

Импульсно-периодический ВУФ излучатель с накачкой барьерным разрядом в смеси гелия с парами тяжелой воды (D_2O)

А.К.Шуаибов, А.И.Миня, Р.В.Грицак, З.Т.Гомоки, И.В.Шевера

Представлены результаты исследования лампы на основе барьерного разряда в смеси $He-D_2O$ при парциальных давлениях $p_{D_2O} = 0.04-0.33$ кПа и $p_{He} = 10-60$ кПа. Спектр излучения разрядной плазмы содержал главным образом полосы $A \rightarrow X$ и $C \rightarrow X$ гидроксила OD ($\lambda = 144-160$ нм). Проведена оптимизация интенсивностей этих полос излучения путем варьирования давления и состава рабочих смесей.

Ключевые слова: барьерный разряд, радикал OD , плазма, интенсивность излучения.

В настоящее время разработаны источники спонтанного ВУФ–УФ излучения молекул He_2^* ($\lambda = 172$ нм), $ArCl^*$ ($\lambda = 175$ нм), $KrCl^*$ ($\lambda = 222$ нм) и др., представляющие интерес для использования в различных оптических технологиях, фотомедицине, фотохимии и экологии [1–3]. Такие ламповые источники содержат дорогостоящие инертные газы (Xe, Kr), что увеличивает их стоимость. Менее исследованы источники ВУФ излучения на смесях гелия с парами воды. Эти источники являются экологически безопасными и содержат недорогие рабочие газы.

В работах [4, 5] были исследованы характеристики источника непрерывного излучения с накачкой продольным тлеющим разрядом на смеси $He-H_2O$. При давлении паров воды 50–300 Па и давлении гелия 1.0–8.0 кПа разряд излучал преимущественно в диапазоне 130–190 нм, что связано со спонтанным распадом радикала OH ($C \rightarrow A$, $C \rightarrow X$). Использование тлеющего разряда приводило к снижению ресурса работы лампы за счет контакта электродов с плазмой.

В работе [6] исследовалась возможность создания лампы с барьерным разрядом микросекундной длительности в смеси $Ar-H_2O$ и максимумом излучения на $\lambda = 309.2$ нм (переход $A \rightarrow X$ радикала OH). Газовая среда возбуждалась при подаче на электроды импульсного напряжения в форме меандра с амплитудой до 5 кВ.

Излучательные характеристики плазмы паров воды в спектральной области 200–1100 нм получены в [7] при возбуждении струи воды в воздухе импульсным наносекундным разрядом, но ВУФ область спектра в этой работе осталась не исследованной.

Использование паров тяжелой воды вместо обычной приводит к увеличению интенсивности УФ полосы излучения радикала OD в 1.5–2 раза по сравнению с интенсивностью излучения радикала OH [8].

Таким образом, краткий обзор работ по созданию и исследованию ламп на основе паров воды показал, что

А.К.Шуаибов, А.И.Миня, Р.В.Грицак, З.Т.Гомоки, И.В.Шевера.
Ужгородский национальный университет, Украина, 88000 Ужгород,
ул. Пидгирна, 46; e-mail: roksolanija@ukr.net

Поступила в редакцию 28 апреля 2012 г., после доработки – 14 июня 2012 г.

эмиссионные характеристики плазмы барьерного разряда в газовых смесях, содержащих H_2O (D_2O), в спектральном диапазоне 130–200 нм отсутствуют.

В настоящей работе приводятся результаты экспериментального исследования эмиссионных характеристик ВУФ излучателя на основе барьерного разряда в смеси $He-D_2O$, который возбуждался импульсами наносекундной длительности. Приведено сравнение ВУФ спектров излучения емкостного наносекундного разряда в смеси $He-D_2O$ низкого давления со спектрами барьерного разряда, полученными при более высоком давлении.

Импульсно-периодический барьерный разряд зажигался в цилиндрической колбе с внешним диаметром 26 мм, внутренним диаметром 23 мм и длиной 20 см. Диаметр внутренней кварцевой трубки был равен 14 мм, что соответствовало расстоянию между поверхностями цилиндрических барьеров 4.5 мм. Внутренний электрод был изготовлен в виде сплошного цилиндра из алюминия и установлен во внутреннюю трубку. На внешней поверхности колбы лампы располагался электрод в виде спирали из никелевого провода. Прозрачность этого электрода составляла $\sim 80\%$. Излучение разряда регистрировалось через окно из фторида лития, прикрепленное к специальному отростку разрядной колбы, который был герметично пристыкован к входной части вакуумного монохроматора.

