

04;07;12

## Газоразрядная коротковолновая лампа на молекулах бромида ксенона и атомах брома

© А.К. Шуаибов, И.А. Грабовая

Ужгородский национальный университет, Украина

E-mail: ishev@univ.uzhgorod.ua

Поступило в Редакцию 7 ноября 2006 г.

Представлены выходные характеристики малогабаритной газоразрядной лампы, излучающей в спектральном диапазоне 160–300 нм. Рабочей средой лампы являются смеси ксенона с парами брома, которые возбуждаются в продольном тлеющем разряде. Разряд зажигался в цилиндрической трубке из кварца с межэлектродным расстоянием 100 мм. Лампа излучала на спектральных полосах 282 нм  $\text{XeBr}(\text{B}-\text{X})$ , 220 нм  $\text{XeBr}(\text{D}-\text{X})$  и спектральных линиях атома брома 163.3 и 157.6 нм. Увеличение парциального давления ксенона в смеси со 130 до 800 Па приводило к уменьшению интенсивности излучения атомов брома и увеличению мощности излучения молекулы бромида ксенона.

Проведена оптимизация излучения лампы в зависимости от величины энерговклада в разряд, давления и состава смеси  $\text{Xe}-\text{Br}_2$ . Оптимальное парциальное давление ксенона находится в диапазоне 600–800 Па, а паров брома в диапазоне 50–100 Па. Средняя мощность ВУФ–УФ-излучения достигала 7 W.

PACS: 52.80.Nc

Газоразрядные лампы на моногалогенидах ксенона и криптона, атомах и молекулах галогенов являются новыми и перспективными источниками излучения в УФ-диапазоне спектра и могут применяться в разных технологиях, медицине и экологии [1,2]. С точки зрения простоты конструкции излучателя лампы и источника питания разряда наиболее перспективными являются лампы с возбуждением продольным тлеющим разрядом [3]. Так, в лампах постоянного тока, работающих на двойных смесях типа  $\text{Xe}(\text{Kr})-\text{Cl}_2$  (полосы излучения 308 нм  $\text{XeCl}^*$  или 222 нм  $\text{KrCl}^*$ ), достигнуты средние мощности излучения, превышающие 1 kW [4]. Но из-за высокой агрессивности хлора ресурс работы таких ламп не превышает 100 h в отпаянном режиме работы, что вынуждает

переходить на рабочие среды с менее агрессивными молекулами — галогеносодержателями ( $\text{Br}_2$ ,  $\text{I}_2$ ) [5,6]. Одной из наиболее эффективных газоразрядных ламп низкого давления, излучающих в бактерицидном диапазоне длин волн, является лампа на основе смеси  $\text{Xe}-\text{Br}_2$ , в которой эффективно образуются молекулы  $\text{XeBr}(\text{B,D})$ . За счет широкого коротковолнового крыла  $\text{B}-\text{X}$  полосы и полосы  $220 \text{ nm}$   $\text{XeBr}(\text{D}-\text{X})$ , которые попадают в максимумы поглощения молекул ДНК [7], такие лампы имеют высокую бактерицидную эффективность [8]. Но их эмиссионные характеристики исследовались преимущественно в спектральном диапазоне  $200-300 \text{ nm}$ , а в области вакуумного ультрафиолета их излучение практически не исследовано. Известно, что в эксимерных лампах низкого давления на смеси  $\text{Xe}-\text{I}_2$ , кроме полосы  $253 \text{ nm}$   $\text{XeI}(\text{B}-\text{X})$ , в УФ-области спектра достаточно эффективным является излучение атомов йода на спектральной линии  $206 \text{ nm}$  [9]. Поэтому представляет интерес исследование эффективности излучения аналогичных спектральных линий атома брома, которое находится в ВУФ-диапазоне спектра.

Условия образования возбужденных атомов брома в продольном тлеющем разряде на смеси  $\text{Xe}-\text{Br}_2$  и возможный вклад соответствующих спектральных линий  $\text{BrI}$  в излучение эксимерной лампы на молекулах бромида ксенона раньше не исследовались.

В данной статье представлены результаты оптимизации выходных характеристик газоразрядной лампы низкого давления, работающей на смеси ксенона с парами брома.

Тлеющий разряд в рабочей смеси  $\text{Xe}-\text{Br}_2$  зажигался в цилиндрической кварцевой трубке. Межэлектродное расстояние в лампе составляло  $10 \text{ cm}$ . Внутренний диаметр трубки равнялся  $1.4 \text{ cm}$ . Для анализа ВУФ-излучения плазмы трубка была установлена в металлическую буферную камеру, которая вакуумно-плотно пристыковывалась к вакуумному монохроматору. Между буферной камерой и входной щелью вакуумного монохроматора было установлено окно из фтористого лития. Излучение тлеющего разряда направлялось на входную щель вакуумного монохроматора с открытого торца трубки. В монохроматоре использовались дифракционная решетка на  $1200$  штрихов/ $\text{mm}$  и фотоумножитель ФЭУ-142 с  $\text{LiF}$ -окном. Вакуумный монохроматор и фотоумножитель были предварительно прокалиброваны в спектральной области  $130-350 \text{ nm}$  по величине относительной спектральной чувствительности.

