

А.Н. Панченко, В.Ф. Тарасенко, О.Ю. Хабаров

УВЕЛИЧЕНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ИМПУЛЬСА ИЗЛУЧЕНИЯ В ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНЫХ ЭКСИПЛЕКСНЫХ ЛАЗЕРАХ

Приведены результаты экспериментов по исследованию влияния на длительность импульса генерации ХеС1-лазера ($\lambda = 308$ нм) параметров разрядного контура, давления и состава рабочей смеси. На модернизированном лазере ЛИДА-Т получены импульсы излучения с длительностью по основанию $\tau \sim 500$ нс и энергией $Q = 0,35$ Дж, а также с $\tau \sim 300$ нс и $Q = 0,6$ Дж.

Введение

Впервые импульс излучения длительностью ~ 1 мкс при электроразрядном способе накачки эксиплексных лазеров на галогенидах благородных газов был получен в [1, 2] на $\lambda = 308$ нм за счет нестационарного режима накачки. Подробно этот режим описан в [3]. Увеличение длительности импульса излучения в сравнительно простых электроразрядных лазерах позволяет значительно расширить их практическое использование, в том числе и при лазерном зондировании атмосферы. Для этого необходимо решение ряда научных, а также технических задач. Поэтому данной проблеме уделялось и уделяется большое внимание [4–7].

В настоящей статье приведены результаты экспериментальных исследований влияния на длительность импульса генерации ХеС1-лазера ($\lambda = 308$ нм) параметров разрядного контура и состава рабочей смеси.

Экспериментальные результаты и методики

Эксперименты проводились на модернизированном и стандартном лазере ЛИДА-Т [8]. В первом была использована двухконтурная схема накачки вместо симметричной схемы Блюмлейна [9]. Емкость накопительного конденсатора C_0 равнялась 120 нФ, а обострительного $C_{об}$ изменялась в пределах $1,65 \div 13,3$ нФ. Индуктивность разрядного контура с обострительным конденсатором составляла $L_{об} \sim 12$ нГн, а индуктивность L_0 контура накопительного конденсатора C_0 изменялась и составляла 107, 190 и 220 нГн. В стандартном лазере ЛИДА-Т L_0 равнялась 15 нГн. Более подробно работа лазеров ЛИДА со схемой Блюмлейна и двухконтурной схемой описана в [9, 10]. В лазерах ЛИДА предыонизация осуществлялась УФ-излучением сквозь сетку в потенциальном или заземленном электроде, второй электрод выполнялся сплошным. Предварительно были испытаны три конструкции системы предыонизации:

1) Предыонизация осуществлялась объемным разрядом между сетчатым электродом и дополнительным, покрытым диэлектриком, на который через основной коммутатор разряжался конденсатор с $C_1 = 3,6$ нФ, заряжаемый до того же напряжения, что и основной накопитель.

2) Предыонизация осуществлялась скользящим по поверхности диэлектрика разрядом [11], для питания которого применялся тот же конденсатор $C_1 = 3,6$ нФ. В ряде экспериментов дополнительно к C_1 параллельно коммутатору устанавливался конденсатор $C_2 = 1,8$ нФ (схема Блюмлейна), что давало возможность увеличить интенсивность предыонизации. Ширина разряда предыонизации в конструкциях 1 и 2 составляла 20 и 14 мм соответственно.

3) Предыонизация осуществлялась от ряда искровых промежутков, которые располагались за сетчатым электродом на расстоянии 1,6 см друг от друга. Питание искровых промежутков подавалось от основного накопителя при зарядке обострительных конденсаторов. Наилучшие результаты были получены при предыонизации излучением скользящего разряда.

Активная длина во всех лазерах составляла 60 см, межэлектродный зазор мог изменяться от 3 до 3,5 см, а ширина разряда определялась давлением и составом рабочей смеси, а также

зарядным напряжением. Рабочие смеси, состоящие из Ne(He, Ar) – Xe(Kr) – HCl, готовились непосредственно в лазерной камере. Энергия излучения измерялась калориметром ИМО-2Н или ИКТ-1М со снятым сапфировым окном, а форма импульса излучения определялась с помощью фотодиода ФЭК-22, сигнал которого подавался на осциллограф БЛОР.

