

04;07;12

## Электроразрядная лампа на парах брома и йода с непрерывным ультрафиолетовым спектром излучения

© А.К. Шуаибов, И.А. Грабовая

Ужгородский национальный университет, Украина

E-mail: ishev@univ.uzhgorod.ua

Поступило в Редакцию 3 мая 2005 г.

Приводятся оптические характеристики малогабаритной ультрафиолетовой лампы на смесях ксенона и криптона с молекулами брома и йода с накачкой продольным тлеющим разрядом. Лампа излучает атомарную линию  $206.2 \text{ nm I}^*$  шириной  $0.10 \text{ nm}$ , а также континуум в диапазоне  $220\text{--}390 \text{ nm}$ , который сформирован на основе полос двухатомных молекул  $\text{XeI}(\text{B-X})$ ,  $\text{XeBr}(\text{B,D-X})$ ,  $\text{Br}_2(\text{B-X})$ ,  $\text{I}_2(\text{B-X})$  и  $\text{IBr}(\text{B-X})$ .

Оптимальное парциальное давление паров йода находится в диапазоне  $100\text{--}200 \text{ Pa}$ , брома — в диапазоне  $100\text{--}400 \text{ Pa}$ . Оптимальное парциальное давление тяжелых инертных газов составляет  $400\text{--}800 \text{ Pa}$ . Средняя мощность УФ излучения не превышала  $10\text{--}12 \text{ W}$ . КПД излучения лампы находился в диапазоне  $10\text{--}12\%$ .

Экцимерно-галогенные лампы постоянного тока являются в настоящее время наиболее мощными источниками УФ излучения, но при режиме работы на полосах  $222 \text{ nm KrCl}^*$  и  $308 \text{ nm XeCl}^*$  их ресурс не превышал  $100$  часов [1]. При переходе к наименее агрессивному галогенонесителю — молекулам йода ресурс работы лампы с накачкой тлеющим разрядом в газостатическом режиме может быть увеличен до  $500\text{--}1000$  часов [2,3]. При этом примерно половина мощности излучения таких йодных ламп сконцентрирована в форме континуума, который расположен в спектральном диапазоне  $220\text{--}360 \text{ nm}$ . Это непрерывное излучение сформировано на основе уширенных полос  $253 \text{ nm XeI}^*$  и  $342 \text{ nm I}_2^*$ . Для более равномерного перекрытия спектрального диапазона  $220\text{--}400 \text{ nm}$  и создания эффективной широкополосной ультрафиолетовой лампы, которая бы излучала в непрерывном (по времени) режиме и могла заменить хорошо известную, но менее эффективную лампу на континууме молекул водорода, нами предложено

дополнить УФ излучение йодсодержащих молекул излучением бромсодержащих молекул. Для этого необходимо использовать комплексный галогеноситель — смесь паров брома и йода.

Эмиссионные характеристики плазмы тлеющего разряда в смесях Хе–Br<sub>2</sub>–I<sub>2</sub> и Kr–Br<sub>2</sub>–I<sub>2</sub> ранее не исследовались, поэтому условия работы и выходные характеристики такой широкополосной ультрафиолетовой лампы оставались не установленными.

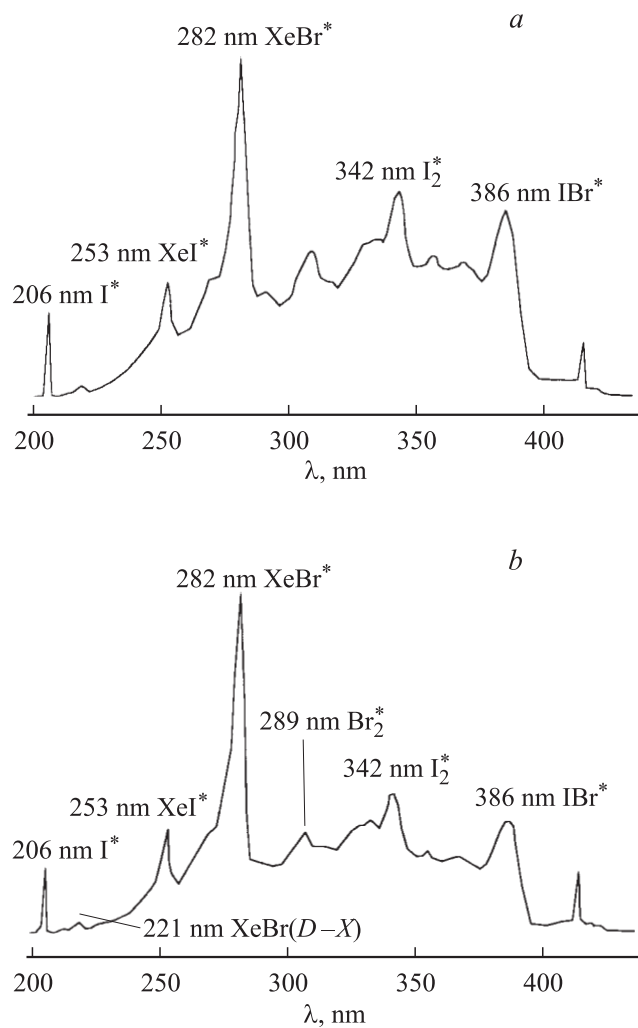
В данной статье представлены результаты исследования эмиссионных характеристик широкополосной ультрафиолетовой эксимерно-галогенной лампы постоянного тока, работающей на смесях тяжелых инертных газов с парами йода и брома.