Для зажигания барьерного разряда использовался генератор импульсов высокого напряжения с резонансной перезарядкой накопительного конденсатора емкостью 1540 пФ. Амплитуда импульсов напряжения на выходе модулятора увеличивалась с помощью импульсного кабельного трансформатора примерно в три раза и достигала 20–30 кВ при длительности отдельного выброса 5–20 нс (рис. 1, а). Амплитуда основного максимума импульса тока достигала 50 А при его длительности 20–30 нс, а частота следования импульсов f могла изменяться в пределах 40–1000 Гц. Из осциллограммы мощности (рис. 1, б) видно, что во временном диапазоне 25–45 нс в барьерный разряд вкладывается около 70% полной энергии разряда. Система регистрации излучения описана в работе [9].

Упрощенная схема энергетических уровней молекулы гидроксила приведена на рис. 2 [10]. Основной реакцией образования радикалов OD^* (OH^*) в плазме в смесях He –

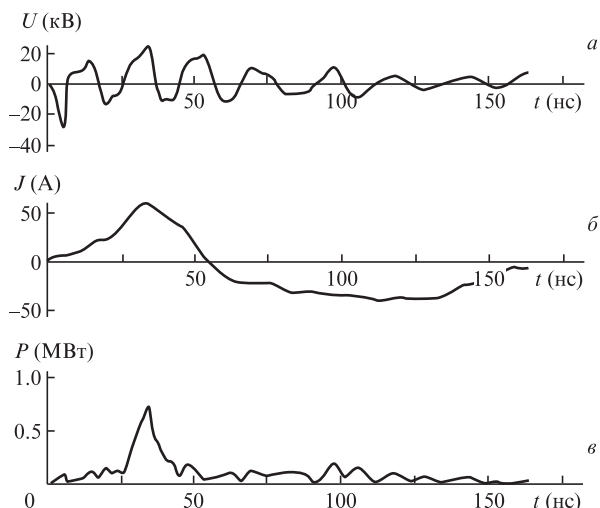


Рис.1. Осциллограммы импульсов напряжения (а), тока (б) и вкладываемой в барьерный разряд мощности (в) в лампе, излучающей в полосе С → Х радикала OD, при $p_{D_2O} = 40$ Па, $p_{He} = 20$ кПа и напряжении на рабочем конденсаторе $U = 13$ кВ ($f = 100$ Гц).

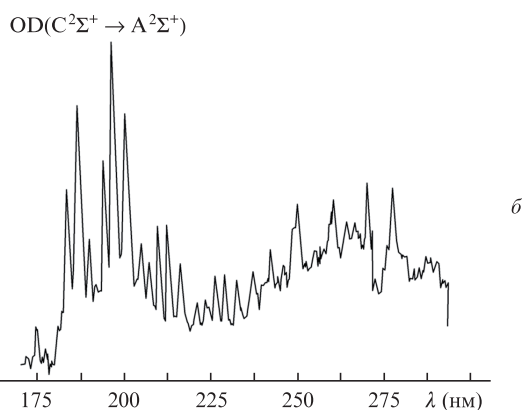
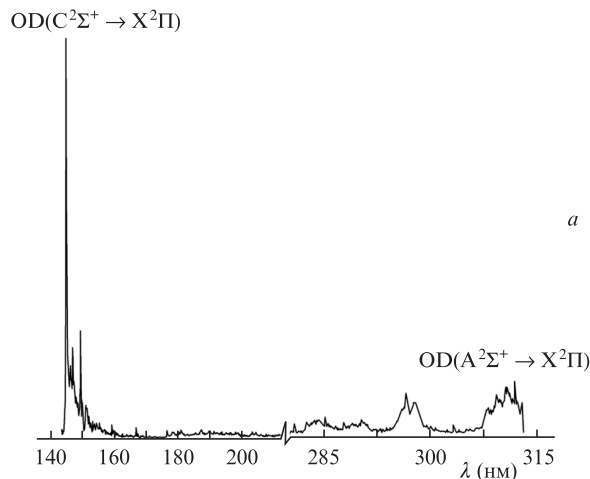


Рис.3. Спектры излучения барьерного разряда в смеси He–D₂O при $p_{He} = 20$ кПа, $p_{D_2O} = 0.33$ кПа (а) и емкостного разряда в смеси He–H₂O при $p_{He} = 2.66$ кПа, $p_{H_2O} = 0.2$ кПа (б).

