

УДК 535.231; 621.384.4; 617.7; 621.327

Мощные газоразрядные эксимерные ArF-, KrCl-, KrF- и XeCl-лазеры на газовых смесях без буферного газа

А.М. Ражев^{1,2}, Е.С. Каргапольцев¹, Д.С. Чуркин^{1,3*}

¹Институт лазерной физики СО РАН

630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 13/3

²Новосибирский государственный технический университет

630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

³Новосибирский государственный университет

630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2

Поступила в редакцию 11.12.2015 г.

Представлены результаты экспериментального исследования влияния состава газовой смеси (активной среды лазера) на энергию генерации и полный кпд эксимерных газоразрядных ArF- (193 нм), KrCl- (222 нм), KrF- (248 нм) и XeCl-лазеров (308 нм), работающих на газовых смесях без применения буферного газа. Найдены оптимальные (с точки зрения максимальной энергии излучения) соотношения газовых компонентов активной среды эксимерных лазеров, при которых достигается эффективная работа с достаточно высоким значением выходной энергии лазерного излучения.

Экспериментально подтверждено, что для газоразрядных эксимерных лазеров на галогенидах инертных газов присутствие в активной среде буферного газа не является необходимым условием эффективной работы лазерного источника. Так, например, в бинарных газовых смесях эксимерных лазеров, содержащих рабочий инертный и галогенсодержащий газы, впервые для импульсно-периодических газоразрядных эксимерных лазеров, работающих на электронных переходах эксимерных ArF^{*}-, KrCl^{*}-, KrF^{*}- и XeCl^{*}-молекул при накачке поперечным объемным электрическим разрядом газовой смеси пониженного давления, не содержащей буферного газа, были получены энергия лазерного излучения в импульсе до 170 мДж и высокая импульсная мощность лазерного излучения до 24 МВт. Максимальное значение полного кпд, полученное в эксперименте для бинарных газовых смесей KrF- и XeCl-лазеров, достигло 0,8%.

Ключевые слова: бинарная газовая смесь, эксимерный лазер, поперечный объемный электрический разряд, газовая смесь без буферного газа, пониженное рабочее давление, энергия генерации, полный кпд; binary gas mixture, excimer laser, transverse electrical volume discharge, gas mixture without a buffer gas, low operating pressure, laser energy, full efficiency.

Введение

В исследовании газового состава атмосферы особое место занимают лидарные методы. Эти методы позволяют дистанционно и оперативно получать информацию о пространственно-временном распределении примесей в атмосфере. Возможность регистрации всех компонентов спектра одновременно в широком диапазоне частотных сдвигов делает метод на основе эффекта спонтанного комбинационного рассеяния привлекательным для дистанционной диагностики окружающей среды. Использование лазерного источника ультрафиолетового диапазона для возбуждения спектров спонтанного комбинационного рассеяния считается традиционно оправданным в связи с эффектом возрастания сечения спонтанного комбинационного рассеяния при уменьшении длины волны возбуждения. При создании систем дистанцион-

ного контроля состава окружающей среды с небольшой дальностью действия (до 300 м), когда возрастание потерь за счет поглощения и рассеяния не столь существенно сказывается на потенциальных возможностях лидара, KrF-лазер является подходящим источником лазерного излучения, поскольку обеспечивает как высокое сечение взаимодействия, так и выгодное расположение частотных сдвигов в солнечно-слепой области спектра (200–300 нм). При этом вероятность перекрытия спектров спонтанного комбинационного рассеяния и флуоресценции существенно меньше, чем при возбуждении более длинноволновым излучением [1–3]. Чем ближе длина волны к 400 нм, тем больше коэффициенты отражения и меньше поглощение и рассеяние в земной атмосфере. С другой стороны, чем ближе длина волны к 300 нм, тем меньше фоновое излучение. Какая длина волны лазерного источника (до 400 нм) является наиболее подходящей, будет определяться техническими характеристиками лазерных систем (энергией излучения в импульсе, чувствительностью приемников и т.п.) [4].

* Александр Михайлович Ражев (razhev@laser.nsc.ru); Евгений Сергеевич Каргапольцев (djohn797@mail.ru); Дмитрий Сергеевич Чуркин (churkin@laser.nsc.ru).

