

Министерство образования и науки Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)
Радиофизический Факультет
Кафедра квантовой электроники и фотоники

ДОПУСТИТЬ К
ПРЕДСТАВЛЕНИЮ ГЭК
Руководитель ООП
канд. физ. мат. наук, доцент
А.Г. Коротяев
« 16 » июня 2023 г.



НАУЧНЫЙ ДОКЛАД

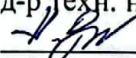
об основных результатах подготовленной научно – квалификационной работы
(диссертации)

ПРОЦЕСС РАЗВИТИЯ РАЗРЯДА И ФОРМИРОВАНИЯ ИНВЕРСИИ В ЛАЗЕРЕ НА
ПАРАХ МЕДИ

по основной образовательной программе подготовки научно-педагогических кадров в
аспирантуре
направление подготовки 03.06.01 – Физика и астрономия

Баалбаки Хуссейн

Научный руководитель
д-р техн. наук, профессор


Н.А. Юдин

подпись

« 16 » июня 2023 г.

Автор работы аспирант


Х. Баалбаки

подпись

« 16 » июня 2023 г.

Томск-2023

Актуальность работы:

До сегодняшнего дня лазеры на парах меди (ЛПМ), благодаря уникальным частотно-энергетическим характеристикам (ЧЭХ), являются эффективными источниками видимого излучения, что затрудняет поиск замены ЛПМ и CuBr-лазера, во многих применениях, несмотря на развитие твердотельных лазеров видимого диапазона с диодной накачкой. $\lambda = 511$ нм сильно поглощается меланином, а $\lambda = 578$ нм — оксигемоглобином и гемоглобином. Эти поглощающие свойства ограничивают глубину проникновения лазерного излучения ЛПМ, защищают подлежащие структуры от повреждения и препятствуют нагреву ретикулярного слоя дермы, что обеспечивает сохранение фибробластов, обеспечивающих регенерацию эпидермиса [1 - 3], поэтому в настоящее время ЛПМ и CuBr лазер широко используются в медицине для лечения сосудистых и кожных заболеваний, таких как врожденные меланоцитарные невусы [1], пятнистые лентигиозные невусы [2], пиогенные гранулемы [3], паукообразные ангиомы [4] и др., с хорошим косметическим результатом и отсутствием выраженных побочных эффекты, а также в исследованиях фотодинамической терапии [5] и рака [6].

В лазерных мониторах [7, 8], ЛПМ и CuBr лазер излучает зеленый свет с длиной волны 510,6 нм, что идеально подходит для обнаружения мелких частиц и аэрозолей в воздухе. Лазерное излучение может быть направлено через воздух для обнаружения присутствия дыма, пыли или других частиц в воздухе. ЛПМ и CuBr лазеры относительно недороги и просты в обслуживании, что делает их популярным выбором для лазерных мониторов и других применений, таких как обработка материалов [9], [10], разделение изотопов [11] и т. д.

Исходя из вышесказанного, улучшение ЧЭХ ЛПМ является актуальной задачей. Хорошо известно, что во время накачки, ступенчатые процессы, обуславливающие девозбуждение верхних лазерных уровней в ионизацию [12, 13] ограничивают населенностей резонансных уровней и соответственно энергосъема в ЛПМ [13], что является основной (фундаментальной) причиной ограничения энергосъема и ЧЭХ ЛПМ. Соответственно, увеличить средней мощности генерации можно за счет увеличения частоты следования импульсов (ЧСИ) возбуждения [14 –16], а эффективность накачки за счет снижения энергозатрат на формирование инверсной населенности [17] и энергии импульса генерации за счет увеличения объема активной среды [18–20].

В этих условиях, заселение метастабильных состояний в начале накачки и их релаксацией после импульса возбуждения [12, 13, 21] ограничивают ЧЭХ ЛПМ. При этом, электронная температура, отслеживающая изменение напряжения на активной среде, определяет кинетику практически всех процессов в активной среде [22]. Другими словами кинетика процессов в активной среде определяются электрофизическим процессом (ЭФП) в разрядном контуре лазера [23].

Высокая предимпульсная концентрация электронов (n_{e0}) характерна для импульсно-периодических лазеров, поэтому полагалось, что развитие разряда происходит без стадии пробоя. Поэтому ЭФП моделируются с использованием простого колебательного контура [24]. В колебательной схеме, наличие индуктивности не позволяет быстрый разогрев n_{e0} , что обуславливает в начале накачки заселение низких уровней лазера и перераспределение скоростей заселения низких уровней лазера в пользу метастабильных уровней с ростом n_{e0} . До настоящего времени исследования по решению проблемы реализации энергетического потенциала ЛПМ, выбора оптимальных условий накачки активной среды и технических решений для их реализации проводились на основе вышеприведенной модели.

