

А.И. Федоров, С.А. Бричков

ХеСl-ЛАЗЕР С ИСКРОВОЙ ПРЕДЫОНИЗАЦИЕЙ

Показано, что с индуктивно-искровой стабилизацией разряда при его плотности тока $\sim 0,2 \text{ кА/см}^2$ можно получить квазистационарные режимы накачки и генерации импульсов излучения ХеСl-лазера.

Экимерные лазеры являются наиболее мощными источниками когерентного излучения УФ-диапазона. Повышение однородности и длительности импульсов излучения ведет к повышению яркости линий генерации и уменьшению расходимости. Это обеспечивает успешное применение лазеров в нелинейной оптике, спектроскопии высокого разрешения и в системах дистанционного зондирования атмосферы [1–3].

Наиболее простым и надежным способом накачки ХеСl-лазера является емкостная двухконтурная схема возбуждения с автоматическим источником УФ-предыонизации [4]. В качестве предыонизаторов использовались искровой и коронный разряды, а также плазменный катод [5]. В работе [6] была показана возможность получения импульсов излучения длительностью более 100 нс и энергией $\sim 10 \text{ мДж}$ с искровой предыонизацией. Авторами была применена резистивная стабилизация разряда. Низкая энергия излучения объяснялась омическими потерями, ограничивающими энергию, вводимую в газовую смесь, и слабой интенсивностью искровой предыонизации, удаленной от электродного промежутка. Далее был реализован квазистационарный режим накачки и генерации импульсов излучения длительностью более 250 нс с энергией 0,5 Дж с плазменной предыонизацией [7]. Отсутствие квазистационарного режима генерации импульсов излучения с искровой предыонизацией также объяснялось слабой ее интенсивностью. В качестве эффективной предыонизации в ряде работ использовался рентгеновский источник [8, 9] или дополнительный эксимерный лазер [10]. Следует отметить, что дальнейшее развитие квазистационарного режима накачки ХеСl-лазера было успешно продемонстрировано [11] при использовании двух независимых контуров возбуждения. Первый контур работал в режиме быстрой накачки, второй — в режиме длинных импульсов, что позволило реализовать КПД от вложенной энергии $\sim 4\%$. Данный режим был применен авторами [12] с использованием КгF-лазера в качестве предыонизатора и магнитного элемента для поддержания постоянной составляющей электрического поля на одном из электродов. Данные улучшения позволили реализовать наиболее длинные импульсы излучения $\sim 1,5 \text{ мкс}$.

В работе проведены исследования возможностей повышения энергии, длительности и управления формой импульса излучения ХеСl-лазера в простой двухконтурной схеме возбуждения с автоматической искровой предыонизацией. Нами была применена индуктивно-искровая стабилизация разряда в сочетании с оптимизацией параметров контуров накачки, плотности разрядного тока и выбора компонент газовой смеси.

Эксперименты проводились на установке, электрическая схема которой приведена на рис. 1а. Накопительная емкость C_n набиралась из керамических малоиндуктивных конденсаторов К15-10. Ее преимуществом по сравнению с формирующей линией на воде считаются компактность и легкость изменения параметров при поиске оптимальных режимов работы лазера [13]. В частности, накопительная малоиндуктивная керамическая емкость позволяет получать более высокие удельные энергосъемы лазерного излучения. Индуктивность накопительного контура соответствовала $L_n = 50 \text{ нГ}$. Обострительная емкость $C_{об}$ набиралась из керамических конденсаторов К15-4, которые устанавливались с одной или с обеих сторон электродного промежутка. Это обеспечивало минимальную индуктивность обострительного контура $L_{об} = 5 \text{ нГ}$. Возле одного из электродов располагался один или два ряда по 40 параллельных острий, которые вместе с основным электродом образовывали искровые промежутки зазором 2 мм. В отличие от известных схем в цепь каждого искрового промежутка была введена стабилизирующая индуктивность L_c . Общая ее индуктивность соответствовала 3 нГ. Длина электродов равнялась 70 см, ширина менялась от 0,5 до 2 см. Межэлектродный зазор оставался постоянным — 2,5 см. Резонатор был образован зеркалами с коэффициентом отражения ~ 98 и $\sim 7\%$ на $\lambda = 308 \text{ нм}$. Накопительная емкость заряжалась от источника постоянного напряжения (40 кВ) и разряжалась через управляемый разрядник P на обострительную емкость, искровые промежутки и газовый активный объем. Плотность разрядного тока и сопротивление газоразрядной плазмы изменялись за счет вариации ширины электродов или величины обострительной емкости. Эксперименты проводились в газовых смесях Ne(He) : Хе : HCl.