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 приведены осциллограммы импульсов генерации на $\lambda = 222$ и 308 нм, а на рис. 2 – зависимости энергии излучения и кпд от зарядного напряжения U_0 для оптимальных условий генерации в смесях с буферными газами (неоном и гелием) в стандартном лазере ЛИДА-Т со схемой Блюмлейна.

На $\lambda = 222$ нм максимальные энергии, кпд и длительности импульсов излучения ($Q = 0,65$ Дж, $\eta = 0,65\%$, $\tau = 80$ нс) реализуются в смесях с буферным газом неоном при мощной подсветке скользящим разрядом, формируемым схемой Блюмлейна. При подключении к плазменному листу только емкости C_1 (уменьшении интенсивности подсветки) энергия излучения на $\lambda = 222$ нм снижалась на 30% в смесях с Ne. В этом случае в смесях на основе Ne объемный разряд зажечь не удавалось, и генерации на $\lambda = 222$ нм получено не было. Энергия излучения на $\lambda = 222$ нм также существенно снижалась при увеличении ширины разряда (уменьшении мощности накачки) при сохранении его однородности. Так, при ширине разряда 20 мм (подсветка, см. п. 1) энергия излучения в смеси Ne–Kr–HCl уменьшалась в 2,5 раза по сравнению с энергией излучения при ширине разряда 1,4 см (подсветка, п. 2) и одинаковых энергозатратах на предыонизацию. При использовании подсветки (п. 1) шириной 14 мм, дающей меньшую плотность электронов предыонизации, рабочие характеристики KrCl-лазера снижались. Длительность импульса излучения в смесях с Ne достигала 80 нс по основанию и сокращалась при работе с буферным газом гелием или (и) при уменьшении зарядного напряжения, рис. 1(а, б). В смесях с буферным газом аргоном и при использовании предыонизации от искровых промежутков в данных экспериментах порог генерации вообще не достигался из-за контрагирования разряда.

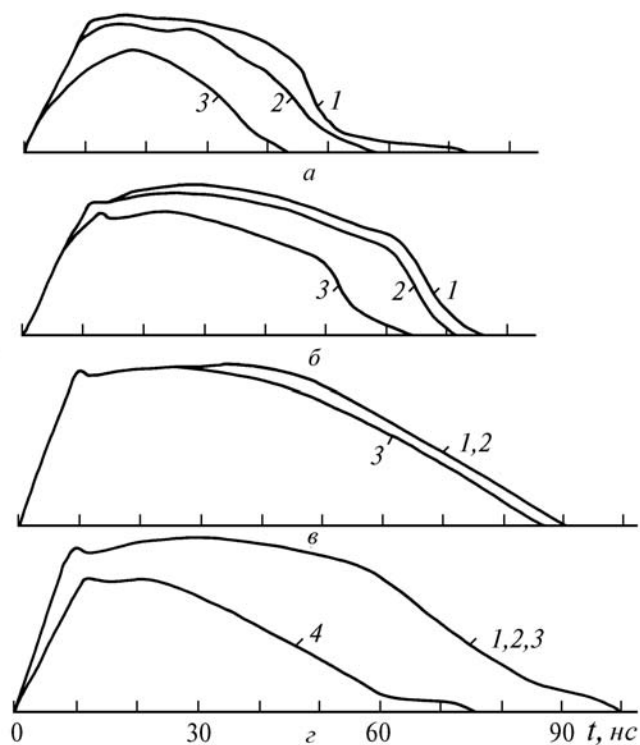


Рис. 1. Осциллограммы импульсов генерации, полученные на лазере ЛИДА-Т при межэлектродном зазоре 3,5 см и подсветке скользящим разрядом с применением C_1 и C_2 : а – смесь Ne:Kr:HCl = 2,75 атм:125 Торр:3 Торр; б – Ne:Kr:HCl = 5 атм:25 Торр:3 Торр; в – Ne:Xe:HCl = 3 атм:30 Торр:3 Торр; г – Ne:Xe:HCl = 5 атм:30 Торр : 3 Торр; 1 – $U_0 = 40$, 2 – 35, 3 – 30 и 4 – 25 кВ

