

М.В. Ерофеев, Э.А. Соснин, В.Ф. Тарасенко, Д.В. Шитц

**Эффективная ХеВг-эксилампа, возбуждаемая емкостным разрядом***Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск*

Поступила в редакцию 15.06.2000 г.

Приведены результаты исследований характеристик излучения ХеВг\*-молекул (переход  $B \rightarrow X$ ,  $\lambda \sim 282$  нм) в условиях безэлектродного емкостного разряда. Показано, что в области давлений 4–12 мм рт. ст. достигаются высокие средние значения мощности и эффективности излучения ХеВг\*-молекул и максимальным значениям эффективности излучения соответствует мощность возбуждения на одну частицу  $2 \div 3 \cdot 10^{-18}$  Вт. Получены средняя мощность излучения до 5,5 Вт, плотность мощности излучения до 33 мВт/см<sup>2</sup> и эффективность до 15%. Создана отпаянная ХеВг\*-эксилампа.

В настоящее время в различных отраслях науки и техники широко используются источники мощного спонтанного излучения, среди которых источники непрерывного ультрафиолетового излучения находят применение в устройствах трассового газоанализа атмосферы. Как правило, для этих целей используются ксеноновые лампы высокого давления, но эксплуатация этих ламп требует мощных источников питания, принудительного охлаждения и специальных мер безопасности.

За последние 10 лет достигнут значительный прогресс в изучении и разработках источников эффективного спонтанного излучения эксимерных и эксиплексных молекул со сравнительно узкой полосой излучения  $B \rightarrow X$  в спектре [1–8]. Соответствующие устройства были названы эксилампами [2]. Наиболее высокие эффективности излучения на  $B \rightarrow X$ -переходах молекул ХеСl\* и КгСl\* были достигнуты при возбуждении тлеющим разрядом, при малых давлениях рабочей смеси и низких удельных мощностях возбуждения [3–5]. Однако с точки зрения получения большого времени жизни рабочей смеси наиболее перспективными являются эксилампы, в которых возбуждение рабочих смесей осуществляется в герметичной диэлектрической колбе, материал которой прозрачен в ультрафиолетовой части спектра, а электроды вынесены наружу (так называемые «безэлектродные» лампы). Соответственно наибольшие времена жизни для отпаянных эксиламп были получены при возбуждении барьерным разрядом [6]. Нами было показано [4], что применение емкостного разряда для возбуждения КгСl, ХеСl и ХеI эксиламп позволяет работать при низких давлениях и высоких эффективностях излучения, а также реализовывать большие времена жизни рабочей смеси.

В настоящей статье приведены результаты экспериментальных исследований по использованию для возбуждения ХеВг-эксилампы емкостного разряда.

**1. Экспериментальная установка и методики измерений**

Конструкция эксилампы была подобна описанной в [6]. Эксилампа представляет собой цилиндрическую трубку, на торцах которой располагаются обкладки из металлической фольги. В экспериментах использовались трубки

диаметром 2,5 см и длиной до 40 см. Обычно площадь электродов и расстояние между ними варьировали, добиваясь максимального согласования между сопротивлением плазмы в трубке и волновым сопротивлением высокочастотного генератора. Соответственно площадь излучающей части лампы менялась в пределах от 10 до 220 см<sup>2</sup>.

Возбуждение рабочих смесей осуществляли при помощи источника высоковольтных синусоидальных импульсов напряжения, обеспечивающего мощность возбуждения на эксилампе до 60 Вт и частоту следования импульсов 16,5 кГц. При этом на один электрод лампы подавали переменное поле, а второй электрод заземляли. Источник напряжения с возможностью вариации амплитуды (0–6 кВ) и с фиксированной частотой следования импульсов состоит из блока питания, задающего генератора, усилителя и повышающего трансформатора. Блок питания обеспечивает подачу биполярного стабилизированного напряжения к усилителю. Функцией задающего генератора является формирование синусоидального сигнала с перестраиваемой амплитудой (0–3 В). Затем сигнал усиливается и подается на первичную обмотку повышающего трансформатора. Нагрузкой вторичной обмотки повышающего трансформатора является ХеВг-эксилампа.

Величины тока и напряжения измеряли омическим шунтом и делителем напряжения, сигналы с которых подавались на двухлучевой осциллограф TDS/220. Для выделения излучения, соответствующего  $B \rightarrow X$  переходу молекулы ХеВг\*, использовались светофильтры СЗС и УФС. 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 цифровой вольтметр или осциллограф. Форму спектра излучения эксилампы контролировали при помощи монохроматора МУМ.