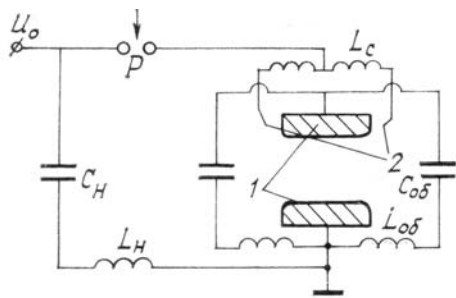


Рис. 1а. Электрическая схема экспериментальной установки: 1 — основные электроды; 2 — искровые промежутки; C_H — накопительная емкость; $C_{об}$ — обострительная емкость; P — управляемый разрядник; L_H и $L_{об}$ — индуктивность накопительного и обострительного контура; L_c — стабилизирующая индуктивность

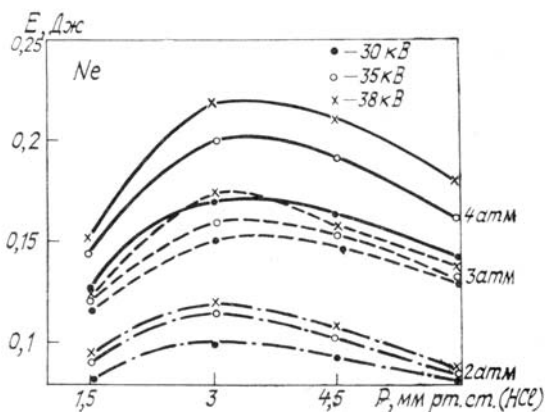


Рис. 1б. Зависимость энергии излучения лазера от содержания донора HCl с буферным газом Ne для различных рабочих давлений и зарядного напряжения при $C_H = 60$ нФ, $C_{об} = 10$ нФ

В работах [4, 14, 15] проводились экспериментальные и теоретические исследования влияния газовых компонент как на разрядные, так и энергетические параметры лазерного излучения. Указывалось, что длительность импульсов излучения зависит от величины плотности мощности возбуждения и концентрации Хе. и HCl. Уменьшение содержания HCl приводит к увеличению длительности импульсов излучения, но при значительном снижении энергии лазерного излучения. Это объяснялось «выгоранием» HCl при $P_{HCl} \leq 1$ мм рт. ст.

На рис. 1б приведены полученные нами зависимости энергии излучения от содержания HCl, зарядного напряжения и суммарного рабочего давления смеси с буферным газом Ne при Хе:HCl = 10:1. Оптимальная концентрация HCl соответствует $P_{HCl} = 3$ мм рт. ст., которая не зависит от суммарного давления смеси и энергии, вкладываемой в разряд. Видимо, концентрация HCl определяется в основном кинетикой образования рабочих молекул при данных условиях накачки активной среды.

Следует отметить, что обычно жесткие требования предъявляли лишь к амплитуде и скорости нарастания разрядного тока для объемных самостоятельных разрядов в смесях инертных газов с галогенами, характерных для режима быстрой накачки. Однако с ростом длительности импульсов накачки и излучения также повышаются требования к плотности разрядного тока [15, 16]. В нашей работе за счет вариаций ширины электродов можно было изменять плотность разрядного тока от 0,2 до 0,8 кА/см². На рис. 2 приведены зависимости энергии и формы импульсов излучения от давления, зарядного напряжения и буферного газа Ne, Ne для $C_H = 60$ нФ, $C_{об} = 10$ нФ (а) и $C_{об} = 20$ нФ (б). Ширина электродов соответствовала 1 см, а предыонизация обеспечивалась одним рядом искровых промежутков. Плотность разрядного тока соответствовала для Ne — $j_{Ne} = 0,2$ кА/см² и для Ne — $j_{Ne} = 0,35$ кА/см².