Однако, как показали исследования, развитие разряда в импульсно-периодических ЛПМ происходит со стадией пробоя [17]. При этом результаты исследований указывают на то, что пробой должен осуществляться в холодных буферных зонах (ХБЗ) газоразрядной трубки (ГРТ) [17].

Цель и задачи:

Цель диссертационной работы заключается в выяснении влияния ЭФП в разрядном контуре ЛПМ на процесс формирования разряда и инверсии населенностей в активной среде.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие основные задачи:

- 1 – Разработать и изготовить экспериментальную установку ЛПМ с возможностью измерения электрофизических характеристик в разрядном контуре лазера и энергетических характеристик лазерного излучения.
- 2 – Исследовать ЭФП в разрядном контуре ЛПМ с различными диаметрами разрядных каналов ГРТ и их влияние на процесс формирования разряда и эффективность накачки.

- 3 – Моделировать электрофизические процессы в разрядном контуре ЛПМ
- 4 – Разработать технических решений по эффективной накачке ЛПМ и оценить достижимые параметры ЧЭХ излучения (эффективность, частота следования импульсов генерация, средняя мощность генерации)

Объект и предмет исследования

Объектом исследования данной диссертационной работы являлся лазер на парах меди.

Предметом исследования данной диссертационной работы являлись ЭФП в схеме накачки ЛПМ и процесс формирования разряда и инверсии населенностей в активной среде.

Научная новизна:

Основной целью любых фундаментальных исследований является создание модели, объясняющей экспериментально наблюдаемые зависимости. Ранее полагалось, что применительно к ЛПМ такая модель создана в 70-е годы прошлого века и основной задачей при разработке ЛПМ является решение инженерных задач. Однако в 80 – 90-е годы прошлого века были опубликованы результаты экспериментальных исследований, которые не удается объяснить на основе используемой модели, например, наблюдаемую экспериментально медленную релаксацию метастабильных состояний в течение межимпульсного периода [13, 17, 22], а так же отрицает возможность развития разряда в импульсно-периодических ЛПМ со стадией пробоя и возможность увеличения эффективности накачки с введением в разрядный контур лазера индуктивности. Было очевидно, что используемая модель не в полной мере отражает реальные процессы в активной среде ЛПМ. Поскольку электронная температура определяет кинетику практически всех процессов в активной среде и отслеживает изменение напряжения на плазме, то можно предположить, что используемая модель не в полной мере отражает ЭФП в разрядном контуре лазера. Для анализа или моделирования ЭФП в электрической цепи, согласно теории электрических цепей, необходимо составить эквивалентную схему электрической цепи. Однако анализ ЭФП в разрядном контуре не позволял сделать вывод о необходимости изменения эквивалентной схемы разрядного контура, поскольку всегда в экспериментальных исследованиях проводятся измерения электрофизических параметров (импульсы тока и напряжения на ГРТ). Поворотной точкой в решении данной проблемы стало предположение – если в ХБЗ ГРТ происходит пробой, то, соответственно, до момента пробоя должна заряжаться от накопительного конденсатора только обостряющая

емкость. Следовательно, должно наблюдаться различие в токах, протекающих через коммутатор и ГРТ. Экспериментальные исследования подтвердили данное предположение, что позволило составить эквивалентную схему и промоделировать ЭФП[17]. При этом предполагалось, что в ХБЗ ГРТ происходит классический пробой вследствие более быстрой рекомбинация плазмы в ХБЗ, чем в активной среде. Однако дальнейшие исследования показали, что процессы ХБЗ ГРТ более быстрые, чем рекомбинационный процесс. Поэтому выяснение механизма формирования пробоя и уточнение модели формирования инверсной населенности в активной среде ЛПМ определяет фундаментальную составляющую настоящего исследования.

Научная и практическая значимость

- 1- Исследован ЭФП в разрядном контуре ЛПМ.
- 2- Дано объяснение роли индуктивности контура накачки в процессе развития разряда при разных диаметрах разрядного канала ГРТ.
- 3- Определены условия согласования генератора накачки с нагрузкой.
- 4- Дано объяснение низкой эффективности накачки ЛПМ и роли выбора оптимальных параметров схемы накачки для достижения максимально возможной эффективности
- 5- Определены природа фантомного тока, и условия, при которых фантомный ток отсутствует.
- 6- Предложены технические решения по повышению эффективности накачки активной среды с использованием LC – генератора.
- 7- Показана потенциальная возможность повышения эффективности накачки ЛПМ за счет отсечки энерговклада после импульса генерации. Определены условия при которых возможно реализовать режим отсечки.

