

М.В. Ерофеев, М.И. Ломаев, В.С. Скакун, Э.А. Соснин, В.Ф. Тарасенко, Д.В. Шитц

## ЭКСИЛАМПЫ, ВОЗБУЖДАЕМЫЕ ЕМКОСТНЫМ РАЗРЯДОМ

Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 2.06.99 г.

Приведены результаты исследований ХеСl ( $\lambda \sim 308$  нм), КгСl ( $\lambda \sim 222$  нм) и ХеI ( $\lambda \sim 253$  нм) эксилламп, возбуждаемых емкостным высокочастотным разрядом. Показано, что при возбуждении емкостным разрядом достигаются высокие эффективности излучения эксиплексных молекул, а излучатель имеет простую конструкцию. Получена средняя мощность излучения 3 Вт при кпд  $\sim 12\%$ . Созданы отпаянные эксилламп с временем жизни более 1000 ч.

## 1. Введение

Последнее время значительно возрос интерес к изучению источников спонтанного УФ- и ВУФ-излучения новых типов, в частности эксилламп [1–14], и их применению в различных областях науки и техники [11, 14]. Наиболее высокие эффективности для ХеСl ( $\lambda \sim 308$  нм) и КгСl ( $\lambda \sim 222$  нм) эксилламп достигаются при малых давлениях рабочей смеси и низких удельных мощностях накачки тлеющим разрядом [2–13]. Максимальные кпд были получены в непрерывном режиме или при накачке импульсами большой длительности (десятки мкс и более) в положительном столбе тлеющего разряда низкого давления [7] или в поднормальном (высоковольтном) тлеющем разряде [10]. Однако в отпаянных эксиллампах тлеющего разряда время жизни рабочей смеси ограничено из-за контакта рабочей смеси, содержащей хлор, с электродами, температура которых при работе значительно повышается, особенно в эксиллампах с высокой средней мощностью излучения.

Так, при средней мощности излучения 100 Вт и электродах эксилламп из нержавеющей стали время жизни смеси не превышало 1 ч и ее приходилось периодически заменять [11]. При уменьшении средней мощности излучения более чем на порядок, использовании балластного объема и электродов из никеля удалось получить время жизни рабочей смеси более 100 ч [3], что также явно недостаточно для многих практических применений. С другой стороны, известно, что в лампах повышенного давления ( $\sim 1$  атм) с накачкой барьерным разрядом, в которых рабочая смесь контактирует только с кварцевой колбой эксилламп, достигается время жизни рабочей смеси более 1000 ч [14], но при этом эффективность излучения обычно ниже, чем при накачке поднормальным тлеющим разрядом и тлеющим разрядом.

В данной статье сообщается о создании эффективных, отпаянных, цилиндрических эксилламп низкого давления, возбуждаемых высокочастотным емкостным разрядом, в которых время жизни рабочей смеси составляет более 1000 ч, а излучатель имеет очень простую конструкцию. Отметим, что барьерный разряд также является одним из типов емкостного разряда и цилиндрическая геометрия использовалась ранее при накачке СО<sub>2</sub>-лазеров низкого давления емкостным разрядом.

## 2. Экспериментальная установка и методики

Конструкция излучателя эксилламп, возбуждаемой емкостным разрядом, показана на рис. 1. Применялись цилиндрические трубки диаметром от 2 до 4 см и длиной до 40 см. Электроды размещались на внешней поверхности трубок на расстоянии между ними от 2 до 38 см, а их длина при этом могла изменяться от 1 до 19 см.

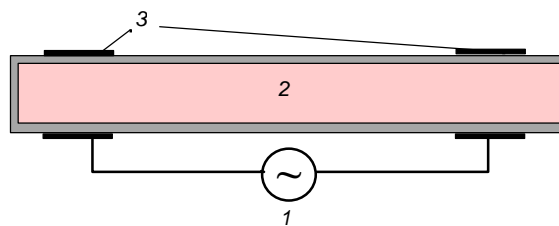


Рис. 1. Конструкция излучателя высокочастотного емкостного разряда: 1 – генератор возбуждения; 2 – объем с рабочей смесью; 3 – электроды

Возбуждение рабочих смесей осуществляли от трех генераторов синусоидальных импульсов, мощность которых составляла 20, 35 и 55 Вт, а частота следования импульсов 22 кГц. Амплитуда напряжения на газоразрядных нагрузках в одинаковых условиях по составу рабочей смеси могла регулироваться и не превышала 4 кВ.