Обзор литературы

Также известно, что наряду с широко используемыми в различных областях газоразрядными эксимерными ArF-, KrF- и XeCl-лазерами эксимерный KrCl-лазер с длиной волны 222 нм может быть успешно использован в различных технологических, фотохимических, биофизических и медицинских применениях. Это связано с тем, что ряд материалов и биологических тканей имеет максимальное поглощение вблизи 220 нм, поэтому эффективность взаимодействия лазерного излучения 222 нм с этими веществами оказывается максимальной.

Все упомянутые выше эксимерные лазеры с накачкой активной газовой среды поперечным объемным электрическим разрядом (далее газоразрядные эксимерные лазеры) предполагают использование газовой смеси высокого давления (в среднем полное рабочее давление около 2 атм), представляющей собой смесь как минимум трех газовых компонентов: буферного инертного (He, Ne, Ar), рабочего инертного (Ar, Kr, Xe) и галогенсодержащего газа, в котором должны быть атомы F, Cl, Br или J. Каждый из этих газовых компонентов выполняет определенную для него важную роль и не может быть просто так удален или заменен на другой. В противном случае эксимерный лазер либо не будет работать вообще, либо не обеспечит требуемых параметров лазерного излучения при высоком полном давлении (2 атм и выше).

Буферный газ, входящий в состав газовой смеси типичных коммерческих газоразрядных эксимерных лазеров, является основным по содержанию газовым компонентом – около 90% от общего рабочего давления газовой смеси. Для эффективной с точки зрения и энергетики, и ресурса одного наполнения работы этих лазеров используется газ высокой степени очистки. Так, типичными буферными газами, используемыми в коммерческих моделях лазерных систем, являются гелий марки «6.0», неон или их сочетание. Стоимость этих газовых компонентов достаточно высока. С учетом того что при работе газоразрядного эксимерного лазера происходит неизбежное падение выходной энергии в связи с изменением состава активной среды лазера и возникает необходимость обновления газовой смеси, исследователи стараются обеспечить условия эксплуатации с минимальным расходом и минимальной стоимостью газовых компонентов. В связи с этим задача исследования влияния параметров накачки и состава активной газовой среды, находящейся при пониженном рабочем давлении, на эффективность генерации газоразрядных эксимерных лазеров, работающих на газовых смесях без использования буферного газа, является актуальной и востребованной.

В газоразрядных эксимерных лазерах на моногалогенидах инертных газов возбужденные молекулы образуются преимущественно при двухчастичных столкновениях, и требование высокого давления активной газовой среды отпадает. Наши исследования будут касаться только импульсно-периодических газоразрядных эксимерных лазеров на моногалогенидах инертных газов с накачкой активной лазерной среды поперечным объемным электрическим разрядом.

Из известных немногочисленных публикаций, посвященных исследованиям газоразрядных эксимерных лазеров без применения буферного газа, следует упомянуть работы [5–9]. В [5] были впервые представлены результаты получения генерации на эксимерных молекулах XeCl*, XeF* и KrF* в смесях без буферного газа при накачке поперечным электрическим разрядом. Авторы не приводят результатов измерения энергетических и временных характеристик лазерного излучения. По-видимому, энергия излучения имела низкие значения, недостаточные для практического применения разработанных лазерных источников.

В [6, 7] сообщалось о возникновении лазерной генерации при возбуждении двухкомпонентной газовой смеси продольным электрическим разрядом. В результате, как утверждал автор [6], генерация на электронных переходах эксимерных XeCl*-молекул получена при «незначительном» содержании буферного газа He. Энергия излучения не превышала 0,1 мДж при рабочем давлении активной газовой среды около 0,06 атм. Отсутствие буферного газа в составе рабочей смеси сказывалось на падении энергии генерации почти в 2 раза.

В [7] генерация на электронных переходах эксимерных KrF*-молекул происходила в отсутствие буферного газа. Энергия излучения не превышала 0,08 мДж при рабочем давлении активной газовой среды около 0,4 атм.

В [8] генерация в двухкомпонентных газовых смесях возникла при оптическом способе возбуждения активной газовой среды. Генерация лазерного излучения была получена на электронных переходах эксимерных молекул KrCl*. Энергия генерации составила 0,001 мДж.

