

02:04:07

Безртутный излучатель с накачкой импульсно-периодическим барьерным разрядом на молекулах фторида криптона

© А.К. Шуайбов, З.Т. Гомоки, А.И. Миня, И.В. Шевера, Я.Ю. Джупина

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

(Поступило в Редакцию 10 июня 2011 г.)

Приведены результаты исследования эмиссионных характеристик импульсно-периодического излучателя барьерного разряда короткой длительности, работающего на полосе $\lambda = 248 \text{ nm}$ KrF(X-B) . Рабочей средой ультрафиолетовой лампы были малоагрессивные смеси криптона и элегаза при общем давлении в диапазоне 1–50 кПа и парциальном давлении элегаза 0.1–0.4 кПа. Приведены результаты исследования спектральных характеристик плазмы и оптимизации яркости излучения полосы 248 nm KrF(X-B) в зависимости от состава рабочей смеси, величины напряжения накачки и частоты следования импульсов. Выполнена оценка средней мощности ультрафиолетового излучения с боковой поверхности цилиндрической лампы.

Введение

Наиболее широко распространенным бактерицидным источником излучения являются в настоящее время лампы на основе паров ртути, излучение которых на резонансной спектральной линии атома ртути (254 nm) служит основой многих оптических технологий в фотомедицине, фотобиологии, фотохимии и легкой промышленности [1,2]. Но при утилизации большого количества отработавших свой ресурс газоразрядных трубок, заполненных парами ртути, возникают проблемы экологического и технологического характера. Поэтому актуальным является поиск и оптимизация новых рабочих сред для ультрафиолетовых (УФ) излучателей с длиной волны, близкой к $\lambda \approx 250 \text{ nm}$. В этом спектральном диапазоне, в котором находится основной максимум поглощения молекул ДНК и ряда других биомолекул, наиболее эффективной рабочей средой являются молекулы KrF(B) , распадающиеся с излучением полосы 248 nm. Использование чистого фтора в рабочих смесях типа $(\text{He, Ar})\text{-Kr-F}_2$ для образования эксиплексных молекул KrF(B,D) нежелательно из-за высокой агрессивности фтора, что приводит к низкому ресурсу работы излучателей с открытыми электродами и потере прозрачности кварцевой колбы в лампах барьерного разряда. Более перспективным с точки зрения ресурса работы лампы может оказаться применение малоагрессивного фторносителя, например, элегаза или различных фреонов [3,4], хотя в соответствующих эксиплексных лазерах и лампах при этом наблюдалось уменьшение мощности излучения примерно в 5–10 раз.

Для увеличения ресурса работы ламп на фторидах тяжелых инертных газов необходимо устранение контакта открытых электродов разряда с химически активной плазмой, что может быть достигнуто в барьерном разряде с двумя или тремя диэлектрическими барьерами. Оптимизация работы импульсно-периодического излучателя повышенной частоты ($f \approx 100 \text{ kHz}$) с двумя

плоскими барьерами проводилась на смесях Xe-SF_6 и Xe-NF_3 с целью разработки неканцерогенной лампы на основе полосы излучения 354 nm XeF(X-B) [5,6].

Применение молекул элегаза оказалось успешным также в лампе на монобромиде ртути, которая является эффективным излучателем в биологически активной зеленой области длин волн ($\lambda \approx 502 \text{ nm}$). Использование рабочей смеси $\text{He-SF}_6\text{-HgBr}_2$ в однобарьерной лампе позволило примерно на порядок увеличить мощность излучения полосы бромиде ртути по сравнению с излучением лампы на смеси He-HgBr_2 [7].

Излучатели, которые могли бы стать альтернативными лампам на парах ртути и использоваться для стерилизации медицинских инструментов, консервации продуктов питания, очистки воды и воздуха, у которых приемлемая мощность излучения в спектральной области 245–255 nm и достаточно большой ресурс работы, а также неагрессивная рабочая среда изучены в настоящее время недостаточно полно.

В настоящей работе приводятся результаты исследования эмиссионных характеристик излучателя KrF(X-B) импульсно-периодического барьерного разряда и результаты его оптимизации в зависимости от параметров рабочей смеси и системы питания разряда.

