

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 –

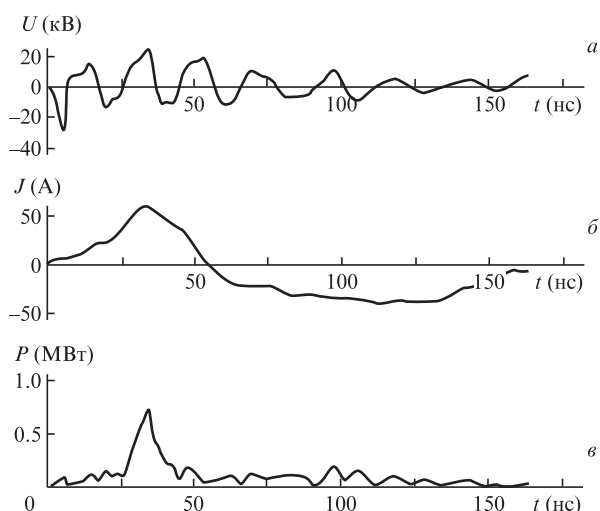


Рис.1. Осциллограммы импульсов напряжения (*a*), тока (*б*) и вкладываемой в барьерный разряд мощности (*в*) в лампе, излучающей в полосе $C \rightarrow X$ радикала OD , при $p_{D_2O} = 40$ Па, $p_{He} = 20$ кПа и напряжении на рабочем конденсаторе $U = 13$ кВ ($f = 100$ Гц).

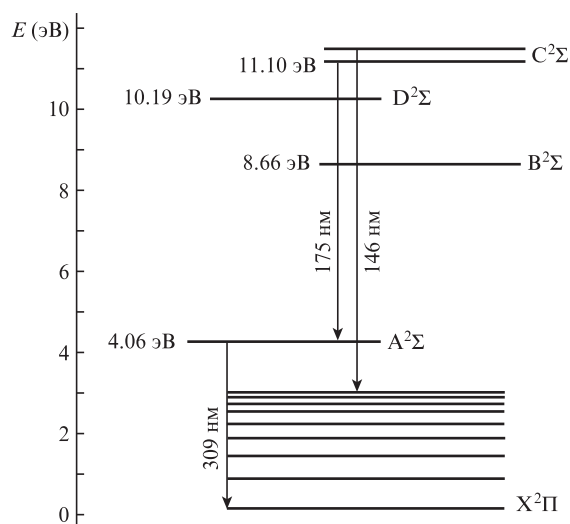
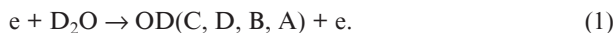


Рис.2. Схема термов радикала OD .

$D_2O(H_2O)$ 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,*a* представлен спектр излучения плазмы барьерного разряда в смеси $He-D_2O$. 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 $C \rightarrow X$ радикала OD [10]. Также в спектре наблюдалась УФ полоса $A \rightarrow X$ гидроксила OD с максимумом на $\lambda = 309$ нм. Для сравнения на рис.3,*б* представлен спектр излучения импульс-