Авторы [9] сообщали о получении генерации на электронных переходах эксимерных молекул ArF* в двухкомпонентной газовой смеси при накачке активной среды электронным пучком. В условиях эксперимента они использовали Ar и в качестве рабочего, и в качестве буферного газа, поглощающего энергию электронного пучка.

Из анализа приведенных в открытой печати научных данных следует вывод о том, что энергетические характеристики излучения газоразрядных эксимерных лазеров в газовых смесях без буферного газа либо очень низки и не позволяют их использовать в различных применениях, либо лазерные источники невозможно использовать в импульсно-периодическом режиме работы (электронная накачка активной среды), что затрудняет их широкое применение. Поэтому цель нашей работы заключается в разработке и создании газоразрядных эксимерных лазеров, работающих на бинарных газовых смесях в качестве лазерных активных сред, не предполагающих в своем составе инертного буферного газа, позволяющих осуществлять эффективную абляцию различных материалов и биологических тканей и, таким образом, использовать созданные лазеры в медицине, микроэлектронике и других приложениях.

Аппаратура и методы измерений

В экспериментах измерялись энергетические и амплитудно-временные характеристики импульсов напряжения, тока и излучения в наносекундном диапазоне времени. Для измерения энергии излучения использовался пироэлектрический детектор PE50-BB (Ophir Optronics Ltd.), форма импульса излучения регистрировалась с использованием коаксиального фотоэлемента ФЭК-22. Амплитудно-временные характеристики измерялись осциллографом Tektronix TDS 220. Импульс напряжения исследовался с использованием высоковольтного щупа модели P 6015A (Tektronix). Для измерения параметров импульсов тока был использован низкоиндуктивный омический шунт сопротивлением 0,02 Ом. Точность измерений амплитуд напряжения и тока во всех экспериментах составляла 5%.

Экспериментальная установка

Электроды лазера изготавливались из никеля. В экспериментах использовались электроды с различным радиусом рабочей поверхности: 50 см (анод) и 100 см (катод). Расстояние между электродами 2,1 см, длина активной части составляла 59 см, поэтому активный объем при ширине разряда 0,8 см был равен 100 см³. Автоматическая УФ-предыонизация осуществлялась двумя рядами искровых промежутков с зазорами 0,2 см. Для улучшения однородности УФ-предыонизации разрядного промежутка и снижения индуктивности высоковольтной схемы возбуждения количество искровых промежутков было сделано по 39 с каждой стороны высоковольтного электрода на расстоянии 1 см от края электрода. Камера герметизировалась плоскопараллельными пластинами из CaF₂ (VUV), одна из которых служила выходным зеркалом резонатора. В качестве второго зеркала резонатора использовались внешние диэлектрические зеркала с соответствующим длине волны лазерного излучения максимальным коэффициентом отражения. Длина резонатора составила 120 см. Через разрядный промежуток осуществлялась поперечная прокачка газовой смеси с помощью радиального вентилятора со скоростью 12 м/с, что обеспечивало возможность работы лазера с частотой следования импульсов до 50 Гц и более. В экспериментах использовалась высоковольтная схема возбуждения типа LC-инвертор с автоматической предыонизацией активной среды лазера УФ-излучением искр сбоку.

Для того чтобы реализовать высокую эффективность передачи энергии из запасяющего контура в обостряющий и обеспечить высокую интенсивность введения энергии в газовую смесь, необходимо было разработать конструкцию высоковольтной схемы возбуждения, имеющую минимальную индуктивность. Оптимизация режима работы схемы была связана с выбором расположения батарей конденсаторов C_1 и C_2 вблизи разрядной камеры для достижения максимальной эффективности передачи энергии; с использованием тиратрона ТПИ1-10к/20 в качестве

высоковольтного коммутатора; со снижением индуктивности разрядного контура и введением дополнительной индуктивности в обратный токопровод для достижения максимальной эффективности передачи энергии из запасяемого в разрядный контур, включающий активную среду.