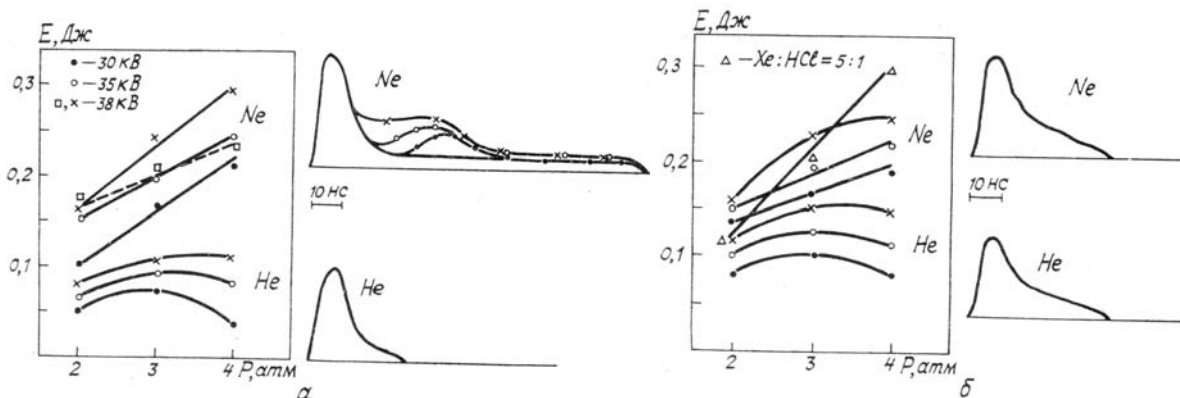


Рис. 2. Зависимость энергии и формы импульса излучения от давления, зарядного напряжения и буферного газа Ne, Ne при $C_H = 60$ нФ, $C_{об} = 10$ нФ (а) и $C_{об} = 20$ нФ (б)

Квазистационарный режим генерации импульсов излучения наблюдался для случая (а) с буферным газом Ne. Длительность импульсов излучения равнялась — 150 нс и ограничивалась величиной

накопительной емкости [4]. В зависимости от величины вкладываемой энергии в квазистационарной стадии разряда регистрировалось изменение формы импульса излучения. Отметим, что такой режим генерации осуществлялся при высоких рабочих давлениях, т.е. при лучшем согласовании системы возбуждения с газоразрядной плазмой. С буферным газом He наблюдался лишь быстрый режим накачки. При использовании двух рядов искровых источников предыонизации регистрировался рост энергии излучения почти в два раза. Это иллюстрирует штриховая кривая на рис. 2, а, полученная при $U_0 = 38$ кВ с буферным газом He. В случае (б), соответствующем большей обострительной емкости, возрастал разрядный ток и энергия, вкладываемая в быстрой стадии разряда. При этом как буферный газ, так и энергия, вкладываемая в разряд, не влияли на форму импульса излучения. Следовательно, одним из основных условий реализации квазистационарной генерации остается соотношение параметров разрядных контуров схемы питания. Также можно отметить тот факт, что с уменьшением содержания Xe, т.е. при Xe:HCl = 5:1, возрастало оптимальное количество $P_{\text{HCl}} = 6$ мм рт. ст. (рис. 2, б). Это приводило к росту энергии излучения при высоких давлениях.

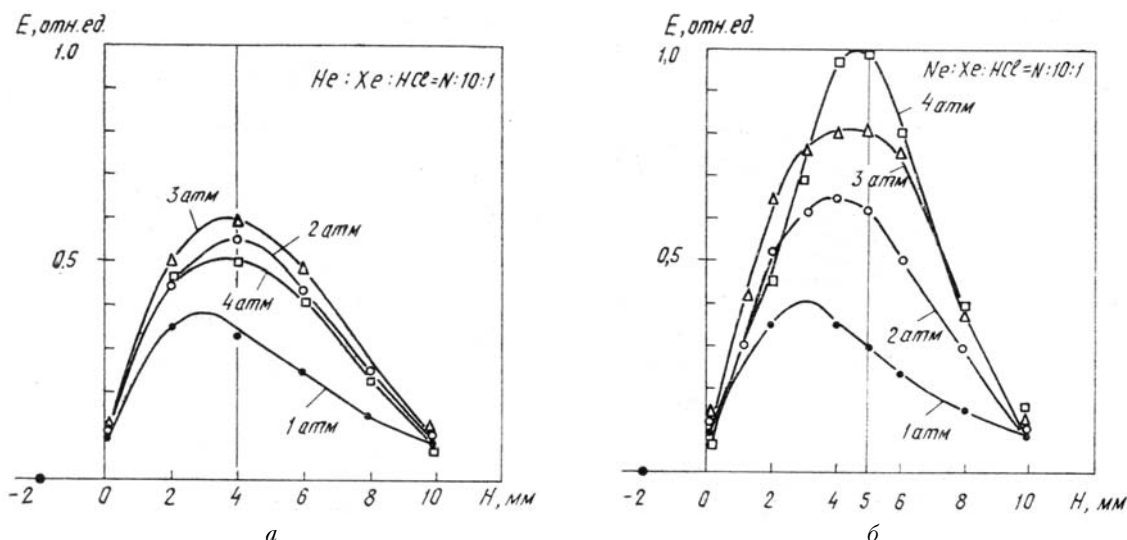


Рис. 3. Распределение энергии излучения по ширине электродов 10 мм с буферным газом He (а) и Ne (б) от суммарного давления газовой смеси при Xe : HCl = 10 : 1