Значения тока и напряжения измеряли омическим шунтом и делителем напряжения, сигналы с которых подавались на двухлучевой осциллограф С8-17. Среднюю мощность излучения в заданном интервале длин волн определяли с помощью вакуумного фотодиода ФЭК-22 СПУ с известной спектральной чувствительностью в видимой и ультрафиолетовой областях спектра, сигнал с которого подавался на импульсный вольтметр или осциллограф С8-17.

## 3. Результаты и их обсуждение

В смесях инертных газов с галогенидами (хлор и йод в данной работе) легко реализуется при низких давлениях объемный высокочастотный разряд, излучающий с высокой эффективностью на В-Х-переходах эксиплексных молекул. Основные результаты, полученные в работе, пред-

ставлены на рис. 2–6. Оптимальное давление зависит от состава смеси, расстояния между электродами, диаметра и составляет от долей мм рт. ст. до нескольких мм рт. ст., что совпадает с областью рабочих давлений в эксилампах тлеющего разряда [2–13]. Соотношение компонентов рабочей смеси также близко для хлорсодержащих смесей к используемому в тлеющем разряде. На рис. 2 и 3 представлены зависимости мощности излучения и КПД от величины произведения давления на расстояние между электродами  $pd$  для эксилексных молекул  $\text{XeCl}^*$  и  $\text{KrCl}^*$  при постоянном расстоянии между электродами. Наибольшие эффективности излучения соответствуют получаемым при возбуждении тлеющим разрядом.

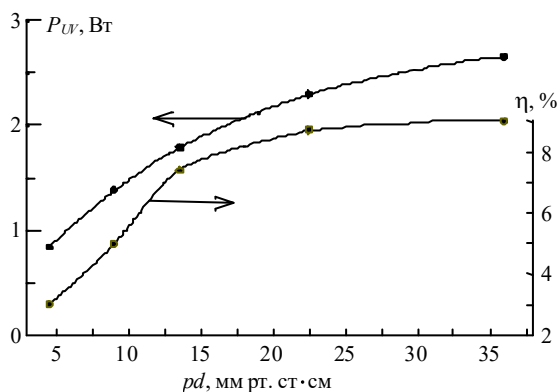


Рис. 2. Зависимость средней мощности излучения и КПД от  $pd$  для  $\text{XeCl}$ -эксилампы ( $\text{Xe}:\text{Cl} = 8:1$ ) при межэлектродном расстоянии  $d = 15$  см

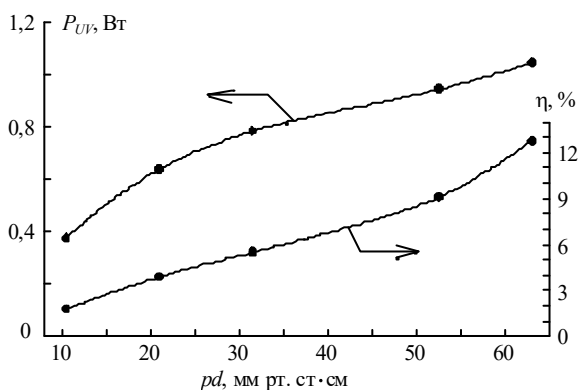


Рис. 3. Зависимости средней мощности излучения и КПД от  $pd$  для  $\text{KrCl}$ -эксилампы ( $\text{Kr}:\text{Cl} = 8:1$ ) при межэлектродном расстоянии  $d = 15$  см

Длительность отдельного импульса излучения при высокочастотном возбуждении зависит от состава и давления смеси, расстояния между электродами и рабочего напряжения, величины площади электродов, диаметра кварцевой трубки. Например, для  $\text{XeI}$ -эксилампы диаметром 4 см с расстоянием между электродами 9 см, при давлении смеси 10 мм рт. ст. длительность отдельных импульсов излучения соответствовала каждому из полупериодов тока разряда и составляла  $\sim 20$  мкс (см. рис. 4). С увеличением рабочего давления и уменьшением площади электродов длительность отдельных импульсов излучения сокращалась.

Спектральные характеристики излучения  $\text{XeCl}$ - и  $\text{KrCl}$ -эксиламп аналогичны спектральным характеристикам, получаемым при возбуждении тлеющим разрядом [2–4, 6, 11].

Ширина полосы излучения молекул  $\text{XeI}^*$  при  $\lambda \sim 253$  нм (см. рис. 5) составила 2 нм и также соответствовала получаемой нами в тлеющем разряде. Однако эффективность излучения молекул  $\text{XeI}^*$  была ниже примерно в 5–10 раз при возбуждении как емкостным, так и тлеющим разрядом по сравнению с излучением молекул  $\text{XeCl}^*$  и  $\text{KrCl}^*$ .