Разработанная и описанная нами ранее [10] высоковольтная схема возбуждения лазера состояла из запасяемых C_1 и C_2 и обостряющей C_3 емкостей. Емкости C_1 и C_2 представляли собой батареи конденсаторов типа TDK UHV-6A (2,7 нФ, 30 кВ), состоящие из 20 и 38 шт. и имели величину 54 и 103 нФ соответственно. Поэтому полная зарядная емкость была равна 157 нФ. После срабатывания высоковольтного коммутатора и смены полярности напряжения на C_1 последовательно включенные емкости C_1 и C_2 перезаряжались на C_3 и их ударная емкость становилась равной 35 нФ. Емкости C_3 набирались из конденсаторов TDK UHV-8A (1,3 нФ, 40 кВ), которые располагались с двух сторон непосредственно на разрядной камере, вдоль нее, для достижения минимальной индуктивности разрядного контура. Величина емкости C_3 составила 31 нФ. Емкость C_3 заряжалась от C_1 и C_2 через 78 дросселей, имевших индуктивность 1 мкГн каждый и подключенных к искровым зазорам УФ-предыонизации для обеспечения их синхронного срабатывания. Поэтому полная индуктивность параллельно включенных дросселей была равна 12,8 нГн, а зарядная индуктивность L_1 2,5 мкГн.

Экспериментальные результаты

Ниже приведены результаты экспериментального исследования энергетических параметров излучения эксимерных газоразрядных ArF-, KrCl-, KrF- и XeCl-лазеров в зависимости от параметров накачки и состава газовой смеси (типа галогеносодержащей молекулы), находящейся при пониженном рабочем давлении, без применения инертного буферного газа.

Эксимерный ArF-лазер (193 нм)

Получена зависимость энергии генерации E и КПД η (рис. 1) двухкомпонентного эксимерного ArF-лазера от зарядного напряжения U_3 в диапазоне от 15 (0,7 атм) до 26 кВ (1,2 атм). Из рис. 1 следует, что с увеличением зарядного напряжения и, соответственно, рабочего давления газовой смеси энергия генерации увеличивается от 40 до 160 мДж. Таким образом, без применения буферного газа при накачке газовой смеси при давлении 1,2 атм электрическим разрядом впервые для ArF-лазера получено значение энергии генерации 160 мДж при полном КПД около 0,3%. При длительности импульса излучения на полувысоте (8 ± 1) нс импульсная мощность достигла 19,5 МВт. В настоящей статье под полным КПД лазера понимается отношение энергии генерации лазера к энергии, запасенной в накопительной емкости высоковольтной системы возбуждения.

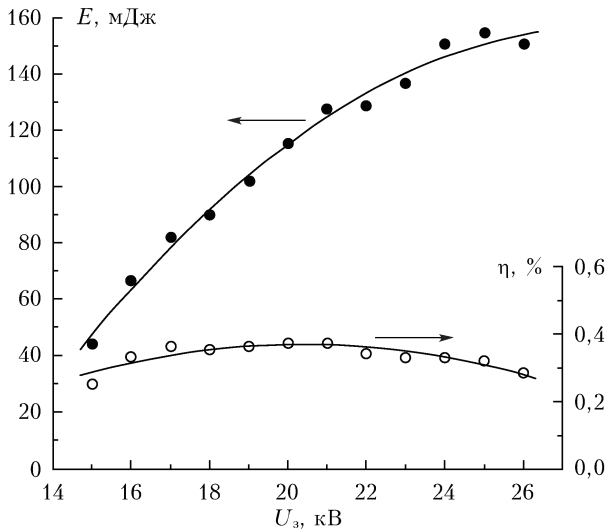


Рис. 1. Выходная энергия лазера E и полный кпд η двухкомпонентного ArF-лазера в зависимости от зарядного напряжения U_3 при соответствующем увеличении полного давления газовой смеси от 0,7 до 1,2 атм

Эксимерный KrCl-лазер (222 нм)

Получена зависимость энергии генерации E и кпд η (рис. 2) двухкомпонентного эксимерного KrCl-лазера от зарядного напряжения U_3 в диапазоне от 20 (1,1 атм) до 26 кВ (1,3 атм) с применением газообразного BCl_3 в качестве галогеноносителя. Из приведенной на рис. 2 зависимости следует, что с увеличением зарядного напряжения и, соответственно, рабочего давления газовой смеси энергия генерации увеличивается от 70 до 110 мДж. Таким образом, без применения буферного газа при накачке газовой смеси при давлении 1,2 атм электрическим разрядом впервые для KrCl-лазера получено значение энергии генерации 110 мДж при кпд около 0,25%. При

