

А.И. Федоров

ХеСl-ЛАЗЕР НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ С ПРОДОЛЬНОМ РАЗРЯДОМ

Исследован ХеСl-лазер с продольным разрядом, работающий при низком давлении с УФ-предыонизацией в различных буферных газах (He, Ne, Ar). Выходная энергия составляла более 0,1 мДж при длительности импульса генерации 5 нс и суммарном давлении газовой смеси 45 мм рт. ст. ХеСl-лазер работал также без буферного газа при $E/P = 100$ В/см · мм рт.ст.

В миниатюрных эксимерных лазерах в основном используется поперечный разряд для накачки [1–2], хотя продольный разряд также имеет ряд достоинств. Это простота конструкции лазерного излучателя, круглое сечение излучения и высокая степень его однородности, которая соответствует низкой расходимости излучения [3]. В [4] впервые была показана возможность применения продольного разряда для накачки эксимерных молекул. Недостатком данной системы накачки являлись низкие характеристики излучения при рабочих напряжениях более 100 кВ. В [5] была показана возможность использования продольного разряда с коронной предыонизацией за счет дополнительного фольгированного электрода. Такие системы получили название «емкостное возбуждение с продольным разрядом», они позволили существенно увеличить энергетические характеристики излучения и уменьшить зарядные напряжения до 30–60 кВ. Так, в [6] была получена генерация на ХеСl* с энергией 0,317 мДж, $\tau = 35$ нс при рабочем напряжении 36 кВ, давлении 520 мм рт.ст. и активной длине разряда 35 см. Кроме того, получено излучение на KrF* без буферного газа при давлении ~300 мм рт.ст. [7]. Дальнейшее улучшение продольной системы накачки было продемонстрировано в [8], оно основано на использовании дополнительного искрового источника предыонизации. Энергия излучения соответствовала 0,1 мДж, $\tau = 15$ нс при давлении 1,5 атм. Активная длина разряда соответствовала 26 см при зарядном напряжении 40 кВ.

В данной статье представлены результаты исследований ХеСl-лазера низкого давления с дополнительным источником предыонизации в зависимости от влияния газовых компонент.

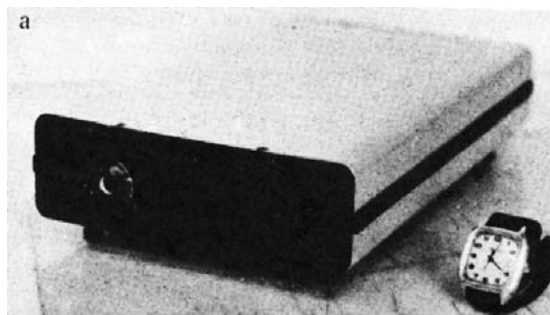


Рис. 1, а. Общий вид миниатюрного ХеСl-лазера

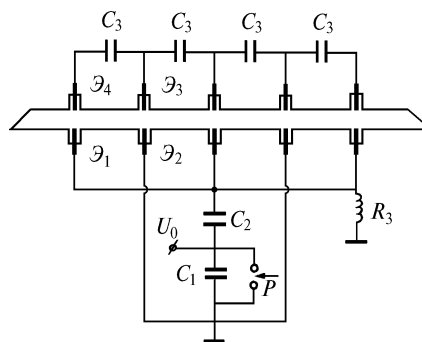


Рис. 1, б. Электрическая схема питания лазера

На рис. 1, а приведен общий вид миниатюрного лазера. На рис. 1, б представлена электрическая схема питания лазера. Использовались кварцевые трубки с внутренним диаметром 4 и 5 мм. В трубке имелось 4 лазерных промежутка с продольным возбуждением. Длина одного промежутка соответствовала 4 см. Использовалось 5 пар стальных электродов. Таким образом, разрядный канал имел общую длину 16 см и активный объем соответствовал 1,6 см³. Резонатор состоял из алюминиевого отражающего зеркала и кварцевой плоскопараллельной пластины. Схема накачки соответствовала схеме Блюмляйн. Емкости C₁ и C₂ изменялись от 4

до 9 нФ. Емкость C_3 использовалась в качестве обострителя и источника предыонизации лазерного канала. Общая емкость C_3 изменялась от 0,6 до 1,32 нФ. В качестве коммутатора использовался серийный разрядник РУ-62, что упрощает схему возбуждения и позволяет получать более высокие характеристики излучения по сравнению с тиратроном [9]. При срабатывании разрядника P происходит инверсия напряжения емкости C_1 и быстро возрастающий высоковольтный импульс прикладывается к парам электродов $\mathcal{E}_1-\mathcal{E}_4$, $\mathcal{E}_2-\mathcal{E}_3$ через обострительную емкость C_3 . После пробоя этих промежутков, которые обеспечивают ионизацию газа, одновременно происходит зарядка обострительной емкости C_3 через разряды предыонизации. После ее зарядки до пробойного напряжения между электродами $\mathcal{E}_3-\mathcal{E}_4$ происходит основной продольный разряд вдоль оси трубки. При соответствующих условиях наблюдается также разряд между электродами $\mathcal{E}_1-\mathcal{E}_2$. Следовательно, срабатывают одновременно все четыре продольных промежутка. При выборе режима работы можно использовать искровую или коронную предыонизацию. Эксперименты проводились в газовых смесях He (Ne, Ar): Xe: HCl. Характеристики излучения регистрировались с помощью калориметра ИМО-2Н, фотодиода ФЭК-22 СПУМ и осциллографа С8-14.