Продольный тлеющий разряд зажигался в кварцевой разрядной трубке с расстоянием между электродами 100 мм. Внутренний диаметр разрядной трубки, которая была прозрачной до длины волны 190 нм (на уровне не менее 70%), составлял 14 мм. Кристаллический йод высокой чистоты был установлен в специальном отростке за анодом лампы. Пары брома напускались в разрядную трубку из вакуумной газосмесительной системы, в которой был установлен баллончик с жидким бромом высокой чистоты.

Разрядная трубка предварительно вакуумировалась до остаточного давления 3–7 Па, промывалась спектрально чистым неоном и обезгаживалась путем зажигания тлеющего разряда в неооне при максимальном токе. Критерием готовности лампы к заправке рабочими смесями было отсутствие в спектрах излучения тлеющего разряда на тяжелых инертных газах наиболее ярких полос второй положительной системы молекулы азота.

Излучение лампы анализировалось с применением спектрометра на основе монохроматора МДР-2 с дифракционной решеткой с 1200 штрихов на мм или голографической решеткой с 2400 штрихов на мм и фотоумножителя ФЭУ-106. Спектрометр предварительно был прокалиброван по величине относительной спектральной чувствительности в диапазоне 190–400 нм при помощи водородной лампы. Контур спектральной линии 206.2 нм атома йода регистрировался с применением голографической дифракционной решетки.

Тлеющий разряд зажигался при помощи высоковольтного выпрямителя ( $I_{ch} < 100$  мА;  $U_{ch} < 10$  кВ). В процессе эксперимента разрядная трубка могла нагреваться до 40 °С, поэтому давление насыщенных паров йода находилось в диапазоне 100–200 Па [4]. Мощность УФ излучения



**Рис. 1.** Спектральные характеристики широкополосной эксимерно-галогенной лампы на смесях тяжелых инертных газов с молекулами брома и йода:  $P(\text{Xe})-P(\text{Br}_2)-P(\text{I}_2) = 800-400-(100 \dots 200) \text{ Pa}$  (a),  $1200-130-(100 \dots 200) \text{ Pa}$  (b);  $P(\text{Kr})-P(\text{Br}_2)-P(\text{I}_2) = 800-200-(100 \dots 200) \text{ Pa}$  (c) при среднем токе разряда 30 мА.

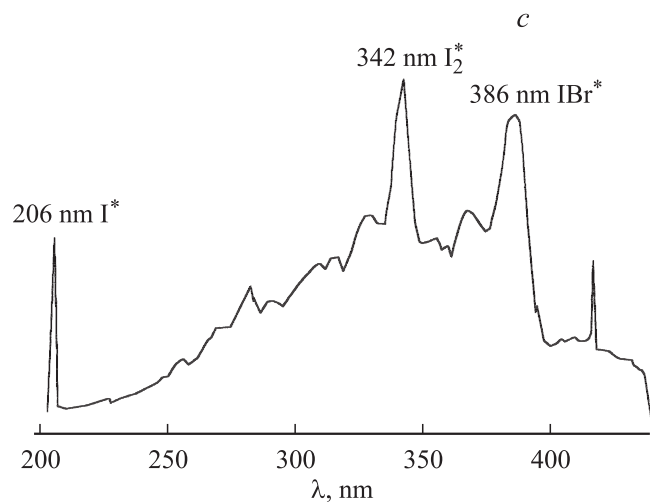
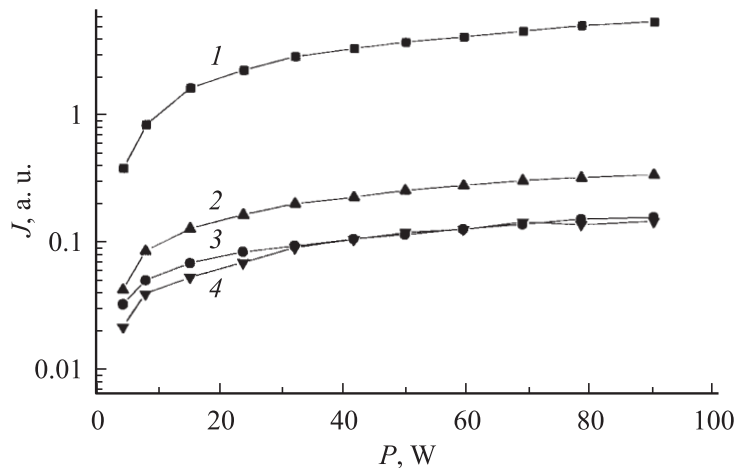


Рис. 1 (продолжение).