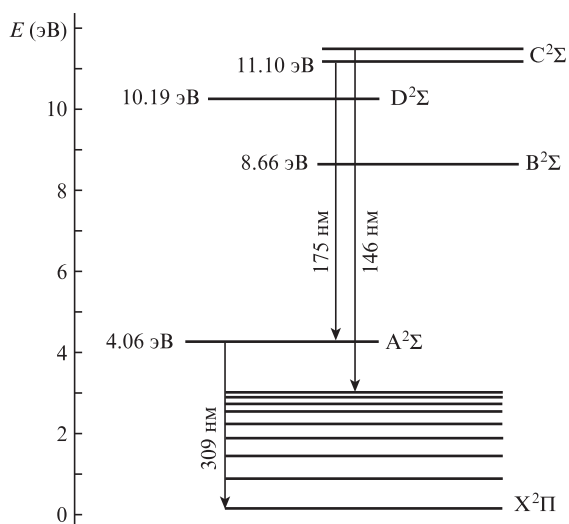
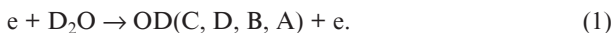


Рис.2. Схема термов радикала OD.

D₂O(H₂O) является диссоциативное образование гидроксила в возбужденных состояниях:



Время жизни радикалов OD в электронных состояниях C, D, B равно 6 нс, что намного меньше времени жизни OD(A) (770 ± 47 нс) [11, 12], поэтому возбуждение наносекундным разрядом приводит к эффективному образованию радикалов OD(C).

На рис.3,а представлен спектр излучения плазмы барьерного разряда в смеси He–D₂O. При парциальных давлениях паров тяжелой воды $p_{D_2O} = 0.04–0.33$ кПа и гелия $p_{He} = 10–60$ кПа излучение сосредоточено в основном в ВУФ диапазоне ($\lambda = 144–160$ нм). Полосы данного диапазона могут быть отнесены к переходам С → Х радикала OD [10]. Также в спектре наблюдалась УФ полоса А → Х гидроксила OD с максимумом на $\lambda = 309$ нм. Для сравнения на рис.3,б представлен спектр излучения импульс-

но-периодического емкостного разряда наносекундной длительности в смеси He–H₂O. В спектре излучения разряда данного типа наиболее интенсивными были полосы С → А радикала OH с максимумами на $\lambda = 180$ и 186 нм, которые не наблюдались в барьерном разряде.

Увеличение давления гелия в барьерном разряде по сравнению с емкостным разрядом приводит к быстрой колебательной релаксации молекул гидроксила в нижнее колебательное C²Σ⁺-состояние, которое распадается с излучением узкой полосы с максимумом на $\lambda = 144$ нм при переходе гидроксила на вышележащие колебательные уровни X²Π-состояния.

Зависимости интенсивности излучения барьерного разряда в смеси He–D₂O в диапазоне $\lambda = 144–160$ нм от парциального давления паров тяжелой воды приведены на рис.4. Наиболее интенсивное излучение радикала OD наблюдается при оптимальном давлении паров воды 0.06–0.2 кПа (рис.4,а). Оптимальное давление гелия, необходимое для получения максимальной интенсивности полос С → Х в разряде в смеси He–D₂O, составляет 20–46.6 кПа (рис.4,б).