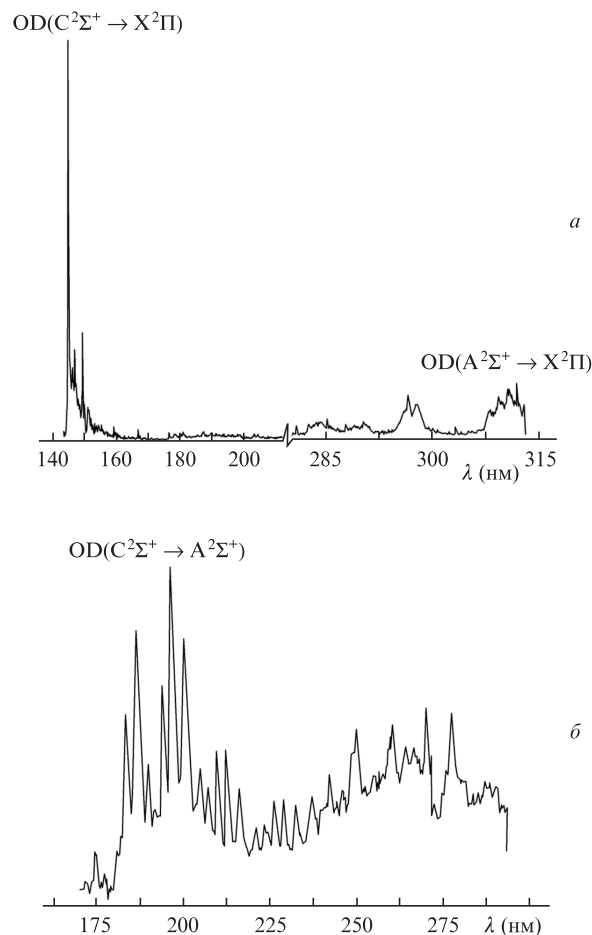


Рис.3. Спектры излучения барьерного разряда в смеси $He-D_2O$ при $p_{He} = 20$ кПа, $p_{D_2O} = 0.33$ кПа (*a*) и емкостного разряда в смеси $He-H_2O$ при $p_{He} = 2.66$ кПа, $p_{H_2O} = 0.2$ кПа (*б*).

но-периодического емкостного разряда наносекундной длительности в смеси $He-H_2O$. В спектре излучения разряда данного типа наиболее интенсивными были полосы $C \rightarrow A$ 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 $C^2\Sigma^+$ -состояние, которое распадается с излучением узкой полосы с максимумом на $\lambda = 144$ нм при переходе гидроксила на вышележащие колебательные уровни $X^2\Pi$ -состояния.

Зависимости интенсивности излучения барьерного разряда в смеси $He-D_2O$ 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,*a*). Оптимальное давление гелия, необходимое для получения максимальной интенсивности полос $C \rightarrow X$ в разряде в смеси $He-D_2O$, составляет $20-46.6$ кПа (рис.4,*б*).

Таким образом, исследование спектральных и оптических характеристик плазмы барьерного разряда в смеси $He-D_2O$ 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 $A \rightarrow X$ и $C \rightarrow X$. На основе проведенных исследований может быть разработана простая лампа с недороги-

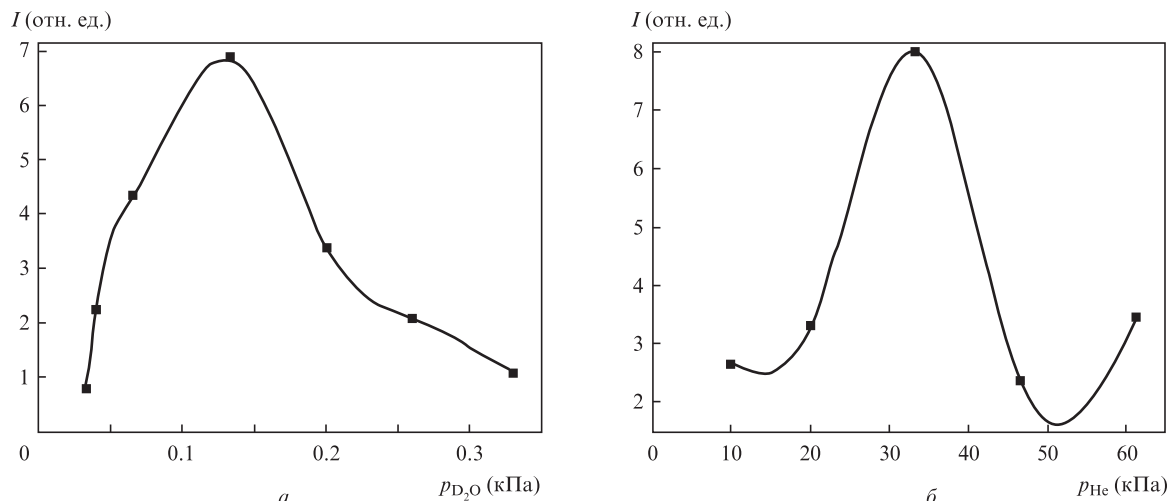


Рис.4. Зависимости интенсивности полосы излучения OD (C → X) плазмы барьерного разряда в смеси He–D₂O от давления паров тяжелой воды при $p_{He} = 20$ кПа (а) и от давления гелия при $p_{D_2O} = 0.2$ кПа (б).

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