

09

Газоразрядный источник неканцерогенного УФ-излучения на смеси гелия с парами тяжелой воды (D_2O)

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

Ужгородский национальный университет,
88000 Ужгород, Украина
e-mail: shuaibov@univ.uzhgorod.ua

(Поступило в Редакцию 27 марта 2012 г.)

Приведен спектр излучения и результаты оптимизации УФ-лампы с накачкой импульсно-периодическим барьерным разрядом, работающей на смеси $He-D_2O$. Исследованы интенсивности излучения полосы $\lambda \approx 309 \text{ nm OD}(X-A)$ в зависимости от парциального давления паров тяжелой воды, величины напряжения на рабочем конденсаторе высоковольтного модулятора и частоты следования импульсов тока.

Введение

Газоразрядные лампы, излучающие в неканцерогенном спектральном диапазоне 300–390 nm, разработаны и оптимизированы на системе электронно-колебательных полос молекулы азота ($\lambda = 337 \text{ nm}$ и др. $N_2(B-C)$) [1], 353 nm $XeF(X-B)$ [2], 342 nm $I_2(A'-D')$ [3,4], 308 nm $XeCl(X-B)$ [5] и 309 nm $OH(X-A)$ [6,7]. В работе [6] исследовались характеристики барьерной лампы на смеси $Ar-H_2O$, которая возбуждалась при помощи импульсов в виде меандра с длительностью напряжения примерно $1.5 \mu s$ и амплитудой до 5 kV.

В большинстве таких излучателей используются разряды (емкостной или барьерный), у которых плазма отделена от поверхности металлических электродов слоем диэлектрика, что способствует увеличению ресурса работы в газостатическом режиме.

Наименее агрессивными средами таких ламп являются газовые смеси на основе азота или паров воды. Излучение азотной лампы представлено в виде 6–8 полос молекулы N_2 , которые перекрывают спектральный диапазон 300–390 nm, а излучение лампы на радикалах гидроксила в неканцерогенной области длин волн сосредоточено в спектральном диапазоне 304–312 nm $OH(X-A)$. Это излучение находит применение в дерматологии [8], поэтому лампы на парах воды могут в перспективе заменить лазеры или лампы на полосе 308 nm $XeCl(X-B)$, у которых применяется дорогостоящая и агрессивная рабочая среда типа $(He)-Xe-HCl$. Для увеличения мощности излучения лампы на парах обычной воды в 1.5–2 раза в [9] вместо паров обычной воды в лампе емкостного разряда использованы пары тяжелой воды (D_2O) в смеси с гелием. Поскольку основным механизмом образования молекул гидроксила (OH^* , OD^*) является процесс диссоциативного возбуждения молекул воды электронами [10], то важным является увеличение температуры электронов в плазме. По сравнению с чистыми парами воды разряд в смеси $He-H_2O = 9-1$ характеризуется более высокой температурой электронов (примерно в 3 раза) [11]. Поэтому представляет интерес исследование лампы барьерного

разряда на смеси $He-D_2O$, которая возбуждается импульсами субмикросекундной длительности.

В настоящей работе приводятся результаты исследования неканцерогенного УФ-излучателя на смеси $He-D_2O$ с накачкой импульсно-периодическим барьерным разрядом субмикросекундной длительности.

Условия эксперимента

Зажигание барьерного разряда проводилось в цилиндрической колбе, изготовленной из кварца марки КУ-1. Длина цилиндрической разрядной колбы составляла 20 см, ее внешний диаметр равнялся 24 mm, а внешний диаметр внутренней цилиндрической трубки — 12 mm. Расстояние между цилиндрическими барьерными поверхностями равнялось примерно 4.5 mm. На внешнюю колбу лампы был установлен электрод в виде спирали из никелевой проволоки, который имел прозрачность 70%. Внутренний электрод был изготовлен в виде цилиндра из алюминия и устанавливался во внутренней кварцевой трубке лампы.