Методология и методы исследования

Исследования проводились с помощью следующих методов:

- 1- Анализ ЭФП в разрядном контуре и энергетических характеристик ЛПМ проводился по результатам измерений средней мощности генерации и импульсов генерации, напряжения на ГРТ и токов, протекающих через тиратрон, ГРТ, и другие элементы схемы накачки.

Измерения проводились с использованием следующих приборов (Tektronix DPO-4034B – осциллограф, OPHIR-NOVA – измеритель мощности генерации, Tektronix P6015A – делитель напряжения, ФЭК-22СПУ – детектор коротких световых импульсов). Результаты измерений анализировались с использованием Microsoft Excel, Microsoft Visio, python.

2- Моделирование ЭФП в разрядном контуре лазера на основе эквивалентной схемы и расчетах проводилось с использованием программы NL5.5.

Основные результаты исследования

1- Накачка активной среды ЛПМ в ГРТ с электродами, расположенными в ХБЗ является двухэтапным процессом. первый считается подготовительным этапом, где емкостные составляющие контура заряжаются от накопительного конденсатора C , а на втором происходит непосредственная накачка активной среды. Переход к второму этапу (накачки) осуществляется в результате пробоя. Пробой является процессом развития разряда от тлеющего к нетепловому дуговому разряду и характеризуется резким изменением падения катодного потенциала на ГРТ.

2- В индуктивности разрядного контура записывается энергия, которая определяет эффективность накачки активной среды, поскольку процесс высвобождения этой энергии, на первом этапе обеспечивает нагрев катодного пятна и определяет условия для возникновения термоэмиссии электронов с катода в ГРТ с диаметром разрядного канала ≤ 14 мм.

3- Повышение эффективности LC-генератора накачки ЛПМ реализуются за счет перезарядки C_2 за время зарядки C_0 и задержки зарядки C_0 на время перезарядки C_2 .

Первое решение технически выполнено при уменьшении C_2 . Максимальная средняя мощность генерации $P_{cp} = 5.6$ Вт была реализована при величине емкости $C_2 = C_0 = 470$ пФ, дальнейшее уменьшение величины C_2 не дало положительного эффекта, поскольку не приводило к дальнейшему сокращению времени перезарядки C_2 .

Второе решение технически выполнено введением магнитного звена сжатия (один конец звена сжатия подключался в точку соединения C_0 и катода ГРТ, а второй – в точку соединения C_1 и L_2). Это обеспечило почти двукратное увеличение средней мощности генерации ~ 7.7 Вт. В этих условиях не наблюдается разрядки конденсатора C_1 во время

перезарядки конденсатора C_2 и, соответственно, процесса зарядки C_0 и нарастание напряжения на ГРТ реализуются до момента разрядки последовательно включенных конденсаторов C_1 и C_2 т.е. после инвертирования напряжения на накопительных конденсаторах.

4- Фантомный ток – это ток проводимости, который возникает за счет ухода заряда на анод ГРТ в процессе зарядки собственной емкости ГРТ, а его амплитуда определяется сопротивлением ХБЗ со стороны анода ГРТ. Поэтому прокачка буферного газа позволяет уменьшить амплитуду фантомного тока и заряжать $C_{0и}$ $C_{ГРТ}$ до более высокого напряжения. Наибольший эффект дает прокачка буферного газа с молекулами HBr в $HuBrID$ лазере, и поэтому, при работе в оптимальном режиме, фантомный ток практически полностью отсутствует. Из-за этого (или частично из-за этого) в $HuBrID$ лазере имеет место более высокая эффективность (КПД)[25]. Повысить эффективность накачки можно, используя прокачку буферного газа в сочетании с отсечкой энерговклада после импульса генерации. Введение электродов в горячую зону разрядного канала ГРТ шунтирует $C_{ГРТ}$ и устраняет причины возникновения фантомного тока

