криогенного щелевого СО лазера с ВЧ возбуждением со средней выходной мощностью от нескольких единиц до нескольких десятков милливольт. Одночастотная генерация была получена на  $\sim 100$  лазерных линиях в спектральном диапазоне 4.9 - 6.5 мкм.

В режимах с модуляцией добротности получена генерация импульсов излучения с минимальной длительностью 0.65 нс, пиковой мощностью до 3 кВт и частотой повторения импульсов до 130 Гц. При этом средняя мощность лазера достигала 0.5 Вт, а лазерный спектр состоял из  $\sim 80$  одновременно генерирующих лазерных линий в диапазоне длин волн от 4.95 до 6.75 мкм с пиковой мощностью отдельных компонент до 100 Вт.

В четвертой главе представлены результаты исследований характеристик криогенных щелевых СО лазеров с накачкой емкостным ВЧ разрядом с длинами активной среды 250 мм (вариант А электродной системы) и 400 мм (вариант Б электродной системы), работающих на колебательно-вращательных переходах обертоновой полосы молекулы СО. В первом случае средняя выходная мощность составляла в спектральном диапазоне 2.5 - 4.0 мкм до 400 мВт, во втором случае - в спектральном диапазоне 2.95 - 3.45 мкм до 2 Вт. В этих экспериментах КПД генерации достигал 1.6 %.

В этой главе особо надо отметить эксперименты по исследованию плазмохимических процессов в активной среде криогенного СО лазера, работающего без прокачки активной среды.

Замечаний к основным содержательным главам нет. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Диссертационная работа Козлова А.Ю. представляет собой добротное физико-техническое исследование, которое привело к созданию источников излучения среднего ИК диапазона, сыгравших значительную роль в обоснование специальной программы по созданию новой техники. Диссертация выполнена на высоком научном уровне, который отличает

научную школу профессора А. А. Ионина. Новизна представленных в диссертации результатов не вызывает сомнения.

Работа Козлова Андрея Юрьевича «Лазер на основных и обертоновых переходах молекулы СО с накачкой щелевым высокочастотным разрядом и криогенным охлаждением электродов» удовлетворяет всем требованиям Положения о присуждении учёных степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – «Лазерная физика».

Доктор физико-математических наук,  
профессор, начальник отдела мощных лазеров  
Государственного научного центра  
Российской Федерации «Троицкий институт  
инновационных и термоядерных  
исследований» (ГНЦ РФ ТРИНИТИ),  
г. Москва, г. Троицк, ул. Пушкиновых,  
вл. 12, тел. +7 (495) 841-53-08,  
e-mail: liner@triniti.ru



Гурашвили Виктор Арчельович

Подпись Гурашвили Виктора Арчельовича заверяю:  
Ученый секретарь ГНЦ РФ ТРИНИТИ,  
кандидат физико-математических наук,



Ежов Александр Александрович

Список основных работ д.ф.-м.н. В.А. Гурашвили по теме защищаемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. Милов А.А., Миняев Р.М., Гурашвили В.А., Минкин В.И., “Квантово-химическое исследование структуры и устойчивости полимолекулярных кластеров азота, аргона и монооксида углерода”, *Журнал неорганической химии*. 2016. **61**. № 10. с.1332-1343.
2. Милов А.А., Миняев Р.М., Гурашвили В.А., Минкин В.И., “Структура и устойчивость димеров азота, аргона и монооксида углерода: квантово-химическое исследование”, *Журнал неорганической химии*. 2015. **60**. № 10. с.1341.
3. Баранов Г.А., Бодакин Л.В., Гурашвили В.А., Джигайло И.Д., Комаров О.В., Косогоров С.Л., Кузьмин В.Н., Сень В.И., Ткаченко Д.Ю., Успенский Н.А., Шведюк В.Я., “Широкоапертурный ускоритель непрерывного действия с выводом электронного пучка высокой плотности”, *Приборы и техника эксперимента*. 2013. № 1. с. 81.
4. Гурашвили В.А., Дятко Н.А., Кочетов И.В., Напартович А.П., Спицын Д.И., Таран М.Д., “Расчет распределения поля и плотности тока несамостоятельного разряда в разрядной камере СО-лазера”, *Физика плазмы*. 2013. **39**. № 1. с.60.
5. Гурашвили В.А., Занозина Е.М., Кочетов И.В., Курносов А.К., “Двумерная модель активной среды быстропоточного СО-лазера с учетом поуровневой колебательной кинетики”, *Квантовая электроника*. 2012. **42**. № 1. с.21-26.