Барьерный разряд возбуждался с использованием высоковольтного генератора биполярных импульсов амплитудой до $\pm 20-25 \text{ kV}$, тока амплитудой в импульсе до 150 А и частотой следования импульсов в диапазоне $\Delta f = 40-1000 \text{ Hz}$. Длительность импульсов тока не превышает 30–40 ns.

Излучение плазмы анализировалось в спектральном диапазоне 200–400 nm с использованием монохроматора МДР-2 и фотоумножителя ФЭУ-106. Система регистрации излучения была прокалибрована по относительной спектральной чувствительности в диапазоне 200–400 nm с использованием дейтериевой лампы. Барьерный разряд зажигался в диффузном режиме, а его филаментарная стадия не проявлялась.

Эмиссионные характеристики УФ-излучателя

Спектр излучения УФ-лампы импульсно-периодического барьерного разряда на смеси $He-D_2O$ представ-

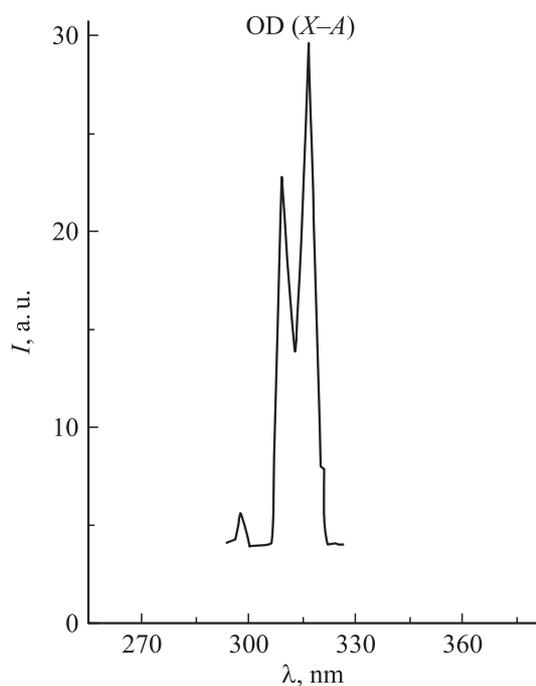


Рис. 1. Спектр излучения импульсно-периодической двухбарьерной лампы на основе смеси $p(\text{He})-p(\text{D}_2\text{O}) = 20-0.133$ кПа.

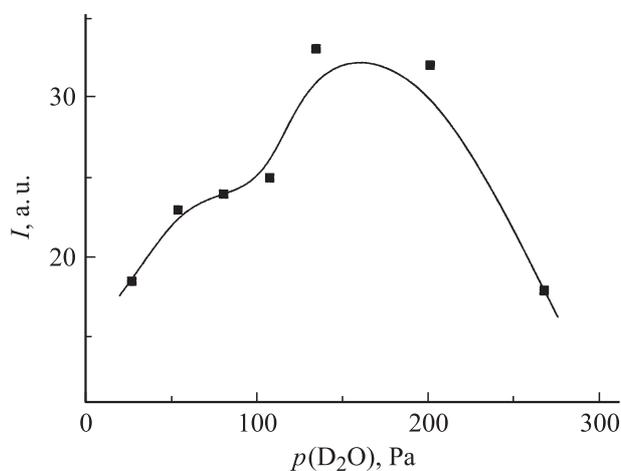


Рис. 2. Зависимость интенсивности излучения полосы гидроксила с максимумом при 308.7 нм OD(X-A) от парциального давления паров D_2O при $p(\text{He}) = 20$ кПа (рабочая смесь He-D₂O).

лен на рис. 1. В спектре излучения разряда прева-лировала полоса гидроксила OD(X-A) с максимумом при 308.7 нм.