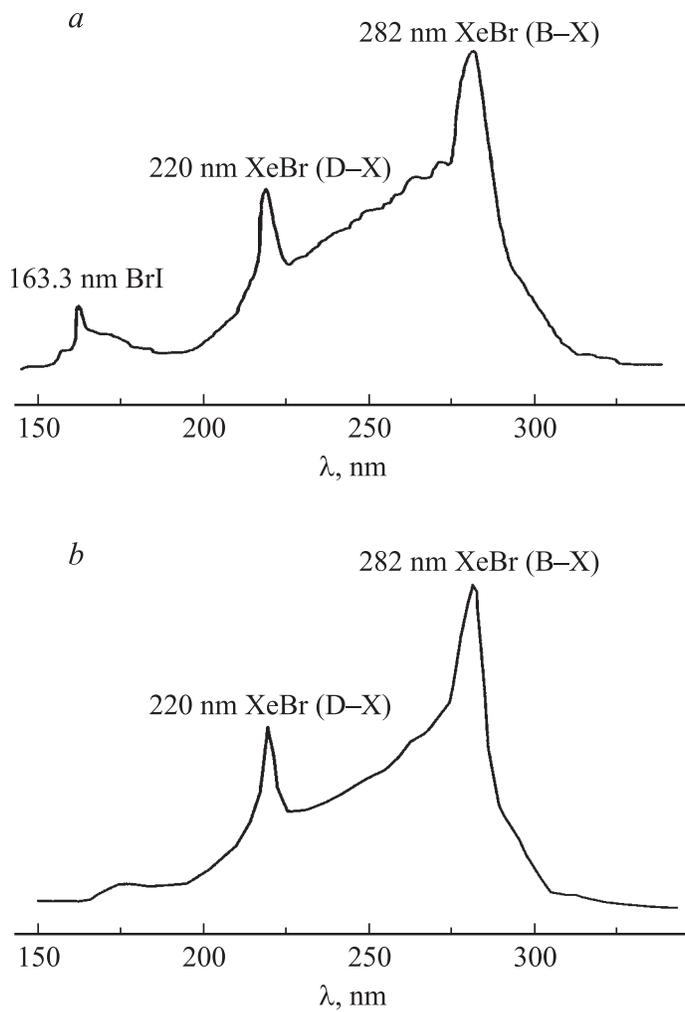
Пары брома напускались в разрядную трубку из вакуумной газосмесительной системы, в которой был установлен баллончик с жидким бромом высокой чистоты. Разрядная трубка предварительно пассивировалась путем зажигания тлеющего разряда в парах брома при максимальном токе тлеющего разряда.

Продольный тлеющий разряд зажигался с использованием высоковольтного выпрямителя ( $I_{ch} < 100$  mA;  $U_{ch} < 10$  kV). Оценка мощности УФ–ВУФ-излучения со всей поверхности лампы (без учета поглощения ВУФ-излучения кварцем) проводилась с учетом геометрии эксперимента [10]. Мощность, которая вкладывалась в разряд, находилась в диапазоне 5–100 W и определялась на основе вольт-амперных характеристик (ВАХ).

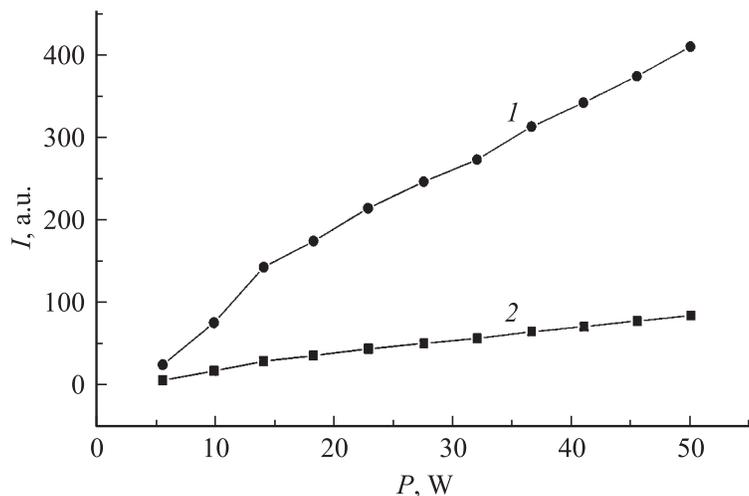
Тлеющий разряд в смесях ксенона с молекулами брома существовал при токах, меньших 10 mA, в виде поднормального, а при более высоких токах — в виде нормального разряда. На стадии поднормального тлеющего разряда его ВАХ имела гиперболическую форму. В нормальном же режиме горения разряда спад напряжения на трубке практически не зависел от тока.