5- Согласование генератора накачки с нагрузкой является определяющим критерием для эффективной накачки ЛПМ. Согласование достигается при апериодическом процессе разрядки C в условиях колебательного контура, которым и является разрядный контур лазера. Это накладывает определенные требования на параметры разрядного контура – необходимо снижать добротность контура, уменьшая индуктивность разрядного контура и предимпульсную концентрацию электронов в активной среде. Однако условие апериодического процесса разрядки C не является определяющим при наличии идеального коммутатора в разрядном контуре лазера. Данное утверждение определяется тем, что импульс возбуждения формируется в процессе разрядки C , который перезаряжается до $U_{обр}$. Идеальный коммутатор не позволяет разряжаться C в обратном направлении и создает условие согласования относительно нагрузки при любой величине емкости C . При этом энергия $C(U_{обр})^2/2$, запасенная в C , рекуперирована в межимпульсный период через зарядный дроссель в процессе зарядки C . Проблема реализации энергетического потенциала ЛПМ возникает при использовании тиратронов в качестве коммутаторов, которые имеют узкую область устойчивой работы с

верхней границей практически для всех тиратронов – $U_{обр} \sim 6$ кВ. Для реализации эффективной накачки в этих условиях необходимо введение в разрядный контур лазера дополнительного элемента – C_0 , что определяет необходимость выполнения условия $R \geq 2(L_{ГРТ}/C_0)^{1/2}$ для согласования генератора накачки с нагрузкой. При этом процессы накачки активной среды существенно различаются в зависимости от расположения электродов в ГРТ (в горячей зоне разрядного канала или ХБЗ).

6- Накачка активной среды в ГРТ с электродами, расположенными в горячей зоне разрядного канала осуществляется в процессе разрядки C , а C_0 является элементом согласования. Представленный в работе анализ указывает, что реализованный в [26] практический КПД $\sim 3\%$ ЛПМ является пределом по эффективности накачки для данных конструкций ГРТ с тиратроном в качестве коммутатора. Накачка активной среды в ГРТ с электродами, расположенными в ХБЗ осуществляется в процессе разрядки C_0 и $C_{ГРТ}$. При этом для реализации условия $R \geq 2(L_{ГРТ}/C_0)^{1/2}$ необходимо использовать управляемый коммутатор, позволяющий отсекал энерговклад в ГРТ от накопительного конденсатора после зарядки C_0 и $C_{ГРТ}$. Отсечка энерговклада не устраняет энергзатратный процесс на этапе зарядки C_0 и $C_{ГРТ}$ и сопутствующий ему фантомный ток. Тем не менее, экспериментальные исследования по отсечке энерговклада [27] и уменьшению амплитуды фантомного тока [20, 24, 28] указывают на перспективность проведения дальнейших исследований с указанной конструкцией ГРТ для реализации энергетического потенциала ЛПМ.

Апробация результатов исследования

Результаты научной работы представлены на следующих научных конференциях:

XV Международная конференция по импульсным лазерам и применениям лазеров – AMPL-2023 (Томск 2021). XXIX Международная конференция - Лазерно-информационные технологии-2021, (Новороссийск 2021). XXX Международная конференция - Лазерно-информационные технологии-2022, (Новороссийск 2022). XIX Международной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых ИННОВАТИКА – 2023 (Томск 2023). XVI Международная конференция по импульсным лазерам и применениям лазеров – AMPL-2023 (Томск 2023).

По результатам исследования опубликовано 13 работ, из них 2 статьи в журналах, входящих в перечень ВАК, 2 публикаций, индексируемые в международных базах

цитирования Scopus и WoS, 9 публикаций в сборниках материалов международных и всероссийских научных конференций.

Все представленные в диссертации результаты получены, обработаны и проанализированы при непосредственном участии автора, а также в написании научных статей и представлении результатов исследований на конференциях. Эксперименты проводились в лаборатории лазерной физики и кристаллофизики(г. Томск).

Определение основного направления диссертационной работы, формулировка темы, постановка задач, обсуждение результатов, обсуждение текста диссертационной работы, ее основных положений и выводов, осуществлялась совместно с научным руководителем диссертационной работы: д.т.н., профессором ФИТ НИ ТГУ Юдиным Н.А

Список работ, опубликованных автором

Публикации в рецензируемых журналах из списка рекомендованных ВАК

1. **Баалбаки Х.А.** Накачка активной среды лазера на парах меди LC – генератором инвертированием напряжения на накопительных конденсаторах / **Х.А. Баалбаки, Н.А. Юдин**// Известия вузов. Физика. – 2023.

2. **Баалбаки Х.А.** Перспективы повышения энергетических характеристик лазера на парах меди/ **Х.А. Баалбаки, Н.А. Юдин, Н.Н. Юдин**// оптика атмосферы и океана. – 2022. – Т.35 , №. 11 – С. 963-968.

