

04;07;12

## Коротковолновая эксимерно-галогенная лампа низкого давления на смеси криптона с молекулами брома

© А.К. Шуайбов, И.А. Грабовая

Ужгородский национальный университет, Украина

E-mail: ishev@univ.uzhgorod.ua

Поступило в Редакцию 14 июня 2006 г.

Приводятся эмиссионные характеристики компактной лампы с накачкой продольным тлеющим разрядом на смеси криптона с молекулами брома, излучающей в спектральном диапазоне 150–300 nm. Разряд зажигался в кварцевой трубке с расстоянием между электродами 100 mm и внутренним диаметром 14 mm. Спектр излучения лампы формировался на основе спектральных линий атома брома 163.3 и 157.6 nm, а также полос молекул брома и бромида криптона. Увеличение парциального давления в смеси с 50 до 270 Pa приводило к уменьшению интенсивности излучения атомов брома и формированию единого ВУФ–УФ-континуума на основе молекулярных полос  $\text{Br}_2$  и  $\text{KrBr}$ .

Проведена оптимизация излучения лампы в зависимости от тока тлеющего разряда, давления и состава рабочей смеси. Оптимальное парциальное давление криптона находится в диапазоне 500–800 Pa, а паров брома в диапазоне 100–250 Pa. Средняя мощность ВУФ–УФ-излучения достигала 5 W при КПД лампы 8–10%.

PACS: 52.80.Nc

В настоящее время все шире в различных оптических технологиях применяются электроразрядные УФ–ВУФ-лампы на моногалогенидах инертных газов, а также атомах и молекулах галогенов [1–3]. При работе в стационарном или квазистационарном режиме излучения наиболее мощными и достаточно эффективными являются лампы на основе продольного тлеющего разряда в смесях  $\text{Xe}-\text{Cl}_2$  (основная полоса 308 nm  $\text{XeCl}^*$ ) или  $\text{Kr}-\text{Cl}_2$  (полоса 222 nm  $\text{KrCl}^*$ ) [4]. Но ресурс работы этих ламп не превышает 100 h в газостатических условиях, поэтому для них актуально применение более тяжелых и менее агрессивных галогеноносителей [5,6]. Для равномерного перекрытия

спектрального диапазона 206–400 nm был использован продольный тлеющий разряд на смесях Xe–Br<sub>2</sub>–I<sub>2</sub> [7]. Представляет интерес для ряда применений получение излучения и в более коротковолновой области длин волн, за счет полос молекул брома в спектральном диапазоне 140–250 nm и спектральной линии атома брома 163.3 nm. Следует особо отметить важность оптимизации излучения лампы на полосе 207 nm KrBr\* для применений в фотобиологии. Это обусловлено тем, что спектр поглощения молекул ДНК имеет два отчетливых максимума в области длин волн 200 и 260 nm. При этом коэффициент линейного поглощения ДНК примерно в 2 раза выше в области излучения полосы 207 nm KrBr\* по сравнению с более длинноволновым максимумом [8]. В статье [9] приведены некоторые результаты исследования лампы на молекулах KrBr\*, которая возбуждалась в емкостном разряде (рабочая смесь Kr–Br<sub>2</sub> = 30–1 при давлении 6 Torr). В работе [10] была продемонстрирована более высокая эффективность излучения полосы 207 nm KrBr\* лампы на основе барьерного разряда для ультрафиолетовой инактивации бактерий по сравнению с излучением XeBr\*-лампы. Высокая бактерицидная эффективность такой KrBr\*-лампы проявлялась при давлении рабочей смеси Kr–Br<sub>2</sub> = 2–30 kPa и ее составах P(Kr)/P(Br<sub>2</sub>) = 10/100 а.е.

Условия образования молекул KrBr\* в плазме продольного тлеющего и емкостных разрядов изучены недостаточно полно, особенно эмиссионные характеристики в ВУФ-области спектра.

В данной статье приводятся результаты разработки и оптимизации выходных характеристик эксимерно-галогенной лампы на смеси криптона и молекул брома, возбуждаемой продольным тлеющим разрядом.

Тлеющий разряд в смеси Kr–Br<sub>2</sub> зажигался в разрядной трубке, изготовленной из кварца марки „УФ“. Расстояние между электродами составляло 10 см. Внутренний диаметр разрядной трубки равнялся 1.4 см. Для анализа ВУФ-излучения плазмы разрядная трубка устанавливалась в вакуумную камеру, которая была вакуумно-плотно пристыкована (через окно из фтористого лития) к вакуумному монохроматору. Излучение разряда направлялось на входную щель вакуумного монохроматора с открытого торца трубки. В эксперименте использовался полуметровый вакуумный монохроматор с дифракционной решеткой 1200 штрихов/mm и фотоумножитель ФЭУ-142. Вакуумный спектрофотометр был предварительно прокальброван в спектральной области