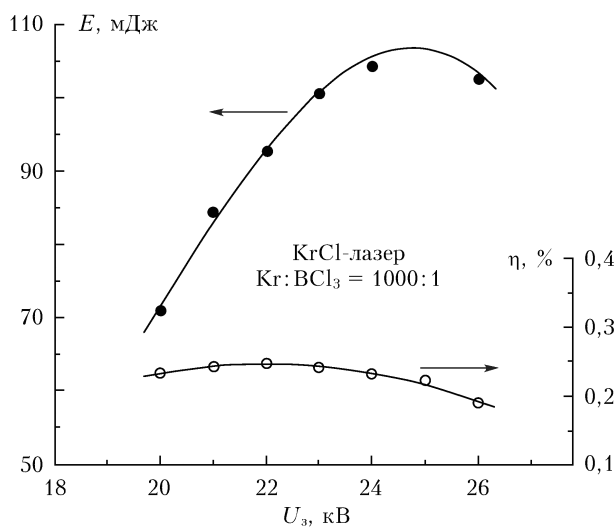


Рис. 2. Выходная энергия лазера E и полный кпд η двухкомпонентного KrCl-лазера в зависимости от зарядного напряжения U_3 при соответствующем увеличении полного давления газовой смеси от 1,1 до 1,3 атм

длительности импульса излучения на полувысоте (8 ± 1) нс импульсная мощность достигла ~ 14 МВт. Также в настоящей статье получена зависимость энергии генерации E и кпд η двухкомпонентного эксимерного KrCl-лазера от зарядного напряжения U_3 в диапазоне от 20 (0,9 атм) до 26 кВ (1,1 атм) с применением газообразного HCl в качестве галогеноносителя. Так, с увеличением зарядного напряжения и рабочего давления газовой смеси энергия генерации увеличивается до 90 мДж. При длительности импульса излучения на полувысоте (7 ± 1) нс импульсная мощность достигла ~ 13 МВт.

Эксимерный KrF-лазер (248 нм)

На рис. 3 представлена зависимость энергии генерации E и кпд η от зарядного напряжения U_3 для KrF-лазера. Из приведенной на рис. 3 зависимости следует, что с увеличением зарядного напряжения и, соответственно, рабочего давления газовой смеси энергия генерации увеличивается от 60 до 170 мДж. Из зависимости следует, что в KrF-лазере без применения буферного газа при давлении 1,1 атм впервые получено значение энергии генерации 170 мДж при кпд 0,3%. Максимальный кпд достигается при минимальном зарядном напряжении 10 кВ и рабочем давлении 0,4 атм и составляет 0,8%. При длительности импульса излучения на полувысоте (7 ± 1) нс импульсная мощность достигла 24 МВт.

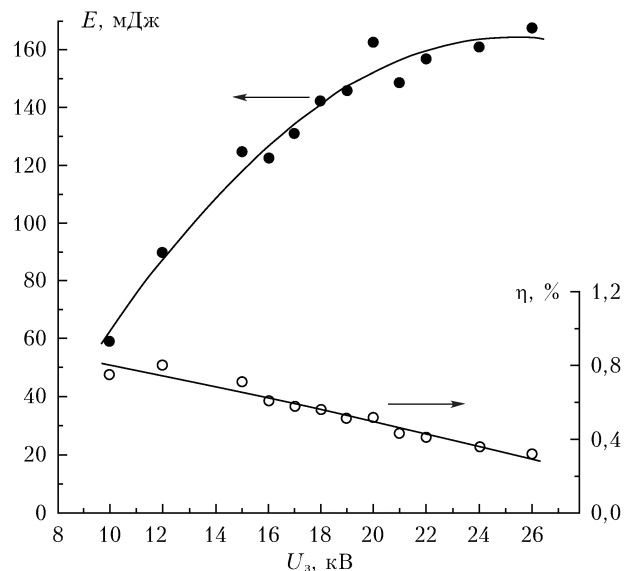


Рис. 3. Выходная энергия лазера E и полный кпд η двухкомпонентного KrF-лазера в зависимости от зарядного напряжения U_3 при соответствующем увеличении полного давления газовой смеси от 0,4 до 1,1 атм

В настоящей статье исследована зависимость энергии генерации E двухкомпонентного эксимерного KrF-лазера от зарядного напряжения U_3 в диапазоне от 15 (0,6 атм) до 26 кВ (0,8 атм) с применением газообразного NF_3 в качестве галогеноносителя.