На рис. 2 приведена зависимость интенсивности излучения барьерного разряда для полосы с максимумом 308.7 нм от парциального давления паров тяжелой воды. Максимум интенсивности полосы OD(X-A) наблюдался при давлении паров D_2O в диапазоне 130–200 Па. Увеличение парциального давления паров D_2O приво-

дило к уменьшению количества быстрых электронов в разряде и спаду константы скорости диссоциативного возбуждения радикалов OD(A). При этом увеличиваются потери мощности разряда на колебательное возбуждение молекул D_2O и увеличивался вклад тушения OD(A) молекулами D_2O .

Зависимость интенсивности излучения полосы OD(X-A) от величины парциального давления гелия при постоянном парциальном давлении паров D_2O (при условиях, близких к условиям получения зависимости на рис. 1) показала, что оптимальное парциальное давление гелия в смеси находится в диапазоне 15–25 кПа.

Для полосы OD(X-A) ($\lambda = 307.8$ нм) проведены исследования зависимостей интенсивности излучения от величины напряжения на высоковольтном модуляторе при $f = 80$ Гц и частоты следования импульсов тока при зарядном напряжении $U = 13$ кВ в лампе на смеси $p(\text{He})-p(\text{D}_2\text{O})$ (рис. 3).

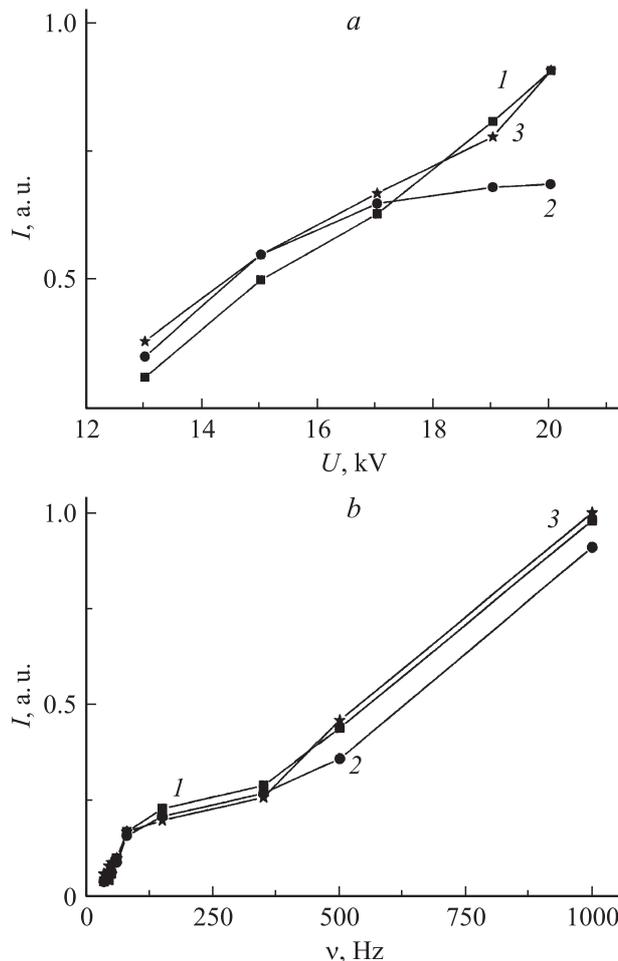


Рис. 3. Зависимости интенсивности полосы гидроксила OD ($\lambda = 308.7$ нм) от величины напряжения на высоковольтном модуляторе при $f = 80$ Гц (a) и частоты следования импульсов тока при зарядном напряжении $U = 13$ кВ (b) в лампе на смеси $p(\text{He})-p(\text{D}_2\text{O})$ при $p(\text{He}) = 20$ кПа и разных давлениях паров D_2O : a — (1) 0.08 кПа, (2) 0.133 кПа, (3) 0.2 кПа; b — (1) 0.053 кПа, (2) 0.133 кПа, (3) 0.2 кПа.

Из зависимости интенсивности излучения полосы с максимумом 308.7 nm от величины напряжения на высоковольтном модуляторе следует, что наибольшая интенсивность излучения в диапазоне зарядного напряжения 13–18 kV наблюдается для смеси $p(\text{He})-p(\text{D}_2\text{O}) = 20-0.2$ kPa (рис. 3, а). Для смеси $p(\text{He})-p(\text{D}_2\text{O}) = 20-0.133$ kPa зависимость интенсивности от напряжения имела форму, близкую к параболе.