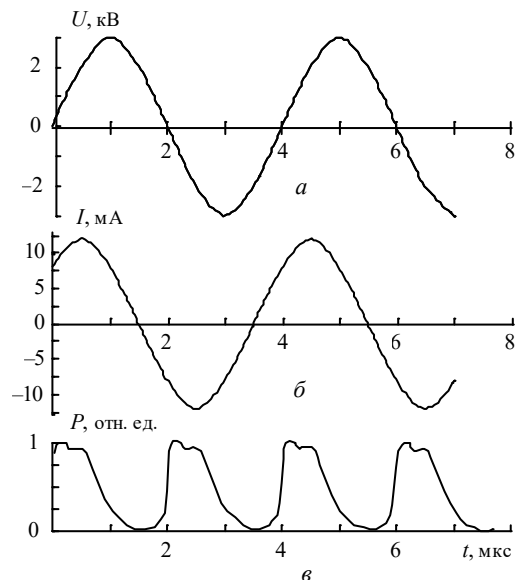


Рис. 4. Осциллограммы импульсов напряжения (а), тока разряда (б) и излучения (в) для  $\text{XeI}$ -эксилампы при давлении смеси  $\sim 10$  мм рт. ст. Диаметр трубки 4 см и  $d = 9$  см

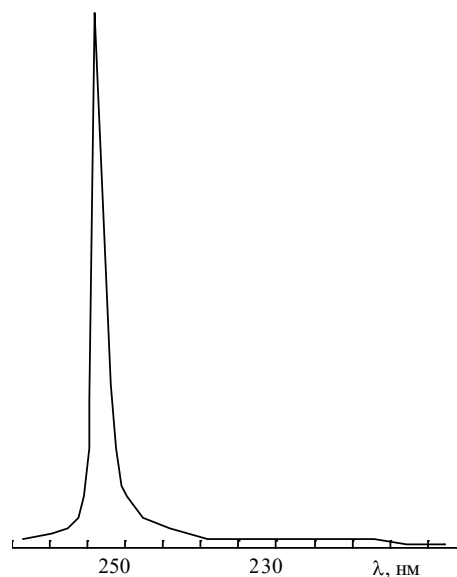


Рис. 5. Спектрограмма  $\text{XeI}$ -эксилампы при давлении смеси  $\sim 10$  мм рт. ст.

Зависимость средней мощности излучения  $\text{KrCl}$  эксилампы от величины среднего тока разряда показана на рис. 6, а. В условиях, когда перегрева эксилампы не наступает, наблюдается линейный рост средней мощности излучения при увеличении тока разряда.

Основными преимуществами возбуждения емкостным разрядом, по сравнению с тлеющим, являются простая конструкция излучателя, отсутствие контакта рабочей

смеси с электродами и существенное увеличение срока службы отпаянных эксиламп. На рис. 6, б приведена зависимость средней мощности излучения от времени наработки ХеСl-лампы. Лампа включалась обычно на 7–8 ч в день, а испытания продолжались более полугода. Аналогичные результаты были получены и для ХеI-эксилампы. Испытания, которые еще не окончены в настоящее время, показали, что ресурс работы смеси отпаянных эксиламп превышает 1000 ч.

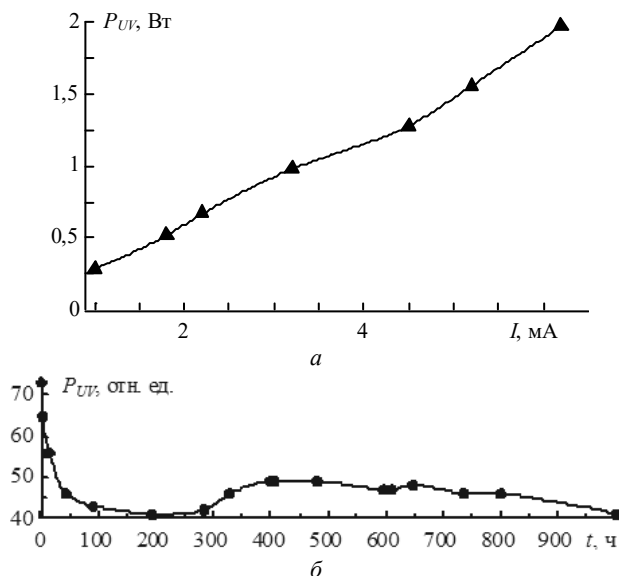


Рис. 6. Зависимости средней мощности излучения эксиламп от среднего тока разряда (а) и от времени работы смеси (б): а – КгСl-эксилампа, смесь Кг:Сl<sub>2</sub> = 8:1 при давлении 2,1 мм рт. ст.; б – отпаянная ХеСl-эксилампа, смесь Хе:Сl<sub>2</sub> = 8:1 при давлении 3,3 мм рт. ст.