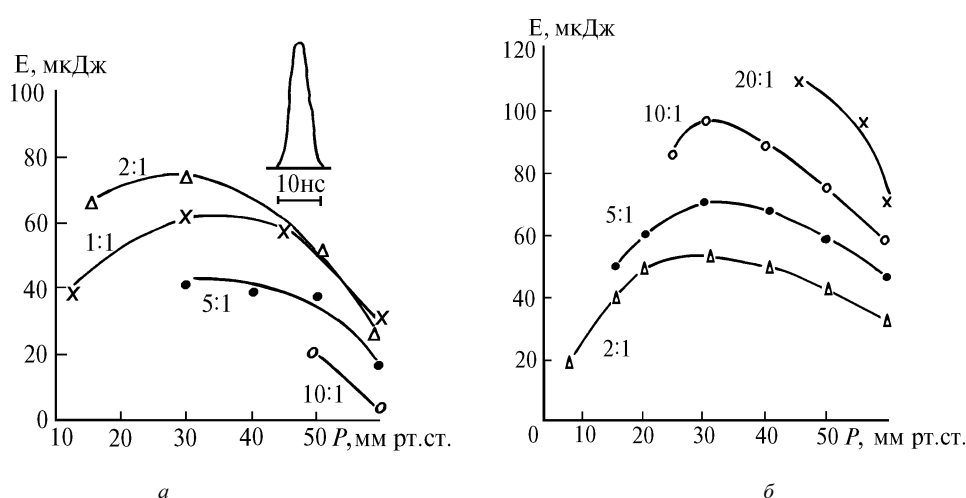


Рис. 2. Зависимости энергии излучения от соотношения Хе:НСl, суммарного рабочего давления для буферного газа Не при $U_0 = 12$ кВ и концентрации НСl = 4; 2 мм рт.ст. – а и б соответственно. Импульс генерации ХеСl-лазера – а

На рис. 2, а приведен импульс генерации ХеСl-лазера, его длительность на полувысоте 5 нс. Кроме того, даны зависимости энергии излучения от различных соотношений Хе:НСl = N:1 и суммарного рабочего давления смеси при постоянной концентрации НСl. В качестве буферного газа использовался Не. С увеличением концентрации Хе энергия излучения уменьшается. Оптимальное соотношение компонент Хе:НСl = 2:1. При низких давлениях экспериментальные результаты ограничены содержанием основных компонент Хе и НСl. Увеличение содержания Не также уменьшает энергию излучения.

На рис. 2, б приведены аналогичные зависимости при концентрации НСl, равной 2 мм рт.ст. В данном случае с ростом соотношения Хе:НСl энергия излучения резко возрастает. Увеличение содержания буферного газа Не также уменьшает энергию излучения. Оптимальное соотношение компонент Хе:НСl = 20:1. Максимальная энергия излучения достигала 110 мкДж в смесях практически без буферного газа Не, а пиковая мощность 20 кВт.

Отметим, что ранее в поперечном разряде в смесях Хе:ССl₄ = 400:1 наблюдалась слабая генерация при давлениях 0,1–0,6 атм [10]. Следовательно, для продольного разряда с интенсивным источником предыонизации существенную роль играет концентрация НСl в газовой смеси, а сопротивление плазмы определяется в основном лишь концентрацией Хе и НСl. Резкое отличие в соотношениях Хе:НСl для малых и больших концентраций НСl, видимо, связано

с механизмом образования молекул XeCl^* (рис. 5, б). Из рис. 2, а, б следует, что оптимальное давление рабочих смесей ~ 30 мм рт.ст.

На рис. 3, а приведены зависимости энергии излучения от $\text{Xe}:\text{HCl} = N:1$ и суммарного давления смеси с буферным газом Ar. При больших концентрациях HCl разряд был менее однороден. Оптимальное соотношение соответствовало $\text{Xe}:\text{HCl} = 5:1$, а давление смеси 30 мм рт. ст. Максимальная энергия излучения равнялась 70 мкДж за импульс. С Ar наблюдаются более выраженные оптимумы по рабочему давлению.