Результаты оптимизации интенсивности излучения полосы OD в зависимости от частоты следования импульсов тока для смеси He–D₂O показали, что резкий рост интенсивности полос наблюдается при частотах $\Delta f = 500-1000$ Hz (рис. 3, б) и эти зависимости были близкими к линейным. Насыщение зависимостей интенсивности полос излучения OD не наблюдалось.

Заключение

Сравнение интенсивности излучения полосы OD(X–A) для оптимальной смеси He–D₂O с такой же смесью на основе паров обычной воды показало, что ее интенсивность увеличивается примерно в 1.5 раза. Результаты исследования эмиссионных характеристик УФ-лампы с накачкой импульсно-периодическим барьерным разрядом, площадь рабочей поверхности которого составляла ≈ 360 cm², показали, что в данном случае излучение сосредоточено преимущественно в полосе с максимумом 308.7 nm OD(X–A). Оптимальное значение давления паров тяжелой воды, которое необходимо для максимальной интенсивности излучения, находится в диапазоне 130–200 Pa, а оптимальное давление газа — в диапазоне 15–25 kPa. Зависимости интенсивности излучения полосы УФ-излучения от величины напряжения на высоковольтном модуляторе и частоты следования импульсов тока были близки к линейным, что указывает на возможность увеличения средней мощности УФ-излучения при частотах $f > 1$ kHz.

Список литературы

- [1] Авдеев С.М., Э.С. Соснин // Опт. и спектр. 2009. Т. 106. № 1. С. 14–20.
- [2] Пикулев А.А., Цветков В.М. // ЖТФ. 2008. Т. 78. Вып. 10. С. 83–86.
- [3] Шуаибов А.К., Грабовая И.А., Гомоки З.Т., Калужная А.Г., Щедрин А.И. // ЖТФ. 2009. Т. 79. Вып. 12. С. 97–102.
- [4] Шуаибов А.К., Миня А.И., Гомоки З.Т., Шевера И.В. // ЖТФ. 2011. Т. 81. Вып. 3. С. 40–44.
- [5] Ломаев М.И., Скакун В.С., Соснин Э.А., Тарасенко В.Ф., Шитц Д.В., Ерофеев М.В. // УФН. 2003. Т. 173. № 2. С. 201–217.
- [6] Соснин Э.А., Ерофеев М.В., Авдеев С.М., Панченко А.Н., Панарин В.А., Скакун В.С., Тарасенко В.Ф., Шитц Д.В. // Квант. электрон. 2006. Т. 36. № 10. С. 981–983.
- [7] Шуаибов А.К., Миня А.И., Гомоки З.Т., Шевера И.В., Грицак Р.В. // Письма в ЖТФ. 2011. Т. 37. Вып. 3. С. 64–67.
- [8] Шуаибов О.К., Шевера И.В., Шимон Л.Л., Соснин Е.А. Сучасні джерела ультрафіолетового випромінювання: розробка та застосування. Ужгород–Томськ: Вид. УжНУ, 2006. 224 с.
- [9] Шуаибов А.К., Генерал А.А., Шпенник Ю.О., Жменяк Ю.В., Шевера И.В., Грицак Р.В. // ЖТФ. 2009. Т. 79. Вып. 8. С. 153–155.
- [10] Shuaibov A.K., Malinin A.N. // Proc. 12th Int. Symp. on the Science and Technology of Light Sources and 3rd Int. Conference on White LEDs and Solid State Lighting. 2010. Eindhoven. NETHERLAND. P. 119.
- [11] Малинина А.А., Генерал А.А., Грицак Р.В. XVI Всерос. науч. конф. студентов-физиков и молодых ученых. Матер. конф. информ. бюл. Волгоград, 2010. С. 264–265.