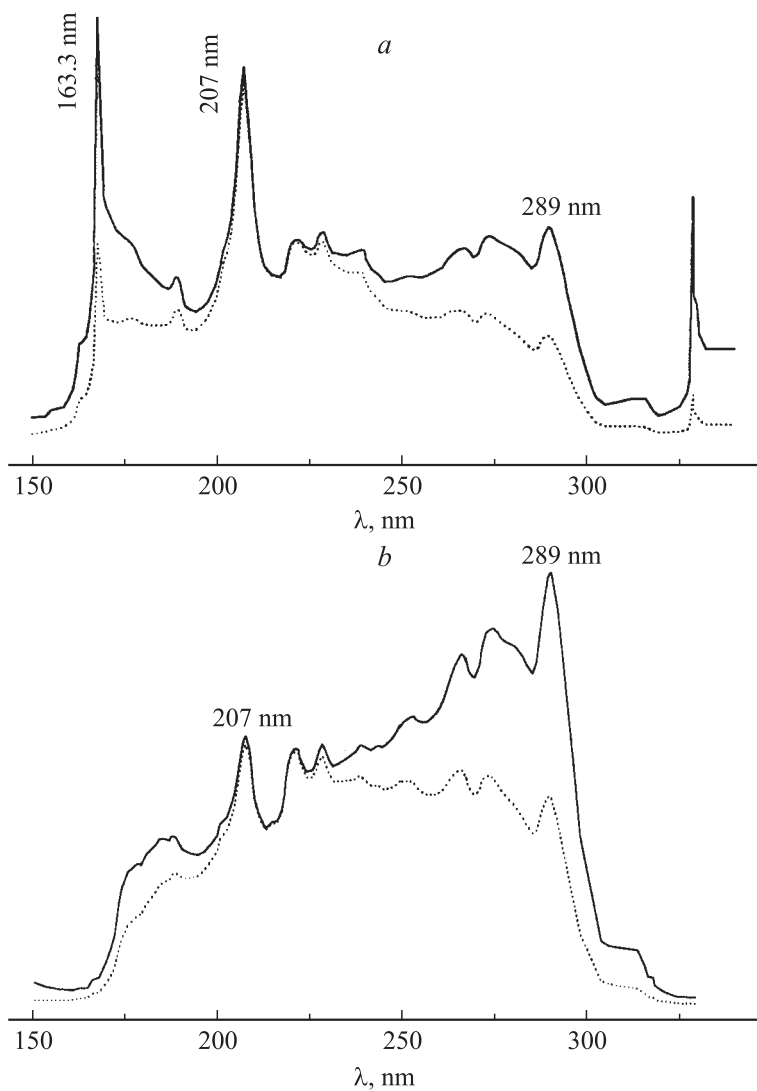
130–350 nm по величине относительной спектральной чувствительности.

Пары брома напускались в трубку из вакуумной газосмесительной системы, в которой был установлен баллончик с жидким бромом высокой чистоты. Разрядная трубка предварительно вакуумировалась до остаточного давления 3–5 Pa, промывалась спектрально-чистыми инертными газами и обезгаживалась путем зажигания тлеющего разряда при максимальном токе.

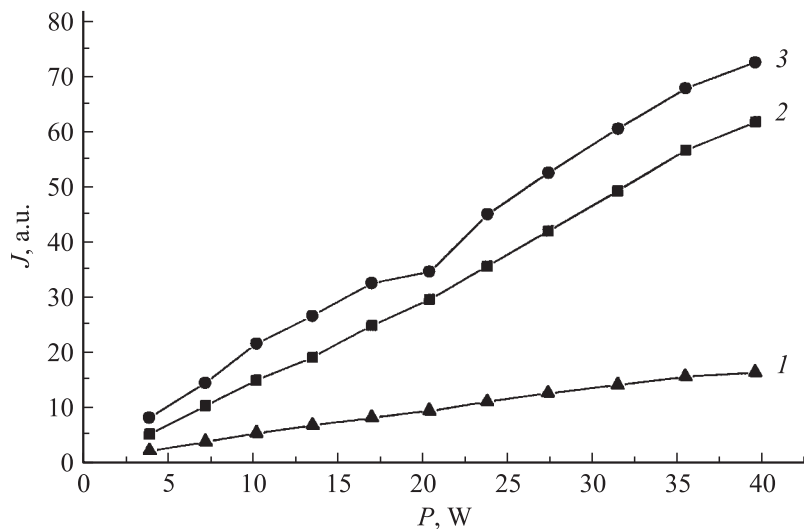
Тлеющий разряд зажигался с использованием высоковольтного выпрямителя ( $I_{ch} < 100 \text{ mA}$ ;  $U_{ch} < 10 \text{ kV}$ ). Оценка мощности УФ–ВУФ-излучения со всей поверхности излучателя (без учета поглощения ВУФ-излучения кварцем) проводилась с учетом геометрии эксперимента, согласно фотометрической методике [11]. Мощность, которая вкладывалась в разряд, находилась в диапазоне 5–100 W.

ВАХ тлеющего разряда в смесях криптона с парами брома имели форму, характерную для его поднормальной и нормальной стадий. Они мало отличались от ВАХ для тлеющего разряда в смеси He–Br<sub>2</sub> [12]. Потенциал зажигания разряда в смеси Kr–Br<sub>2</sub> находился в пределах 900–1300 V. Он увеличивался с повышением парциального давления паров брома. Нормальная стадия горения тлеющего разряда устанавливалась при токах, больших 10 mA.