На рис. 3, б даны зависимости энергии излучения в смесях с буферным газом Ne. Оптимальное соотношение $\text{Xe}:\text{HCl} = 5:1$, а давление смеси соответствует 30 мм рт.ст. Максимальная энергия излучения равнялась 60 мкДж за импульс.

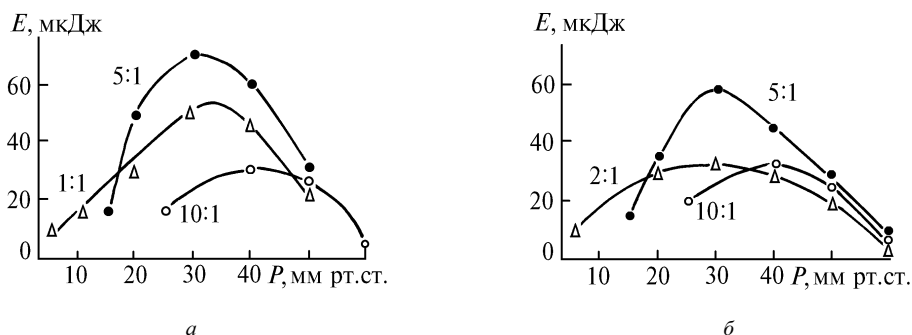


Рис. 3. Зависимости энергии излучения от соотношения $\text{Xe}:\text{HCl}$, суммарного рабочего давления для буферных газов Ar (а), Ne (б) при $U_0 = 12$ кВ и $\text{HCl} = 2$ мм рт.ст.

Таким образом, в продольном разряде с дополнительным источником питания более высокие характеристики излучения достигаются с буферным газом Ne или без него. Данные результаты, видимо, обусловлены высокими $E/P = 100$ В/см · мм рт. ст., где буферный газ не играет существенной роли по сравнению с лазерами с поперечной накачкой [11, 12].

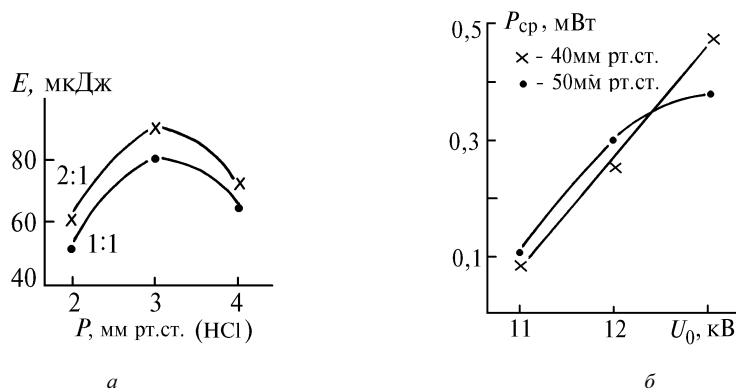


Рис. 4. Зависимости энергии излучения от концентрации HCl с буферным газом Ne и от различных соотношений $\text{Xe}:\text{HCl}$ при $U_0 = 12$ кВ (а) и зависимости средней мощности излучения от зарядного напряжения, суммарного давления смеси при $f = 5$ Гц, $\text{Xe}:\text{HCl} = 5:1$ (2 мм рт.ст.) (б)

На рис. 4, а даны зависимости энергии излучения в смесях с буферным газом Ne от соотношения $\text{Xe}:\text{HCl}$ и концентрации HCl. С увеличением содержания Xe энергия излучения возрастает, а для HCl наблюдается оптимум, который соответствует 3 мм рт.ст., аналогичный поперечному разряду [11]. При уменьшении концентрации HCl энергия излучения, видимо, падает из-за выгорания HCl в активном объеме при низких рабочих давлениях и высоком E/P . При высокой концентрации HCl наблюдается контракция разряда. Экспериментальные данные подтверждают жесткую связь между согласованием волнового сопротивления разрядной плазмы с источником питания (рис. 4, б). Это зависимости средней мощности излучения с буферным газом Ne при $f = 5$ Гц от энергии, вкладываемой в разряд (от зарядного напряжения),

и суммарного давления смеси (сопротивление плазмы разряда). Отметим, что с ростом зарядного напряжения линейно растет выходная мощность излучения и достигает 0,47 мВт. Кроме того, с ростом суммарного давления смеси снижается выходная мощность излучения независимо от буферного газа (рис. 5, а). Максимальная средняя мощность достигается с He, оптимальное рабочее давление соответствует 30 мм рт.ст. На рис. 5, б приведены зависимости энергии излучения для смесей Xe:HCl:He = N:1:1 от концентрации Xe и HCl = 2; 4 мм рт.ст. при $U_0 = 12$ кВ. Практически при низких содержаниях HCl роль буферного газа, видимо, играет Xe.