Таким образом, исследование спектральных и оптических характеристик плазмы барьерного разряда в смеси He–D₂O показало, что при давлениях гелия 10–60 кПа и паров тяжелой воды 0.04–0.33 кПа наиболее интенсивными в спектрах излучения гидроксила OD являются полосы А → Х и С → Х. На основе проведенных исследований может быть разработана простая лампа с недороги-

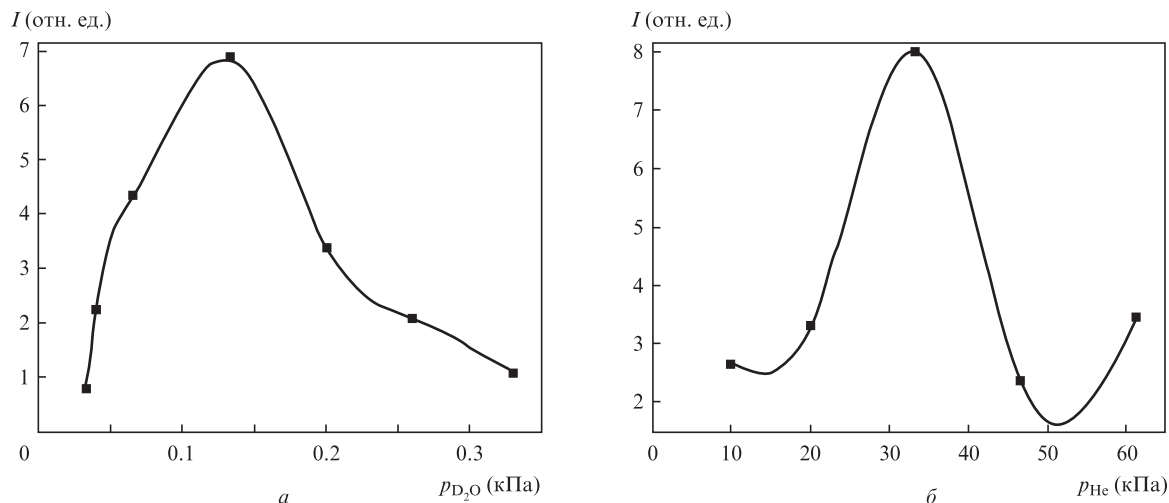


Рис.4. Зависимости интенсивности полосы излучения OD ($C \rightarrow X$) плазмы барьерного разряда в смеси He– D_2O от давления паров тяжелой воды при $p_{He} = 20$ кПа (а) и от давления гелия при $p_{D_2O} = 0.2$ кПа (б).

ми рабочими газами, излучение которой сосредоточено главным образом в полосах $A \rightarrow X$ ($\lambda = 309$ нм) и $C \rightarrow X$ ($\lambda = 144$ нм).

1. Ломаев М.И., Скакун В.С., Соснин Э.А., Тарасенко В.Ф. и др. *УФН*, **173**, 201 (2003).
2. Панченко А.Н., Тарасенко В.Ф. *Квантовая электроника*, **36**, 169 (2006).
3. Бойченко А.М., Скакун В.С., Соснин Э.А., Тарасенко В.Ф. *Квантовая электроника*, **23**, 344 (1996).
4. Шуаибов А.К., Дашенко А.И., Шевера И.В. *Квантовая электроника*, **31**, 547 (2001).
5. Шуаибов О.К., Малінін О.М. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Сер. Фізика*, **27**, 50 (2010).
6. Соснин Э.А., Ерофеев М.В., Авдеев С.М., Панченко А.Н. и др. *Квантовая электроника*, **36**, 981 (2006).
7. Кривоносенко А.В., Кривоносенко Д.А., Прокопьев В.Е. *Оптика атмосферы и океана*, **25**, 268 (2012).
8. Шуаибов А.К., Генерал А.А., Шпеник Ю.О., Жменяк Ю.В., Шевера И.В., Грицак Р.В. *ЖТФ*, **79**, 153 (2009).
9. Шуаибов А.К., Миня А.И., Малинин А.Н., Гомоки З.Т., Грицак Р.В. *ЖПС*, **78**, 927 (2011).
10. Вуль А.Я., Кидалов С.В., Миленин В.М., Тимофеев Н.А., Ходорковский М.А. *Письма в ЖТФ*, **25**, 10 (1999).
11. Кузнецова Л.А., Кузьменко Н.Е., Кузяков Ю.Я., Пластинин Ю.А. *Вероятности оптических переходов двухатомных молекул* (М.: Наука, 1980, с. 319).
12. Хьюбер К.-П., Герцберг Г. *Константы двухатомных молекул. Ч. 2* (М.: Мир, 1984, с. 368).