**2. Результаты экспериментов**

Типичный спектр разряда в Хе–Вг-смеси в наших экспериментах содержал переходы  $B_{12} \rightarrow X_{12}$  (282 нм),  $C_{32} \rightarrow A_{32}$  (300 нм) и  $B_{12} \rightarrow A_{12}$  (325 нм) ХеВг\*-молекулы. При этом в области  $B_{1/2} \rightarrow X_{1/2}$  перехода высвечивалось ~90% от всей энергии, излучаемой в диапазоне 260–500 нм.

Картина свечения разряда зависит от давления смеси, ее состава и тока. Например, в смеси Xe/Bg = 35/1 и межэлектродном промежутке, равном 21 см, изменение общего давления приводило к следующим изменениям картины свечения.

При  $p > 25$  мм рт. ст. плотность тока в столбе разряда составляла  $\sim 1,7$  А/см<sup>2</sup>, а разряд имел вид тонкого шнура, т. е. был близок к контракции. Уменьшение давления до величины  $p = 8,5$  мм рт. ст. уменьшало плотность тока до  $0,26$  А/см<sup>2</sup>, при этом диаметр разряда увеличивался до 1 см, а его форма теперь напоминала тлеющий разряд.

При дальнейшем снижении давления разряд стремился заполнить всю полость трубки между электродами. Отметим, что начиная примерно с 2 мм рт. ст. плотность тока разряда начинала уменьшаться из-за возрастания сопротивления разрядной плазмы, так как условия разряда начинали соответствовать левой ветви кривой Пашена.

Нами было изучено влияние давления смеси и величины мощности возбуждения на эффективность и мощность излучения ХеВг\*-молекулы. Для анализа при различных общих давлениях были взяты смеси, для которых соотношение давлений Хе/Вг варьировалось от 1 до 50. На рис. 1 приведены зависимости средней мощности  $P$  и эффективности излучения  $\eta$  эксилампы от параметра  $pd$  для смеси Хе/Вг = 20,5/1, где  $p$  – давление,  $d$  – длина зазора между электродами. Видно, что, хотя максимальная средняя мощность достигается при  $pd = 172$  см·мм рт. ст., максимум кривой эффективности приходится на  $pd = 61,5$  см·мм рт. ст. В этом диапазоне удельная мощность возбуждения составляла  $2 \div 3 \cdot 10^{-18}$  Вт на частицу, что по порядку величины совпадает со значениями, полученными в Хе/Cl<sub>2</sub>-смесях в условиях тлеющего разряда [3], причем именно в таких условиях, когда обеспечивалась максимальная эффективность излучения. При этих давлениях разряд заполнял собой половину рабочего объема, сохраняя внешнее сходство с тлеющим разрядом. Аналогично, в смесях с другими соотношениями Хе/Вг максимальные значения эффективности были достигнуты в диапазоне низких давлений, примерно от 1,5 до 2,5 мм рт. ст., тогда как максимумы средней мощности излучения сдвигаются в сторону больших давлений и имеют тем большее смещение, чем выше концентрация брома в смеси (рис. 2).

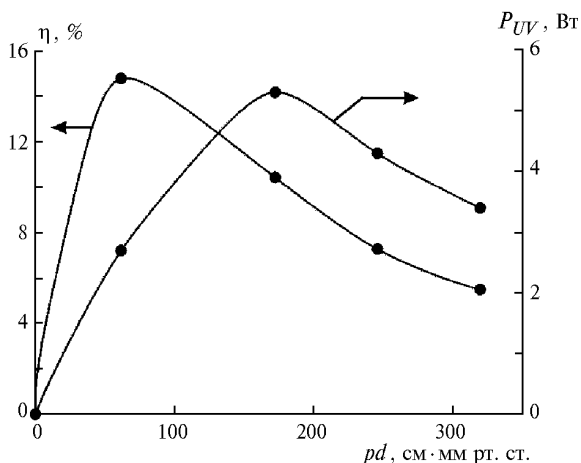


Рис. 1. Зависимости средней мощности и эффективности излучения ХеВг-лампы от параметра  $pd$ ; межэлектродное расстояние 21 см

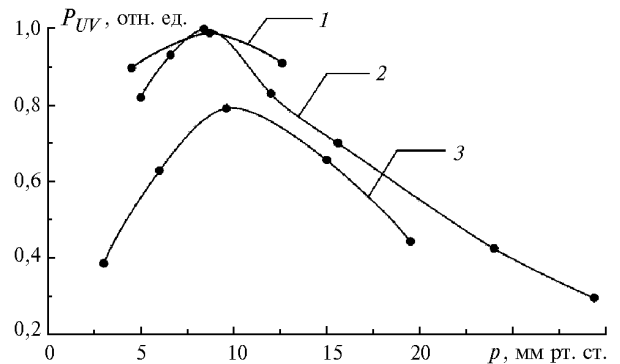


Рис. 2. Зависимости средней мощности излучения для смесей с разным соотношением Хе/Вг (кривая 1 – 16/1; 2 – 20,5/1; 3 – 8/1) от общего давления смеси

Следует отметить и тот факт, что в диапазоне давлений от 1 до 20 мм рт. ст. величина плотности мощности излучения незначительно менялась от высоковольтного электрода к заземленному электроду.