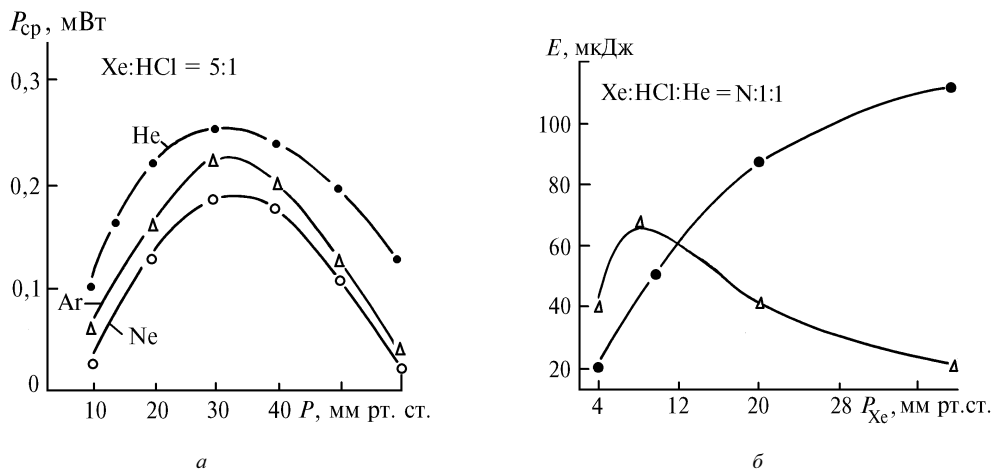


Рис. 5. Зависимости средней мощности излучения от суммарного рабочего давления смеси с буферными газами Ar, Ne, He при $f = 3$ Гц, $U_0 = 12$ кВ, Xe:HCl = 5:1 (2 мм рт.ст.) (а) и зависимости энергии излучения для смесей Xe:HCl:He = N:1:1 от концентрации Xe при $U_0 = 12$ кВ, HCl = 2 мм рт.ст. (●); 4 мм рт.ст. (Δ) (б)

В заключение отметим основные результаты работы.

1. Проведены исследования XeCl-лазера низкого давления, в котором в качестве буферных газов используются He, Ne, Ar. Более высокие характеристики излучения наблюдаются с He.
2. Получена генерация на XeCl* с продольным разрядом без буферного газа при $E/P = 100$ В/см · мм рт.ст.
3. Проведенные эксперименты показали возможность создания эффективных миниатюрных эксимерных лазеров низкого давления с УФ-предыонизацией при низких зарядных напряжениях 10–13 кВ.

1. Sre R. C., Seegmiller E. //IEEE J. Quant. Elect. 1981. V. QE-17. №1. P. 81–91.
2. Yamada K., Miyazaki K., Hasama T., Sato T. //IEEE J. of Quant. Elect. 1988. V. QE-24. №2. P. 177–182.
3. Furuhashi H., Goto T. //Rev. Sci. Instrum. 1988. V. 59. №12. P. 2552–2556.
4. Исаков И. М., Леонов А. Г., Оглуздин В. Е. //Письма в ЖТФ. 1977. Т. 3. Вып. 18. С. 965–968.
5. Newman L. A. //Appl. Phys. Lett. 1978. V. 33. №6. P. 501–503.
6. Zhou Z., Zeng Y., Qiu M. //Appl. Phys. Lett. 1983. V. 43. №4. P. 347–349.
7. Rosa J. de la and Eichler H. J. //Optics Communications. 1987. V. 64. №3. P. 285–287.
8. Furuhashi H., Hiramatsu M., Goto T. //Appl. Phys. Lett. 1987. V. 50. №14. P. 883–885.
9. Головин Ю. Ф., Дымшиц Ю. И., Ершов Л. С. и др. //ОМП. 1984. №2. С. 35–38.
10. Зубрилин Н. Г., Миланич А. И., Черноморец М. П. и др. //Квантовая электроника. 1985. Т. 12. №3. С. 643–644.
11. Федоров А. И., Бричков С. А. //Оптика атмосферы. 1989. Т. 2. №6. С. 772–775.
12. Федоров А. И., Мельченко С. В. //ЖТФ. 1990. Т. 60. Вып. 4. С. 105–110.

Институт оптики атмосферы
СО РАН, Томск

Поступила в редакцию
17 июня 1993 г.

A. I. Fedorov. **Low-Pressure XeCl Laser with Excitation by a Longitudinal Electric Discharge.**

This paper presents a study of a XeCl laser operated in low pressure longitudinal electric discharge with a UV-preionization and in gas mixtures with different buffer gases (He, Ne, and Ar). At a pressure of 45 Torr the output energy of 0,1 mJ per pulse at a pulse duration of 5 ns was obtained. The lasing effect has also been observed without any buffer gas at the ratio $E/P = 100$ V/cm Torr.

XeCl-лазер низкого давления с продольным разрядом

99