Максимальные энергии генерации на $\lambda = 308$ нм реализуются в широком диапазоне экспериментальных условий в отличие от генерации на $\lambda = 222$ нм. При этом энергии излучения и КПД ($Q = 1,3$ Дж, $\eta = 1,3\%$) с подсветками предьонизации (пп. 1 и 2) совпадают, хотя при уменьшении ширины разряда (увеличении мощности накачки) необходимо использовать смеси с большим содержанием ксенона и HCl. Длительности импульсов излучения на $\lambda = 308$ нм мало изменяются в оптимальных условиях при замене неона на гелий и уменьшении зарядного напряжения. Из рис. 1 (в, г) видно, что длительность импульса излучения сократилась только при минимальных U_0 .

Для получения максимальных длительностей импульса генерации более выгодно применять двухконтурную схему с относительно большой накопительной емкостью C_0 и малой обострительной $C_{об}$, $C_0 \gtrsim 40 C_{об}$. Также увеличение длительности импульса накачки и, соответственно, длительности импульса излучения может быть достигнуто при увеличении индуктивности разрядного контура.

На рис. 3, 4 и 5 приведены характеристики генерации на $\lambda = 308$ нм, полученные при увеличении индуктивности разрядного контура, вариации емкости обострительного конденсатора и при постоянной емкости $C_0 = 120$ нФ (при подсветке от плазменного листа без дополнительного конденсатора). Эти эксперименты проводились только на $\lambda = 308$ нм, т.к. на $\lambda = 222$ нм из-за требования более высоких мощностей накачки порог генерации не достигался.

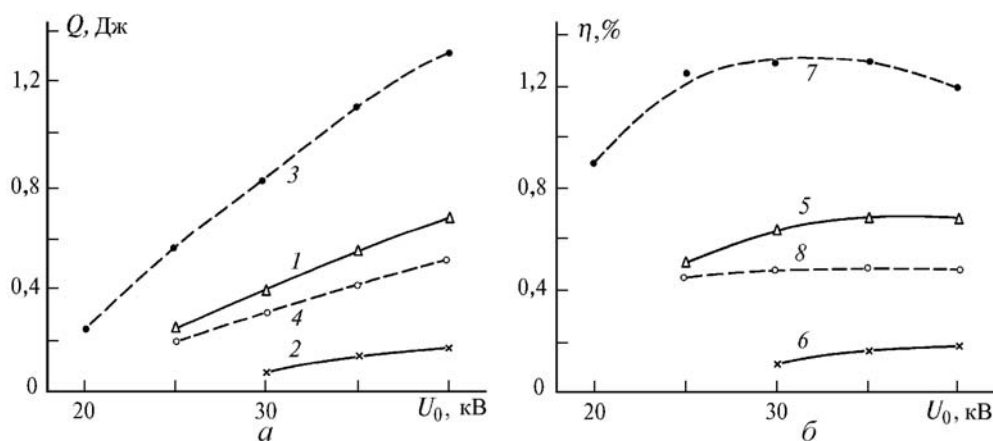


Рис. 2. Зависимости энергии излучения и КПД от зарядного напряжения, полученные на лазере ЛИДА-Т при межэлектродном зазоре 3,5 см на $\lambda = 222$ (1, 2, 5, 6) и 308 нм (3, 4, 7, 8). 1, 5 – смесь Ne:Kr:HCl = 5 атм:125 Торр : 3 Торр, подсветка (см. п. 2) с C_1 и C_2 ; 2, 6 – смесь Ne:Kr:HCl = 2,75 атм:125 Торр : 3 Торр, подсветка (см. п. 2) с C_1 и C_2 ; 3, 7 – смесь Ne:Xe:HCl = 4,5 атм:27 Торр : 2,5 Торр, подсветка (см. п. 1) 4, 8 – смесь Ne:Xe:HCl = 2,85 атм:18 Торр : 2 Торр, подсветка (см. п. 2 в тексте)