По сравнению с возбуждением барьерным разрядом емкостной разряд позволяет реализовать более однородное возбуждение (отсутствуют отдельные филаменты), получать более узкие полосы излучения, эффективно вводить энергию в рабочую смесь при низких давлениях и, соответственно, иметь более высокие полные эффективности УФ-источника излучения.

#### 4. Выводы

В данной статье проведены исследования источников спонтанного излучения низкого давления с накачкой высокочастотным емкостным разрядом. Впервые созданы отпаянные цилиндрические ХеСl ( $\lambda \sim 308$ ), КгСl ( $\lambda \sim 222$ ) и ХеI ( $\lambda \sim 281$  нм) эксилампы с высокой эффективностью. Излучатели эксиламп отличаются простотой конструкции. На молекулах ХеСl\* и КгСl\* получены эффективности излучения в УФ-области спектра  $\sim 12\%$  и средние мощности излучения  $\sim 3$  Вт при рабочем объеме 250 см<sup>3</sup>. Время жизни отпаянных ХеСl и ХеI эксиламп составило более 1000 ч.

1. Коваль Б.А., Скакун В.С., Тарасенко В.Ф., Фомин Е.А., Янкевич Е.Б. // ПТЭ. 1992. № 4. С. 244–245.
2. Головицкий А.П. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. Вып. 8. С. 73–76.
3. Головицкий А.П., Кан С.Н. // Оптика и спектроскопия. 1993. Т. 75. № 3. С. 604–609.
4. Панченко А.Н., Соснин Э.А., Скакун В.С., Тарасенко В.Ф., Ломаев М.И. // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. Вып. 21. С. 47–51.
5. Voichenko A.M., Panchenko A.N., Tarasenko V.F., and Yakovlenko S.I. // Laser Physics. 1995. N 5. P. 1112–1115.
6. Ломаев М.И., Панченко А.Н., Скакун В.С., Соснин Э.А., Тарасенко В.Ф. // Оптика атмосферы и океана. 1996. Т. 9. № 2. С. 199–206.
7. Бойченко А.М., Панченко А.Н., Тарасенко В.Ф., Яковленко С.И. // Квантовая электроника. 1996. Т. 23. № 5. С. 417–419.
8. Панченко А.Н., Соснин Э.А., Тарасенко В.Ф. // ЖТФ. 1997. Т. 67. Вып. 4. С. 78–82.
9. Головицкий А.П., Лебедев С.В. // Оптика и спектроскопия. 1997. Т. 82. № 2. С. 251–255.
10. Панченко А.Н., Тарасенко В.Ф. // Оптика и спектроскопия. 1998. Т. 84. № 3. С. 389–392.
11. Lomaev M.I., Panchenko A.N., Skakun V.S., Sosnin E.A., Tarasenko V.F., Adamson M.G., Myers B.R., Wang F.T. // Laser and Particle Beams. 1998. V. 15. N 2. P. 241–246.
12. Ломаев М.И., Панченко А.Н., Соснин Э.А., Тарасенко В.Ф. // ЖТФ. 1998. Т. 68. № 2. С. 64–68.
13. Panchenko A.N., Sosnin E.A., Tarasenko V.F. // Opt. Comm. 1999. V. 166. P. 249–252.
14. Arnold E., Dreiskemper R., Reber S. // Proc. of the 8<sup>th</sup> Int. Symp. on Science and Technol. of Light Sources (LS-8), Graifswald, Germany. 30.08.–03.09.98. IL12. P. 90–98.

Ì.V. Erofeev, Ì.I. Lomaev, V.S. Skakun, E.A. Sosnin, V.F. Tarasenko, D.V. Shitz. **Capacitive Discharge Excilamps.**

An investigation was made of the characteristics of ХеСl ( $\lambda \sim 308$  nm), КгСl ( $\lambda \sim 222$  nm) and ХеI ( $\lambda \sim 281$  nm) capacitive HF discharge excilamps. High efficiency of exciplex molecules have been obtained under capacitive HF discharge excitation. UV radiation power up to 3 W and electrical power deposition to fluorescence conversion efficiencies of  $\sim 12\%$  have been measured. The study of excilamps have shown, that it is possible to create sealed-off samples with lifetime more than 1000 hours.