Для  $B \rightarrow X$  переходов ХеВг\*-молекулы ( $\lambda \sim 282$  нм) были получены средняя мощность излучения до 5,5 Вт и эффективность  $\sim 15\%$ .

При практическом использовании источников спонтанного и индуцированного излучения, как правило, требуется сохранение параметров излучения ламп в течение длительного времени. Поэтому в режиме повышенного энерговыклада дополнительно были начаты ресурсные испытания отпаянной ХеВг-лампы и показано, что за период времени 100 ч при удельном энерговыкладе  $10,8$  Вт/см<sup>3</sup> (удельном энерговыкладе на частицу  $4 \cdot 10^{-17}$  Вт/частицу) значение мощности ультрафиолетового излучения оставалось неизменным. Испытания в настоящее время продолжаются.

## Выводы

В данной статье показано, что при уменьшении давления рабочей смеси эффективность излучения цилиндрической ХеВг\*-эксилампы, возбуждаемой безэлектродным емкостным разрядом, возросла в 1,5 раза по сравнению с лампой, возбуждаемой барьерным разрядом. Получены эффективность излучения в УФ-области спектра до 15%, средняя мощность излучения до 5,5 Вт и удельная мощность излучения до  $33$  мВт/см<sup>2</sup>. Предварительные ресурсные испытания отпаянной ХеВг-эксилампы показали, что при повышенном энерговыкладе за 100 ч работы не наблюдалось заметной деградации рабочей смеси.

Авторы благодарят доцента Е.Б. Чернова за помощь при создании удобного и безопасного в работе источника брома.

1. Волкова Г.А., Кириллова Н.Н., Павловская Е.Н. и др. ВУФ лампы на барьерном разряде в инертных газах // ЖПС. 1984. Т. 41. Вып. 4. С. 691–695.
2. Бойченко А.М., Тарасенко В.Ф., Фомин Е.А. и др. Широкополосные континуумы в инертных газах и их смесях с галогенидами // Квантовая электроника. 1993. Т. 20. № 1. С. 3–30.
3. Ломаев М.И., Полякевич А.С., Тарасенко В.Ф. Влияние давления смеси на эффективность излучения молекул ХеCl\* при накачке продольным тлеющим разрядом // Оптика атмосферы и океана. 1996. Т. 9. № 2. С. 207–210.
4. Панченко А.Н., Тарасенко В.Ф. Исследование характеристик поднормального тлеющего разряда в смесях инертных газов с галогенидами // Оптика и спектроскопия. 1998. Т. 84. № 3. С. 389–392.

5. Панченко А.Н., Полякевич А.С., Соснин Э.А., Тарасенко В.Ф. Тлеющий разряд в эксилампах низкого давления, // Изв. вузов. Физика. 1999. Т. 42. <sup>1</sup> 6. С. 50–66.
6. Arnold E., Dreiskemper R., Reber S. High-power Excimer sources // Proc. of the 8th Int. Symp. on Science and Technol. of Light Sources (LS-8). Graifswald, Germany. 30.08.–03.09.98. IL12. P. 90–98.
7. Ломаев М.И., Скакун В.С., Соснин Э.А. и др. Отпаянные эффективные эксилампы, возбуждаемые емкостным разрядом // Письма в ЖТФ. 1999. Т. 25. Вып. 21. С. 27–32.
8. Coogan J.J., Falkenstein Z. The development of a silent discharge-driven XeBr excimer UV light source // J. Phys. D: Appl.Phys. 1997. V. 30. P. 2704–2710.

*M.V. Erofeev, E.A. Sosnin, V.F. Tarasenko, D.V. Shtits.* **Efficient XeBr-exilamp excited by capacitive discharge.**

Experimental results of the investigation of XeBr\* molecules ( $B \rightarrow X$  transition, 282 nm) lighting characteristics under electrodeless capacitive discharge excitation are presented. It is shown that in the pressure range from 4 to 12 Tor the high average capacities and efficiency of XeBr\* molecules radiation are achieved. The maximal lighting efficiency values correspond to the excitation power per one particle of  $2 \div 3 \cdot 10^{-18}$  W. The UV average power output up to 5,5 W, the radiation power density up to 33 mW/cm<sup>2</sup>, and the efficiency up to 15% are obtained. The sealed-off XeBr\* excilamp is developed.