В смеси Xe–Br<sub>2</sub> = 130–80 Pa потенциал зажигания тлеющего разряда составлял примерно 630 V. Увеличение содержания паров брома и общего давления смеси приводило к значительному увеличению потенциала зажигания и горения разряда. Так, в смеси Xe–Br<sub>2</sub> = 260–260 Pa потенциал зажигания составляет 1800 V, а горения — 1400–1600 V.

Спектральные характеристики газоразрядного излучателя на смесях Xe–Br<sub>2</sub> разного состава приведены на рис. 1 (спектры с учетом спектральной чувствительности системы регистрации излучения). В УФ–ВУФ-диапазоне спектра сосредоточено не менее 80% общей мощности излучения плазмы. Как видно из рис. 1, основными в спектре излучения плазмы являются полосы молекулы XeBr(B–X; D–X) с максимумами при 282 и 220 nm. При малом давлении смеси в ВУФ-области спектра определенный вклад вносит излучение спектральной линии атома брома (163.3 nm) и континуума на основе полос брома в диапазоне 165–200 nm. Увеличение парциального давления ксенона в диапазоне 100–800 Pa в смеси с парами брома (при P(Br<sub>2</sub>) = 80 Pa) приводит к увеличению мощности УФ–ВУФ-излучения всех молекулярных составляющих спектра. Интенсивность же излучения спектральной линии атома брома при этом уменьшается.



**Рис. 1.** Спектры излучения коротковолновой газоразрядной лампы на смесях ксенона с молекулами брома  $P(\text{Xe})-P(\text{Br}_2) = 130-80 \text{ Pa}$  (a) и  $800-80 \text{ Pa}$  (b) при среднем токе разряда 30 мА.



**Рис. 2.** Зависимость яркости спектральных полос 282 nm XeBr(B-X) (1) и 220 nm XeBr(D-X) (2) от величины мощности, которая вкладывается в разряд на смеси  $P(\text{Xe})-P(\text{Br}_2) = 800-80$  Pa.

Оптимальное парциальное давление паров брома находилось в диапазоне 50–100 Pa, а ксенона — 600–800 Pa.

На рис. 2 приведена зависимость яркости излучения спектральных полос бромиде ксенона для разряда в рабочей смеси, близкой к оптимальной, от электрической мощности тлеющего разряда. Увеличение электрической мощности тлеющего разряда с 5 до 50 W приводит к увеличению яркости полосы (по закону, близкому к линейному) примерно в пять раз. Яркость излучения полосы 220 nm XeBr(D-X) была малочувствительна к увеличению электрической мощности разряда. Рост насыщения яркости УФ-излучения лампы при этих энерговкладах в плазму не наблюдается. Лампа может работать при естественном охлаждении или с применением слабого принудительного охлаждения потоком воздуха от вентилятора.

Суммарная мощность УФ-излучения лампы достигала 7 W. Ресурс излучения лампы в условиях настоящего эксперимента не превышал 400–500 h.

## Список литературы

- [1] *Gonzales M.G., Oliveros E., Worner M., Braun A.M.* // J. Photochem. Photobiol. C.: Photochem. Reviews. 2004. V. 4. P. 225–246.
- [2] *Соснин Э.А., Захарова Э.А., Баталова В.Н.* // Заводская лаборатория. 2005. Т. 71. № 8. С. 18–24.
- [3] *Шуаибов А.К., Дащенко А.И., Шевера И.В.* // ЖТФ. 2001. Т. 71. В. 8. С. 121–123.
- [4] *Ломаев М.И., Скакун В.С., Соснин Э.А., Тарасенко В.Ф.* и др. // УФН. 2003. Т. 173. № 2. С. 201–217.
- [5] *Шуаибов А.К., Грабовая И.А.* // ЖПС. 2005. Т. 72. № 6. С. 840–842.
- [6] *Шуаибов А.К., Грабовая И.А.* // Оптика и спектроскопия. 2006. Т. 100. № 2. С. 234–238.
- [7] *Von C. Sonniag* // Process Technologies for Water Treatment / S. Stucki, Ed. New York: Plenum Press, 1987.
- [8] *Batalova V.N., Bylatskaya O.A., Sosnin E.A.* // Proc. SPIE. 2004. V. 5483. P. 323–327.
- [9] *Шуаибов А.К., Грабовая И.А.* // ЖТФ. 2004. Т. 74. В. 4. С. 66–69.
- [10] *Шуаибов А.К., Шимон Л.Л., Дащенко А.И., Шевера И.В.* // ПТЭ. 2002. № 1. С. 104–106.