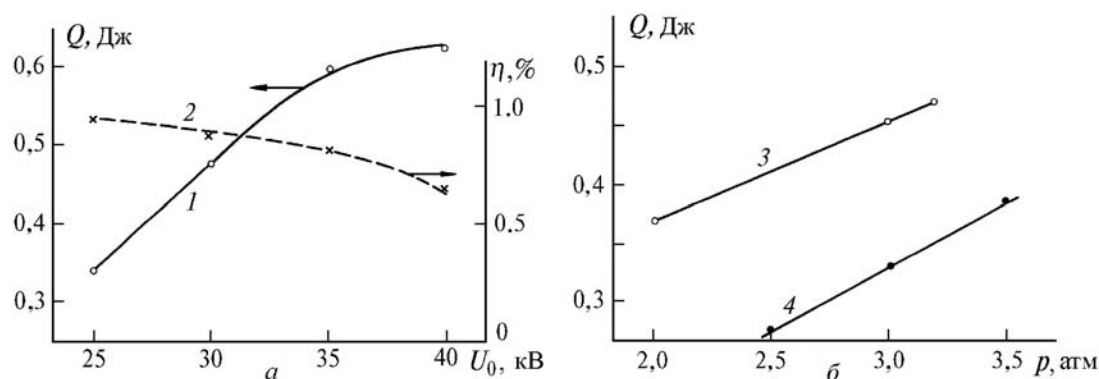


Рис. 3. Зависимость энергии излучения (1) и КПД (2) от зарядного напряжения (а) и зависимости энергии излучения от давления смеси (б) при зарядном напряжении 30 (3) и 40 кВ (4). 1, 2, 3 – индуктивность разрядного контура $L_0 = 107$ нГн; 4 – $L_0 = 220$ нГн; $C_0 = 120$ нФ, $C_1 = 3,3$ нФ

Как видно из рис. 3, максимальные энергии излучения и КПД были получены при $L_0 = 107$ нГн, т.е. при ее минимальной величине в двухконтурной с используемыми конденсаторами схеме. Длительность импульса генерации при этом не превышала 300 нс и примерно соответствовала первому полупериоду тока накачки. Увеличение длительности импульса накачки до ~ 500 нс осуществлялось за счет роста L_0 , изменялась также и длительность импульса излучения до ~ 500 нс (рис. 4, б и рис. 5, а), однако энергия излучения и КПД при этом уменьшались (рис. 3, кривая 4). В оптимальных смесях для получения длинных импульсов содержание сенона пришлось уменьшить в 2 раза, а содержание галогенонесителя HCl осталось без изменения. Рабочее давление при получении больших длительностей импульсов также пришлось ограничивать из-за того, что распределение плотности мощности излучения по сечению выходного пучка при давлениях более 3,5 атм становилось неравномерным. Замена буферного газа неона на гелий приводила к значительному уменьшению длительности импульса излучения и его энергии. Изменение емкости обострительного конденсатора оказывало существенное влияние на форму импульса излучения (рис. 4 и 5). Для получения максимальных длительностей импульса генерации емкость $C_{об}$ должна выбираться сравнительно малой. Отметим также, что от соотношения C_0 , L_0 и $C_{об}$, $L_{об}$, которые определяют мощности накачки со своими периодами, зависит модуляция импульса излучения. Так, на рис. 4, б модуляция импульса генерации за счет накачки от обострительного конденсатора стала больше по сравнению с модуляцией на осциллограмме рис. 4, а при равных $C_{об}$ только за счет уменьшения мощности накачки от C_0 при увеличении L_0 . Энергия излучения, полученная при этом для режима, показанного на рис. 4, а, примерно в 2 раза больше, соответственно и модуляция импульса излучения менее заметна.