Так, с увеличением зарядного напряжения и рабочего давления газовой смеси энергия генерации увеличивается до 115 мДж. При длительности импульса излучения на полувысоте (14 ± 1) нс импульсная мощность достигла ~ 8 МВт.

Для двухкомпонентного KrF-лазера исследовано влияние накачки на величину активного объема. Исследования показали, что ширина разряда определяет величину активного объема лазера и является переменной величиной, зависящей от зарядного напряжения и состава газовой смеси. Оказалось, что в эксимерном KrF-лазере при увеличении зарядного напряжения от 10 (0,4 атм) до 26 кВ (1,1 атм) ширина разряда в двухкомпонентной газовой смеси увеличивалась от 0,6 до 0,8 см. Таким образом, при неизменных межэлектродном промежутке и активной длине величина активного объема изменялась от 75 см^3 при 10 кВ до 100 см^3 при 26 кВ.

Эксимерный XeCl-лазер (308 нм)

На рис. 4 показана зависимость энергии генерации E и кпд η двухкомпонентного эксимерного XeCl-лазера от зарядного напряжения U_z в диапазоне от 10 (0,45 атм) до 26 кВ (0,65 атм) с применением газообразного BCl_3 в качестве галогенонесителя. Видно, что с увеличением зарядного напряжения и, соответственно, рабочего давления газовой смеси энергия генерации увеличивается от 50 до 130 мДж. Таким образом, без применения буферного газа при накачке газовой смеси при давлении 0,65 атм электрическим разрядом впервые для XeCl-лазера получено значение энергии генерации 130 мДж при кпд около 0,3%. Также получена зависимость энергии генерации E двухкомпонентного эксимерного XeCl-лазера от зарядного напряжения U_z с применением газообразных HCl и CCl_4 в качестве галогенонесителя. Так, с увеличением зарядного напряжения и рабоче-

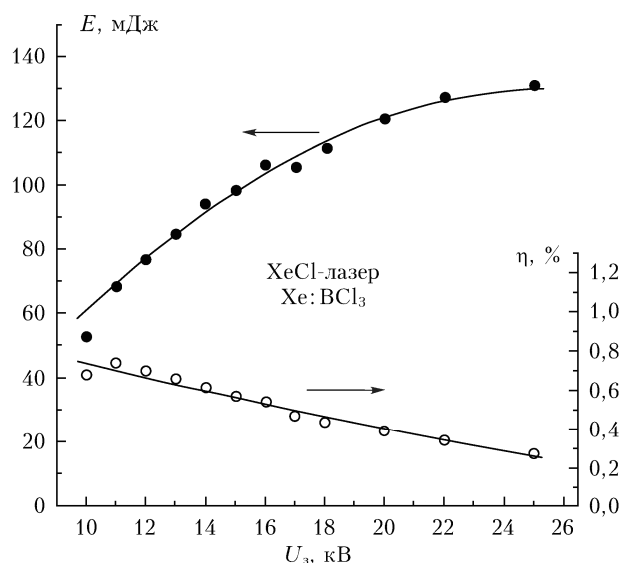


Рис. 4. Выходная энергия лазера E и полный кпд η двухкомпонентного XeCl-лазера в зависимости от зарядного напряжения U_z при соответствующем увеличении полного давления газовой смеси от 0,45 до 0,65 атм

го давления газовой смеси максимальное значение энергии генерации составило 70 и 50 мДж соответственно. Проведена оценка однородности распределения энергии излучения по сечению выходного лазерного пучка. Оценка проводилась с помощью термочувствительной бумаги. Отпечаток лазерного пучка на поверхности термочувствительной бумаги демонстрирует хорошую однородность распределения лазерной энергии по прямоугольному сечению (высоте и ширине) лазерного выходного пучка.

Заключение

Впервые для импульсно-периодических газоразрядных эксимерных лазеров, работающих на электронных переходах ArF^* , KrCl^* , KrF^* и XeCl^* эксимерных молекул при накачке поперечным объемным электрическим разрядом газовой смеси пониженного давления, не содержащей буферного газа, была получена энергия лазерного излучения в импульсе до 170 мДж и высокая импульсная мощность лазерного излучения до 24 МВт при равномерном распределении энергии по сечению выходного лазерного пучка. Максимальное значение кпд, полученное в эксперименте для бинарных газовых смесей KrF- и XeCl-лазеров, достигало 0,8%.