Статьи, опубликованные в изданиях, индексируемые в базах данных Web of Science и Scopus:

3. Yudin N.A. Discharge formation in a copper vapor laser: optimal pumping conditions/ Yudin N.A., **Baalbaki H.A.**, Nocheva C.V., Smirnova M.E., Yudin N.N., //Laser Physics. 2021. V. 31, N. 12, 125001

4. **Baalbaki H.A.** Effect of electrode locations on the matching of the pumping generator with the load in metal vapor laser/ **Baalbaki H.A.**, Yudin N.A.// Optical and quantum electronics. 2023. V. 55, N. 8, 706

Публикации в сборниках материалов конференций:

5. Yudin N.A., **Baalbaki H.A.**, Nocheva K.V., Smirnova M.E., and Yudin N.N. Optimal pumping parameters of a copper vapor laser under breakdown conditions // Pulsed lasers and laser applications. AMPL-2021 (12-17 September): abstracts of XV International Conference. Tomsk: STT, 2021. P. 39.

6. Shiyonov D.V., **Baalbaki H.A.**, Vasil'eva A.V., and Yudin N.A. Metastable states relaxation in the active medium of metal vapor lasers// Pulsed lasers and laser applications. AMPL-2021 (12-17 September): abstracts of XV International Conference. Tomsk: STT, 2021. P. 43.

7. **Baalbaki H.A.**, Shiyonov D.V. and Yudin N.A. Frequency energy characteristics of a CuBr laser under breakdown conditions // Pulsed lasers and laser applications. AMPL-2021 (12-17 September): abstracts of XV International Conference. Tomsk: STT, 2021. P. 45.

8. Юдин Н.А., **Баалбаки Х.А.**, Ночева К.В., Смирнова М.Е., Юдин Н.Н. Модель формирования инверсии в лазере на парах меди //Труды XXIX Международной конференции «Лазерно-информационные технологии ЛИТ - 2021» , 13-18 сентября 2021 г., г. Новороссийск, Россия, С. 85

9. Юдин Н.А., Шиянов Д.В., **Баалбаки Х.А.**, Васильева А.В. Релаксация метастабильных состояний в лазере на парах меди //Труды XXIX Международной конференции «Лазерно-информационные технологии ЛИТ - 2021» , 13-18 сентября 2021 г., г. Новороссийск, Россия, С. 87

10. Юдин Н.Н., Дёмин В.В., Солдатов А.Н., Юдин Н.А., **Баалбаки Х.А.**, Половцев И.Г., Подзывалов С.Н., Зиновьев М.М., Слюнько Е.С., Журавлева Е.В., Пфайф А.А., Кулеш М.М. Методы цифровой голографии применительно к визуализации и характеристике объемных дефектов ZnGeP₂ //Труды XXIX Международной конференции «Лазерно-информационные технологии ЛИТ - 2021» , 13-18 сентября 2021 г., г. Новороссийск, Россия, С. 140

11. **Баалбаки Х.А.** Глубокое обучение и лазеры на парах металлов: проблемы и перспективы // Лазерно-информационные технологии - 2022: труды XXX Международной Конференции, г. Новороссийск, Краснодарский край, 12–17 сентября 2022 г. Новороссийск, 2022. С. 128–129.

12. **Баалбаки Х.А.**, Юдин Н.А., Юдин Н.Н. Перспективы повышения энергетических характеристик лазера на парах меди // Лазерно-информационные технологии - 2022 : труды XXX Международной Конференции, г. Новороссийск, Краснодарский край, 12–17 сентября 2022 г. Новороссийск, 2022. С. 78–80.

13. Маркова А.А., Юдин Н.А., Баалбаки Хуссейн Али, Волков Ф.А. Оптимизация параметров LC - генератора накачки лазера на парах меди с газоразрядной трубкой LT-

10Cu // XIX Международной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых ИННОВАТИКА – 2023, г. Томск, 21 – 22 апреля 2023.