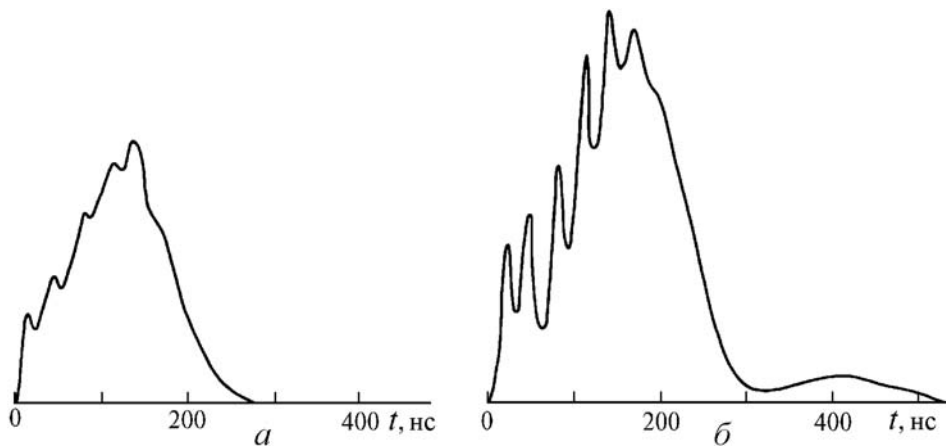


Рис. 4. Осциллограммы импульсов лазерного излучения при $U_0 = 40$ кВ, $C_0 = 120$ нФ, $C_1 = 3,3$ нФ в смеси Ne:Xe:HCl = 2,5 атм:12 Торр:3 Торр. $L_0 = 107$ (а) и 190 нГн (б)

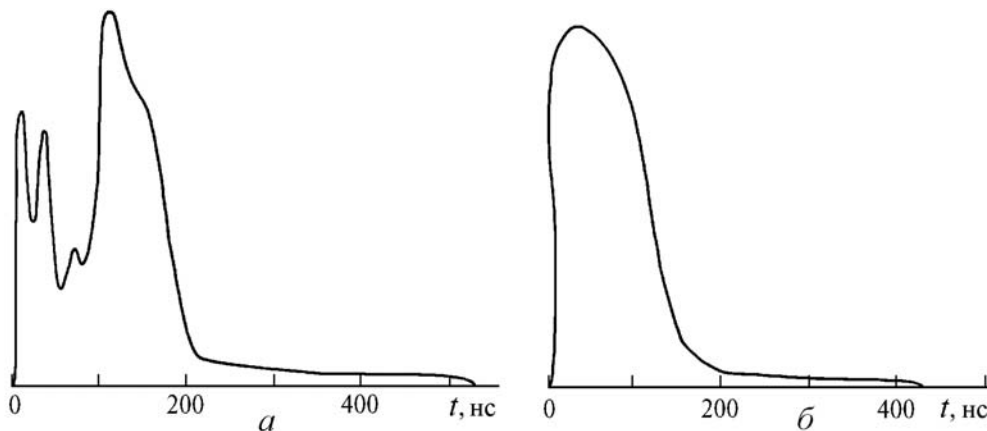


Рис. 5. Осциллограммы импульсов излучения при $U_0 = 40$ кВ, $C_0 = 120$ нФ, $L_0 = 220$ нГн в смеси Ne:Xe:HCl = 3,5 атм:15 Торр:3 Торр. $C_1 = 7,3$ (а) и 13,3 нФ (б)

Уменьшение энергии излучения и эффективности генерации при переходе к длинному импульсу в стандартных схемах обусловлено следующими факторами:

Во-первых, увеличение индуктивности разрядного контура приводит к рассогласованию генератора накачки и сопротивления газоразрядной плазмы.

Во-вторых, смеси, используемые для излучения длинных импульсов, из-за меньшего рабочего давления и содержания ксенона и HCl также приводят к дополнительному рассогласованию между сопротивлением газоразрядной плазмы и волновым сопротивлением генератора накачки.

В-третьих, в ряде случаев на длительность импульса излучения может оказывать влияние <выгорание> молекул HCl. Возможно, что снижение мощности излучения (рис. 4, б) через 200 нс после начала генерации обусловлено этим фактором.

В-четвертых, на эффективность генерации и длительность импульса излучения также может оказывать влияние контрагирование разряда. Однако, несмотря на эти ограничения, нами получены сравнительно большие длительности и энергии излучения на $\lambda = 308$ нм.

Для достижения максимальных эффективностей генерации электроразрядных лазеров при получении длинных импульсов необходимо использовать, на наш взгляд, сложные схемы с двумя генераторами накачки [12] или с прерывателями тока и индуктивными накопителями энергии [13].