В совокупности энергетические и временные характеристики импульсно-периодических лазеров, разработанных на основе проведенных исследований, позволили обеспечить их эффективное применение. Так, впервые с использованием XeCl-лазера, работающего на бинарных газовых смесях без буферного газа, была разработана и эффективно используется УФ офтальмологическая система для лечения больных открытоугольной глаукомой.

1. Ray M.D., Sedlacek A.J. Ultraviolet mini-Raman lidar for stand-off, *in-situ* identification of chemical surface contaminants // Rev. Sci. Instrum. 2000. V. 71, N 9. P. 3485–3489.
2. Arthur J.S., Mark D.R. Short-range, Non-contact detection of surface contamination using Raman lidar // Proc. SPIE. 2001. V. 4577. P. 95–104.
3. Бобровников С.М., Горлов Е.В., Жарков В.И. Экспериментальная оценка чувствительности СКР-лидара при использовании среднего УФ-диапазона длин волн // Оптика атмосф. и океана. 2013. Т. 26, № 1. С. 70–74.
4. Белов М.Л., Городничев В.А., Пашенина О.Е. Сравнительный анализ мощности выходных сигналов лазерных систем локации и видения ультрафиолетового диапазона. Электронный научно-технический журнал «Наука и образование». 2013. Август, № 8. URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/587120.html> (дата обращения 06.09.2015).
5. Зубрилин Н.Г., Миланич А.И., Черноморец М.П., Юрчук С.В. Генерация эксимерных молекул XeCl, XeF и KrF в двухкомпонентных смесях // Квант. электрон. 1985. Т. 12, № 3. С. 643–644.
6. Федоров А.И. XeCl-лазер низкого давления с продольным разрядом // Оптика атмосф. и океана. 1994. Т. 7, № 1. С. 96–101.
7. De la Rosa J., Eichler H.-J. KrF laser without buffer gas excited in a capacitively coupled discharge tube // Opt. Commun. 1987. V. 64, N 3. P. 285–287.
8. Басов Н.Г., Зуев В.С., Канаев А.В., Михеев Л.Д. Лазерная генерация на KrCl при оптическом возбужде-

- нии // Квант. электрон. 1985. Т. 12, № 11. С. 2197–2198.
9. *Tisone G.C., Hays A.K., Hoffman J.M.* 10⁹ Watt KrF and ArF molecular lasers // *Opt. Commun.* 1976. V. 18, N 1. P. 117–118.
10. *Ражев А.М., Щедрин А.И., Калужная А.Г., Рябцев А.В., Жутиков А.А.* Влияние интенсивности накачки на эффективность эксимерного электроразрядного KrF-лазера на смеси He–Kr–F₂ // *Квант. электрон.* 2004. Т. 34, № 10. С. 901–906.

A.M. Razhev, E.S. Kargapoltsev, D.S. Churkin. **High-power gas-discharge excimer ArF, KrCl, KrF, and XeCl lasers on gas mixtures free of buffer gas.**

The results of experimental studies of the gas mixture (laser active medium) effect on the generation energy and overall efficiency of excimer discharge ArF- (193), KrCl- (223), KrF- (248), and XeCl lasers (308 nm) operating on gas mixtures without the use of a buffer gas are presented. The optimal (in terms of maximum radiation energy) ratio of the gas components of the active media of excimer lasers are found, at which the efficient operation is achieved with a sufficiently high output power of the laser radiation.

It is experimentally confirmed that for the rare gas halide discharge pumped excimer lasers the presence of a buffer gas in the active medium is not required for efficient laser operation. For example, in the binary excimer laser gas mixtures containing working rare gas and halogen-containing gas, for pulsed gas-discharge excimer lasers operating on electronic transitions of excimer ArF*, KrCl*, KrF*, and XeCl* molecules pumped by a transverse electric space discharge at reduced pressure a buffer-free gaseous mixture, laser pulse energy of up to 170 mJ and high pulsed laser power of up to 24 MW have been attained for the first time. The maximum total efficiency in an experiment for binary gas mixtures of KrF and XeCl lasers has reached 0.8%.