Список литературы

- [1] Ponomarev, I. V., Topchiy, S. B., Andrusenko, Y. N., Shakina, L. D. Treatment of congenital melanocytic nevi in the periorbital area with dual-wavelength copper vapor laser // *Indian J. Dermatol. Venereol. Leprol.* –2021. –Vol. 87, –P. 720-725. Doi: 10.25259/IJDVL_654_20.
- [2] Klyuchareva, S. V., Ponomarev, I. V., Pushkareva, A. E. Numerical Modeling and Clinical Evaluation of Pulsed Dye Laser and Copper Vapor Laser in Skin Vascular Lesions Treatment // *J. Lasers Med. Sci.*, –2018 –Vol. 10, –P. 44– 49. Doi: 10.15171/jlms.2019.07.
- [3] Ponomarev, I. V., Topchiy, S. B., Andrusenko, Y. N., Shakina, L. D. Treatment of pyogenic granuloma in children with copper vapor laser radiation (578 nm) // *Indian J. Dermatol. Venereol. Leprol.* –2021, –Vol. 87, –P. 856-861. Doi: 10.25259/IJDVL_5_2020.
- [4] Ponomarev, I. V., Topchiy, S. B., Andrusenko, Y. N., Shakina, L. D. Treatment of Nevus Spilus with dual-wavelength copper vapor laser // *Vestn. Dermatol. Venerol.* –2021 –Vol. 97, –P. 100–106. Doi: 10.25208/vdv1210.
- [5] Дрожжина, В. В., Каплан, М. А., Никитина, Р. Г., Романко, Ю. С., Бозаджиев, Л. Л., Малыгина, А. И. Фотодинамическая терапия саркомы m-1 у экспериментальных животных // *Лазерная медицина*, – 1998, –Vol. 2, –С. 38–42.
- [6] Евтушенко, В. А., Чердынцева, Н. В., Литвяков, Н. В., Кокорев, О. В., Кузнецова А. А., алиновская, Е. А. М, Смольянинов, Е. С. Роль системы иммунитета в противоопухолевой активности модификаторов биологической реакции различной природы // *Сибирский онкологический журнал* –2002, –Vol. 1, – С. 56–61.
- [7] Trigub, M. V., Vasnev, N. A., Evtushenko, G. S. Operating features of a copper bromide brightness amplifier in the monostatic laser monitor // *Opt. Commun.* –2021. –Vol. 480, –P. 126486. Doi: 10.1016/j.optcom.2020.126486.
- [8] Trigub, M. V., Gembukh, P. I., Vasnev, N. A., Shiyanov, D. V., Laser monitor for simultaneous imaging in the VIS and near-IR spectral ranges // *Opt. Atmos. i Okeana*, –2023 –Vol. 36, –P 239–243. Doi: 10.15372/AOO20230310.
- [9] Лябин, Н. А., Ригорьянц, А. Г., Казарян, М. А., Прецизионная лазерная

- микрообработка материалов /М.: Физматлит., 416 с. (2017)
- [10] Юдин, Н. А., Солдатов, А. Н., Мирза, С. Ю., Полунин, Ю. П., Реймер, И. В., Шумейко, А. С., Термораскол оптического стекла излучением лазера на парах стронция // *Стекло и керамика.*—2014. —Vol. 11—С. 3–6.
- [11] Фатеев, Н. В., Бохан, П.А., Бучанов, В.В., Закревский, Д.Э., Казарян, М.А., Калугин, М.М., Прохоров, А.М., Лазерное разделение изотопов в атомарных парах / Москва: Физматлит, 208 с. (2004)
- [12] Isaev, A. A., Mikhkel'soo, V. T., Petrash, G. G., Peét, V. É., Ponomarev, I. V, and Treshchalov A. B. Kinetics of excitation of the active levels of a copper vapor laser by pulse pairs // *Sov. J. Quantum Electron.* —1988.—Vol. 18. —P. 1577–1579. Doi: 10.1070/QE1988v018n12ABEH012765.
- [13] Bokhan, P. A., Zakrevskii, D. E. Effect of matching of a power supply with a laser tube and of pumping conditions on the relaxation of metastable states and the frequency — energy parameters of a copper vapour laser // *Quantum Electron.*— 2002 —Vol. 32. —P. 602–608. Doi: 10.1070/QE2002v032n07ABEH002254.
- [14] Trigub, M. V., Evtushenko, G. S., Torgaev, S. N., Shiyanov, D. V., Evtushenko, T. G. Copper bromide vapor brightness amplifiers with 100kHz pulse repetition frequency // *Opt. Commun.*— 2016 —Vol. 376. — P 81–85. Doi: 10.1016/j.optcom.2016.04.039.
- [15] Torgaev, S. N., Musorov, I. S., Trigub, M. V., Evtushenko, G. S. Study of a High-Frequency Copper Bromide Vapor Active Medium in the Superradiance Mode // *Atmos. Ocean. Opt.*— 2018. —Vol. 31.— P 431–435. Doi: 10.1134/S1024856018040176.
- [16] Musorov, I. S., Torgaev, S. N., Kulagin, A. E., Evtushenko, G. S., 300 kHz metal vapor brightness amplifier // *Opt. Quantum Electron.*— 2023. —Vol. 55.—P. 52. Doi: 10.1007/s11082-022-04178-6.
- [17] Yudin, N. A., Sukhanov, V. B., Gubarev, F. A., Evtushenko, G. S. On the nature of phantom currents in the active medium of self-contained metal atom transition lasers // *Quantum Electron.*— 2008. —Vol. 38. —P. 23–28. Doi: 10.1070/QE2008v038n01ABEH013522.
- [18] Kushner, M. J., Warner, B. E., Large-bore copper-vapor lasers: Kinetics and scaling issues // *J. Appl. Phys.*— 1983. —Vol. 54. —P. 2970–2982. Doi: 10.1063/1.332499.
- [19] Hayashi, K., Noda, E., Iseki, Y., Watanabe, I., Suzuki, S., Morimiya, O., Copper density