Спектры излучения плазмы тлеющего разряда в смесях Kr–Br<sub>2</sub> разного давления и состава представлены на рис. 1 (без учета спектральной чувствительности системы регистрации излучения — прерывистая линия, а с учетом — сплошная). В УФ–ВУФ-области длин волн сосредоточено не менее 80% общей мощности излучения плазмы. При малом парциальном давлении паров брома (меньшем чем 100 Pa) в спектре излучения преобладают спектральные линии атома 163.3, 157.6 nm BrI и полоса 207 nm KrBr(B–X). Существенным отличием спектров, приведенных на рис. 1, от спектров излучения тлеющего и емкостного разрядов в смесях Kr–Cl<sub>2</sub>, Xe–Br<sub>2</sub> и Xe–I<sub>2</sub> [4,5,9] является наличие достаточно яркого континуума, на фоне которого наблюдается излучение атомов брома и молекул KrBr\*. С увеличением парциального давления паров брома в разряде наблюдаются уменьшение эффективности образования молекул KrBr\* и полное исчезновение излучения атомов брома. Континуум в спектральном диапазоне 160–300 nm формируется на основе уширенных при низком давлении газовой смеси полос излучения молекул брома. Поэтому



**Рис. 1.** Спектры излучения ВУФ–УФ эксимерно-галогенной лампы на смесях криптона с молекулами брома  $P(\text{Kr})-P(\text{Br}_2) = 480-120 \text{ Pa}$  (a) и  $800-270 \text{ Pa}$  (b) при среднем токе тлеющего разряда 30 мА.



**Рис. 2.** Зависимость относительной интенсивности спектральной линии атома брома, амплитуды молекулярной полосы брома, а также бромида криптона от величины мощности вложенной в разряд в смеси  $P(\text{Kr})-P(\text{Br}_2) = 480-120 \text{ Pa}$ :  $163.3 \text{ nm BrI}$  (1),  $289 \text{ nm Br}_2$  (2) и  $207 \text{ nm KrBr}$  (3).

получение узкополосного излучения в виде полосы  $207 \text{ nm KrBr}^*$  или на спектральных линиях атома брома в лампе с возбуждением тлеющего разрядом затруднительно. Такая лампа может использоваться для применений в спектроскопии поглощения УФ–ВУФ-излучения или для технологий, не селективных к длине волны в пределах  $160-300 \text{ nm}$ .

На рис. 2 приведена зависимость интенсивности излучения спектральной линии атома брома и максимумов полос молекул  $\text{KrBr}^*$ ,  $\text{Br}_2$  от величины мощности вложенной в разряд. Увеличение тока разряда приводит к значительному росту интенсивности УФ–ВУФ-излучения. При токах, превышающих  $50 \text{ mA}$ , лампа нуждается в принудительном охлаждении.

Оптимальное парциальное давление криптона составляет  $400-600 \text{ Pa}$ , а паров брома —  $50-150 \text{ Pa}$ .

Суммарная мощность УФ-излучения лампы достигала 5–7 W при КПД (от вложенной в разряд мощности) 8–10%.

## Список литературы

- [1] *Giese N., Darby J.* // *Watt. Res.* 2000. V. 34. N 16. P. 4007–4013.
- [2] *Zhang J.Y., Esrom H., Boyd I.W.* // *Appl. Surf. Sci.* 1999. V. 138/139. P. 315–319.
- [3] *Race J.K., Ewell M.* // *Appl. and Environmental Microbiology.* 2001. V. 67. N 12. P. 5830–5832.
- [4] *Ломаев М.И., Скакун В.С., Соснин Э.А., Тарасенко В.Ф.* и др. // *УФН.* 2003. Т. 173. № 2. С. 201–217.
- [5] *Lomaev M.I., Tarasenko V.F.* // *SPIE.* 2002. V. 4747. P. 390–398.
- [6] *Шуаибов А.К., Грабовая И.А., Шимон Л.Л.* // *ПТЭ.* 2006. № 1. С. 114–117.
- [7] *Шуаибов А.К., Грабовая И.А.* // *Письма в ЖТФ.* 2005. Т. 31. В. 20. С. 82–87.
- [8] *Von C. Sonntag* // *Process Technologies for Water Treatment* / S. Stucki, ed. New York: Plenum Press, 1987.
- [9] *Sosnin E.A., Erofeev M.F., Tarasenko V.F.* // *J. Phys. D:* 2005. V. 38. P. 3194–3201.
- [10] *Sosnin E.A., Avdeev S.M., Kyznetsova E.F., Lavrent'eva L.A.* // *Instr. and exper. techn.* 2005. V. 48. N 5. P. 663–666.
- [11] *Шуаибов А.К., Шимон Л.Л., Дащенко А.И., Шевера И.В.* // *ПТЭ.* 2002. № 1. С. 104–106.
- [12] *Шуаибов А.К., Грабовая И.А.* // *ПТЭ.* 2006. № 3.