лампы измерялась прибором „Кварц-01“ с учетом геометрии эксперимента согласно фотометрической методике [5]. Мощность, которая вкладывалась в разряд, находилась в диапазоне 5–100 W.

ВАХ тлеющего разряда в смесях Хе и Кг с галогеноносителем  $\text{Br}_2\text{-I}_2$  имели форму, характерную для его поднормальной и нормальной стадий. Полученные нами ВАХ мало отличались от соответствующих данных для разряда в смесях Кг и Хе с парами йода [6].

Спектры излучения исследуемой лампы постоянного тока представлены на рис. 1 без учета чувствительности системы регистрации. Во всех спектрах излучения зарегистрирована интенсивная спектральная линия 206.2 nm  $\text{I}^*$ . Ширина контура этой спектральной линии составляла 0.10–0.12 nm и мало зависела от условий эксперимента. В спектре излучения разряда на смеси Кг– $\text{Br}_2$ – $\text{I}_2$  эта линия практически сливалась с узкой полосой 207 nm  $\text{KгBr}^*$  (рис. 1, c). Более половины суммарной мощности УФ излучения была сконцентрирована в континууме, который занимал спектральный диапазон 220–390 nm. Основными составляющими, которые принимали участие в формировании УФ континуума лампы, были полосы: 221 nm  $\text{XeBr}(\text{D-X})$ , 253 nm  $\text{XeI}(\text{B-X})$ ,



**Рис. 2.** Зависимость относительной интенсивности излучения спектральной линии  $206.2 \text{ nm I}^*$  (1) и максимума полос излучения молекул  $282 \text{ nm XeBr(B-X)}$  (2),  $253 \text{ nm XeI(B-X)}$  (3) и  $342 \text{ I}_2(\text{B-X})$  от мощности, вкладываемой в тлеющий разряд на смеси  $\text{P(Xe)-P(Br}_2\text{)-P(I}_2\text{)} = 800-130-(100 \dots 200) \text{ Pa}$ .

$282 \text{ nm XeBr(B-X)}$ ,  $289 \text{ nm Br}_2^*$ ,  $342 \text{ nm I}^*$  и  $386 \text{ nm IBr}^*$ . Наибольший вклад в непрерывное УФ излучение лампы наблюдался при парциальном давлении Xe в пределах  $400-800 \text{ Pa}$ , паров брома  $300-400 \text{ Pa}$  (рис. 1, *a, b*). В спектрах непрерывного УФ излучения лампы на основе смесей  $\text{Kr-Br}_2\text{-I}_2$  отсутствовало излучение молекул  $\text{XeI}^*$  и  $\text{XeBr}^*$ , поэтому большая часть мощности континуума излучалась в спектральном диапазоне  $300-390 \text{ nm}$ .

На рис. 2 приведены зависимости интенсивности излучения спектральной линии  $206.2 \text{ nm I}^*$  и максимумов основных полос для плазмы на основе смеси  $\text{Xe-Br}_2\text{-I}_2$  от электрической мощности тлеющего разряда. Максимальная скорость увеличения интенсивности излучения спектральной линии атома йода и максимумов молекулярных полос получена для поднормальной стадии разряда. При переходе в нормальную стадию зажигания разряда скорость увеличения интенсивности и амплитуды молекулярных полос замедлялась. Оптимальное парциальное

давление тяжелых инертных газов находилось в диапазоне 400–800 Па, а паров брома — в пределах 100–400 Па.

Суммарная мощность УФ-излучения лампы достигала 10–12 W при КПД (от вложенной в разряд мощности) 10–12%. Ресурс работы лампы достигал 300–400 часов.

Таким образом, показано, что лампа низкого давления с накачкой тлеющим разрядом, которая работает на смесях Хе или Кг с комплексным галогеноносителем  $\text{Br}_2\text{—I}_2$  излучает узкую спектральную линию 206.2 нм  $\text{I}^*$  и (преимущественно) континуум в спектральном диапазоне 220–390 нм (сформированный на основе полос излучения галогенидов Хе и Кг). Оптимальное парциальное давление ксенона или криптона составляло 400–800 Па, а паров брома и йода 100–400 и 100–200 Па.

## Список литературы

- [1] Ломаев М.И., Скакун В.С., Соснин Э.А., Тарасенко В.Ф. др. // УФН. 2003. Т. 173. № 2. С. 201–217.
- [2] Lomaev M.I., Tarasenko V.F. // SPIE. 2002. V. 4747. P. 390–398.
- [3] Шуаибов А.К., Грабовая И.А. // Оптика и спектроскопия. 2005. Т. 98. № 4. С. 567–571.
- [4] Свойства неорганических соединений / Справочник. Л.: Химия, 1983. С. 304.
- [5] Shuaibov A.K., Shimon L.L., Dashchenko A.I., Shevera I.V. // Journal of Physical Studies. 2001. V. 5. P. 131–138.
- [6] Шуаибов А.К., Грабовая И.А. // ЖПС. 2005. Т. 72. № 2. С. 247–250.