Заключение

Проведенные исследования влияния на длительность импульса излучения ХеСl-лазера ($\lambda = 308$ нм) параметров разрядного контура, системы предьонизации, давления и состава рабочей смеси дали следующие результаты. На модернизированном лазере ЛИДА-Т получены импульсы излучения с длительностью по основанию $\tau \sim 500$ нс и энергией $Q \sim 0,35$ Дж, а также с $\tau \sim 300$ нс и $Q \sim 0,6$ Дж. При использовании лазера ЛИДА-Т с накачкой от симметричной схемы Бломлейна на $\lambda = 308$ нм получена Q , равная примерно 1,3 Дж с $\tau \sim 100$ нс, а в смеси Ne-Kr-HCl на $\lambda = 222$ нм $Q \sim 0,65$ Дж с $\tau \sim 80$ нс, КПД генерации составил соответственно 1,3 и 0,65%.

На основании этого можно сделать следующие выводы. Созданный длинноимпульсный лазер может найти применение при лазерном зондировании атмосферы, разработке лазерных систем, формирующих пучки излучения с малой расходимостью, а также и в других областях науки и техники.

1. Мельченко С.В., Панченко А.Н., Тарасенко В.Ф. // Квантовая электроника. 1984. Т. 11. N 7. С. 1490–1492.
2. Ломаев М.И., Мельченко С.В., Панченко А.Н., Тарасенко В.Ф. // Известия АН СССР. Сер. Физ. 1984. Т. 48. N 7. С. 1385–1388.
3. Месяц Г.А., Осипов В.В., Тарасенко В.Ф. Импульсные газовые лазеры. М.: Наука, 1991. 272 с.
4. Taylor R.S., Leorold K.E. // Appl. Phys. Lett. 1985. V. 47. N 2. P. 81–83.
5. Taylor R.S., Leorold K.E. // J. of Appl. Phys. 1989. V. 65. N 1. P. 21–22.
6. Ефимовский С.В., Жигалкин А.К., Караев Ю.И., Курбасов С.В. // Квантовая электроника. 1991. Т. 18. N 12. С. 1407–1412.
7. Атежев В.В., Букреев В.С., Вартапедов С.К. и др. // Квантовая электроника. 1991. Т. 18. N 5. С. 560–562.
8. Верховский В.С., Ломаев М.И., Мельченко С.В. и др. // Квантовая электроника. 1991. Т. 18. N 11. С. 1279–1285.
9. Ануфрик С.С., Верховский В.С., Зноско К.Ф. и др. Влияние параметров разрядного контура, конструкции системы предьонизации, состава и давления рабочей смеси на амплитудно-временные характеристики генерации электроразрядного ХеСl-лазера. Томск, 1989. 29 с. (Препринт/Томский филиал СО АН СССР, N 12).
10. Ломаев М.И., Мельченко С.В., Панченко А.Н. и др. Электроразрядный эксимерный лазер ЛИДА. Томск, 1988. 25 с. (Препринт/Томский филиал СО АН СССР, N 26.)
11. Зарослов Д.Ю., Кузьмин Г.П., Тарасенко В.Ф. // Радиотехника и электроника. 1984. Т. 24. Вып. 7. С. 1217–1241.
12. Long W.H., Plummer M.J., Stappaerts E.A. // Appl. Phys. Lett. 1983. V. 43. N 8. P. 735–737.
13. Панченко А.Н., Тарасенко В.Ф. // Квантовая электроника. 1990. Т. 17. N 1. С. 32–34.

Институт сильноточной электроники СО РАН,
Томск

Поступила в редакцию
2 марта 1993 г.

A.N. Panchenko, V.F. Tarasenko, O.Yu. Khabarov. **Extension of Pulse Duration in the Excimer Electric Discharge Lasers.**

Some results of the experimental study of the influence of a discharge circuitry parameters, composition and pressure of the active medium mixture on the duration of ХеСl laser generation pulse ($\lambda = 308$ nm) are presented. Pulses of full duration $\tau \sim 500$ ns and energy $Q \sim 0,35$ J and $\tau \sim 300$ ns and $Q \sim 0,6$ J have been obtained with a modified LIDA-T laser.