Для практических применений существенную роль играет реальное распределение лазерного излучения по апертуре разрядного промежутка. В работе [1] были проведены исследования коэффициента усиления XeCl-лазера с искровой предыонизацией через сетчатый электрод от буферных газов He, Ne и рабочего давления. Отмечалось слабое усиление вблизи сетчатого катода в зоне $\sim 0,5$ см для любых газовых смесей. Это связывалось с областью неоднородностей, которые появляются из-за нехватки электронов во время роста напряжения. Наблюдалось также слабое усиление на краях электродов лишь для He. На рис. 3 представлено распределение энергии излучения по ширине электрода параллельно оптической оси лазера. Точкой на оси абсцисс показано расположение одного ряда острий, образующих вместе с основным электродом искровые промежутки с зазором 2 мм. Распределение излучения регистрировалось в He (рис. 3, а) и Ne (рис. 3, б) с помощью диафрагмы с отверстием 1 мм и фотодиодом ФЭК-22СПМ. Для He максимум распределения лазерного излучения сдвинут в сторону искровых промежутков независимо от рабочего давления. На краях электродов наблюдался спад излучения, что соответствовало наибольшему искажению электрического поля. Для Ne распределение излучения более симметрично и улучшалось с ростом рабочего давления газовой смеси. В отличие от [1] на краях электродов наблюдался спад излучения. Распределение излучения существенно улучшалось при наличии симметричной искровой предыонизации.

В заключение отметим, что в простой компактной системе накачки с автоматической индуктивно-искровой стабилизацией разряда возможно получение как быстрого, так и квазистационарного режима накачки и генерации импульсов излучения XeCl-лазера. Изменение формы импульсов излучения наблюдалось с буферным газом Ne за счет выбора параметров элементов схемы возбуждения и условий ввода энергии в разряд.

1. Watanabe S., Alcock A. J., Leopold K. E., Taylor R. S. // Appl. Phys. Lett. 1981. V. 38. № 1. P. 3–6.
2. McKee T., Nilson J. A. // Laser Focus. 1982. V. 18. № 6. P. 51–55.
3. Sugii M., Ando M., Sasaki K. // IEEE J. of Qun. Elect. 1987. V. QE-23. № 9. P. 1458–1460.
4. Федоров А. И. Эксимерные лазеры на молекулах XeCl* и XeF*, возбуждаемые самостоятельным разрядом. Автореф. дис. ... канд. физ.-мат наук. Томск: ИСЭ СО АН СССР. 1982. 17 с.

5. Тарасенко В.Ф., Федоров А.И., Грузинский В.В. и др. //Изв. вузов. Физика. 1980. № 8. С. 121–122.
6. Hogan D.C., Kearsly H.J., Webb C.E. //J. Phys. D: Appl. Phys. 1980. V. 13. P. 166.
7. Бычков Ю.И., Мельченко С.В., Месяц Г.А. и др. //Квантовая электроника. 1982. Т. 9. № 12. С. 2423–2431.
8. Shields H., Alcock A.J., Taylor R.S. //J. Appl. Phys. 1983. V. 31. P. 27–35.
9. Osborne M.R., Hutchinson M.H.R. //J. Appl. Phys. 1986. V. 59. P. 711–715.
10. Taylor R.S., Alcock A.J., Leopold K.E. //Optics Letts. 1980. V. 5. № 6. P. 216–218.
11. Long W.H., Plummer M.J., Stapparsts E.A. //Appl. Phys. Lett. 1983. V. 8. № 15. P. 735–737.
12. Taylor R.S., Leopold K.E. //Appl. Phys. Lett. 1985. V. 46. P. 335–337.
13. Lou O., Wang R. //Opt. and Laser Technol. 1987. V. 19. № 1. P. 33–36.
14. Coutts J., Webb C.E. //J. Appl. Phys. 1986. V. 59. № 3. P. 704–710.
15. Taylor R.S. //Appl. Phys. 1986. V. 41. P. 1–24.
16. Литвинов Е.А., Мельченко С.В., Панченко А.Н. и др. //Теплофизика высоких температур. 1985. Т. 23. № 2. С. 392–394.

Институт оптики атмосферы СО АН СССР,
Томск

Поступило в редакцию
27 января 1989 г.

A.I. Fedorov and S.A. Brichkov. A XeCl-Laser With Spark Pheionization.

It is shown that quasi-stationary states of pumping and pulse generation of XeCl-laser can be obtained with inductive-spark discharge stabilization at current discharge density about 0,2 kA/cm².