- measurement of a large-bore CVL //–1992.–P. 44–51.Doi: 10.1117/12.58972.
- [20] Jones,D. R., Maitland,A., Little, C. E.A high-efficiency 200 W average power copper HyBrID laser // IEEE J. Quantum Electron.– 1994. –Vol. 30.–P. 2385–2390.Doi: 10.1109/3.328584.
- [21] Tabata,Y., Hara, K., Ueguri, S., Lasing characteristics of a large-bore copper vapor laser //–1992. –P. 32–43. Doi: 10.1117/12.58971.
- [22] Bokhan,P. A., Zakrevskii, D. E., Lavrukhin, M. A., Lyabin, N. A., Chursin, A. D.Excitation and relaxation of metastable atomic states in an active medium of a repetitively pulsed copper vapour laser //Quantum Electron.– 2016. –Vol. 46, – P. 100–105. Doi: 10.1070/QEL15743.
- [23] Юдин, Н. А., Третьякова, М. Р., Юдин, Н. Н. Влияние электрофизических процессов в разрядном контуре на энергетические характеристики лазера на парах меди // Известия вузов. Физика.– 2012. –Vol. 55. –С. 93–102.
- [24] Hogan,G. P.,Webb,C. E.,Pre-ionization and discharge breakdown in the copper vapour laser: the phantom current // Opt. Commun.–1995. –Vol.117. – P. 570–579. Doi: 10.1016/0030-4018(95)00143-V.
- [25] Jones,D. R., Halliwell, S. N., Little, C. E., Influence of remanent electron density on the performance of copper HyBrID lasers //Opt. Commun.–1994. –Vol. 111. – P. 394–402.Doi: 10.1016/0030-4018(94)90480-4.
- [26] Bokhan,P. A., Gerasimov,V. A.Optimization of the excitation conditions in a copper vapor laser // Sov. J. Quantum Electron.–1979. –Vol. 9. –P. 273–275.Doi: 10.1070/QE1979v009n03ABEH008763.
- [27] Soldatov,A. N., Fedorov, V. F., Yudin,N. A. Efficiency of a copper vapour laser with partial discharge of a storage capacitor //Quantum Electron.–1994. –Vol. 24. –P. 677–678.Doi: 10.1070/QE1994v024n08ABEH000165.
- [28] Singh,D. K., Dikshit,B., Mukherjee,J., Rawat,V. S. Improvement in metal vapor laser performance with reduction in localized electric field at electrodes // Rev. Sci. Instrum.– 2022. –Vol. 93.–P. 013004. Doi: 10.1063/5.0070654.

Отчет о проверке на заимствования №1



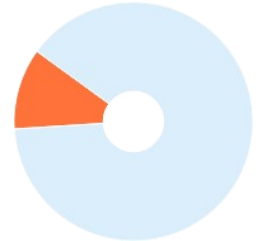
Автор: Баалбаки Хуссейн
Проверяющий: Зухайри Хала
Организация: Томский Государственный Университет
 Отчет предоставлен сервисом «Антиплагиат» - <http://tsu.antiplagiat.ru>

ИНФОРМАЦИЯ О ДОКУМЕНТЕ

№ документа: 12
 Начало загрузки: 02.06.2023 19:11:18
 Длительность загрузки: 00:00:01
 Имя исходного файла:
 Научный доклад Баалбаки 2023 (4).docx
 Название документа:
 Научный доклад Баалбаки 2023
 Размер текста: 14 кБ
 Тип документа: Прочее
 Символов в тексте: 14373
 Слов в тексте: 1773
 Число предложений: 66

ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОТЧЕТЕ

Начало проверки: 02.06.2023 19:11:20
 Длительность проверки: 00:01:37
 Корректировка от 02.06.2023 19:17:09
 Комментарии: [Автосохраненная версия]
 Поиск с учетом редактирования: да
 Проверенные разделы: основная часть с. 1-7
 Модули поиска: ИПС Адилет, Сводная коллекция ЭБС, Интернет Плюс*, Сводная коллекция РГБ, Цитирование, Переводные заимствования (RuEn), Переводные заимствования по eLIBRARY.RU (EnRu), Переводные заимствования по коллекции Гарант: аналитика, Переводные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте, Переводные заимствования по Интернету (EnRu), Переводные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте, Переводные заимствования издательства Wiley, СПС ГАРАНТ: аналитика, СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация, Медицина, Коллекция НБУ, Перефразирования по СПС ГАРАНТ: аналитика, Перефразирования по Интернету, Перефразирования по Интернету (EN), Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте, Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте, Перефразирования по коллекции издательства Wiley, Патенты СССР, РФ, СНГ, СМИ России и СНГ, Модуль поиска "tsu", Кольцо вузов, Переводные заимствования



СОВПАДЕНИЯ	САМОЦИТИРОВАНИЯ	ЦИТИРОВАНИЯ	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ
10,56%	0%	0%	89,44%

Совпадения — фрагменты проверяемого текста, полностью или частично сходные с найденными источниками, за исключением фрагментов, которые система отнесла к цитированию или самоцитированию. Показатель «Совпадения» — это доля фрагментов проверяемого текста, отнесенных к совпадениям, в общем объеме текста.

Самоцитирование — фрагменты проверяемого текста, совпадающие или почти совпадающие с фрагментом текста источника, автором или соавтором которого является автор проверяемого документа. Показатель «Самоцитирование» — это доля фрагментов текста, отнесенных к самоцитированию, в общем объеме текста.

Цитирование — фрагменты проверяемого текста, которые не являются авторскими, но которые система отнесла к корректно оформленным. К цитированиям относятся также шаблонные фразы; библиография; фрагменты текста, найденные модулю поиска «СПС Гарант: нормативно-правовая документация». Показатель «Цитирования» — это доля фрагментов проверяемого текста, отнесенных к цитированию, в общем объеме текста.

Текстовое пересечение — фрагмент текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника.

Источник — документ, проиндексированный в системе и содержащийся в модуле поиска, по которому проводится проверка.

Оригинальный текст — фрагменты проверяемого текста, не обнаруженные ни в одном источнике и не отмеченные ни одним из модулей поиска. Показатель «Оригинальность» — это доля фрагментов проверяемого текста, отнесенных к оригинальному тексту, в общем объеме текста.

«Совпадения», «Цитирования», «Самоцитирование», «Оригинальность» являются отдельными показателями, отображаются в процентах и в сумме дают 100%, что соответствует полному тексту проверяемого документа.

Обращаем Ваше внимание, что система находит текстовые совпадения проверяемого документа с проиндексированными в системе источниками. При этом система является вспомогательным инструментом, определение корректности и правомерности совпадений или цитирований, а также авторства текстовых фрагментов проверяемого документа остается в компетенции проверяющего.

№	Доля в тексте	Доля в отчете	Источник	Актуален на	Модуль поиска	Комментарии
[01]	4,84%	3,03%	ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В АКТИВНЫХ СРЕДАХ ЛАЗ... http://dissers.ru	15 Мая 2020	Интернет Плюс*	
[02]	4,84%	0%	Автореферат http://oldvak.ed.gov.ru	10 Июн 2022	Интернет Плюс*	
[03]	4,69%	3,48%	http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/services/Download/vi... http://vital.lib.tsu.ru	24 Янв 2020	Интернет Плюс*	
[04]	4,2%	0%	224_32_4_0_0.600_64765071 Посмотреть автореферат http://sun.tsu.ru	10 Июн 2022	Интернет Плюс*	
[05]	3,97%	1,22%	Диссертация на тему «Физические процессы в актив... https://dissercat.com	12 Мая 2021	Интернет Плюс*	
[06]	1,68%	1,68%	Юдин, Николай Александрович диссертация ... докт... http://dlib.rsl.ru	раньше 2011	Сводная коллекция РГБ	
[07]	1,15%	1,15%	Физические процессы в активных средах лазеров н... http://netess.ru	05 Янв 2017	Перефразирования по Интернету	
[08]	1,05%	0%	Физические процессы в активных средах лазеров н... https://fizmathim.com	02 Июн 2023	Интернет Плюс*	
[09]	0,9%	0%	https://vestnikdv.ru/jour/article/download/1210/pdf https://vestnikdv.ru	26 Мая 2023	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[10]	0,73%	0%	https://kkkvd.ru/wp-content/uploads/%D0%92%D0%B... https://kkkvd.ru	22 Апр 2022	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.