Техника и условия эксперимента

Импульсно-периодический разряд зажигался в лампе с тремя диэлектрическими барьерами из кварца марки УФ. Лампа была изготовлена из трех коаксиальных трубок, которые имели внешние диаметры 14, 27 и 37 mm и соответственно длины — 50, 40 и 30 см. Толщина стенок разрядной колбы составляла 1.5–2.0 mm. На внешней стороне лампы устанавливался спиралевидный электрод из никелевого провода, который имел прозрачность $\sim 85\%$. Во внутренней трубке был установлен сплошной электрод из дюралюминия, на который подавался импульс высокого напряжения. Оба объема лампы

заполнялись одной и той же рабочей смесью Kr-SF₆. В дальнейшем предполагается использовать эту лампу для детальной оптимизации одновременного излучения полос 248 KrF(X-B) и 222 nm KrCl(X-B). При этом обе ячейки лампы будут заправляться независимо разными смесями (например, Kr-SF₆ и Kr-CCl₄).

Излучение разряда анализировалось с использованием монохроматора МДР-2 с дифракционной решеткой на 1200 str/mm и фотоумножителя ФЭУ-106. За яркость полосы принималась площадь под соответствующей кривой в спектре излучения разряда, который был приведен к относительной спектральной чувствительности системы регистрации.

Барьерный разряд зажигался при помощи источника импульсного двуполярного напряжения длительностью ~ 20 ns и амплитудой одного знака в пределах 10–40 kV. Частота следования импульсов могла варьировать в диапазоне 35–1000 Hz. Лампа в процессе работы охлаждалась потоком воздуха от вентилятора. Более детально установка по исследованию барьерного разряда в импульсно-периодических эксиплексных лампах описана в работах [8,9].

Импульсно-периодический разряд при условиях настоящих экспериментов существовал в пространственно однородной объемной стадии, а присутствия филаментов не наблюдалось.

Эмиссионные характеристики эксиплексного излучателя

Проведены исследования спектральных характеристик в УФ-диапазоне спектра и зависимостей мощности излучения полосы 248 nm KrF(X-B) от зарядного напряжения высоковольтного модулятора и частоты следования импульсов.

В спектре излучения разряда наблюдалась в основном полоса молекулы KrF(X-B) с $\lambda = 248$ nm (рис. 1). Ее ширина на полувысоте составляла 5–7 nm.

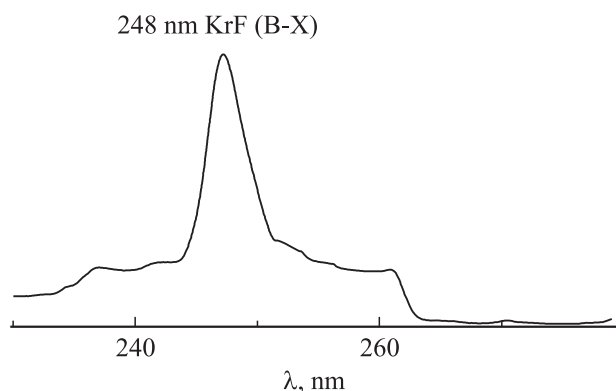


Рис. 1. Спектр излучения эксиплексной лампы барьерного разряда на основе смеси $p(\text{Kr})-p(\text{SF}_6) = (20-0.25)$ kPa ($U = 13$ kV; $f = 200$ Hz).

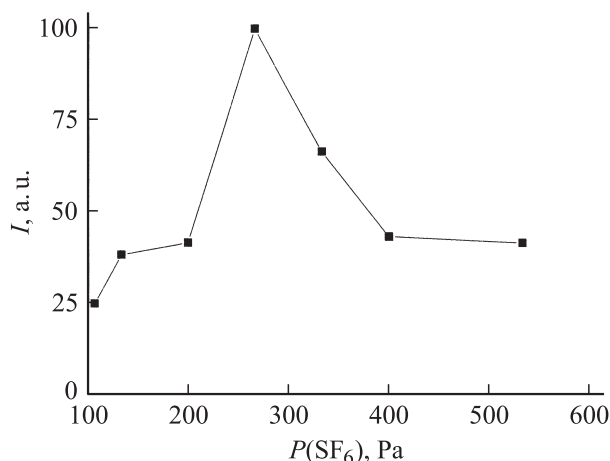


Рис. 2. Зависимость яркости полосы 248 nm KrF(X-B) от величины парциального давления элегаза при $p(\text{Kr}) = 21.3$ kPa.

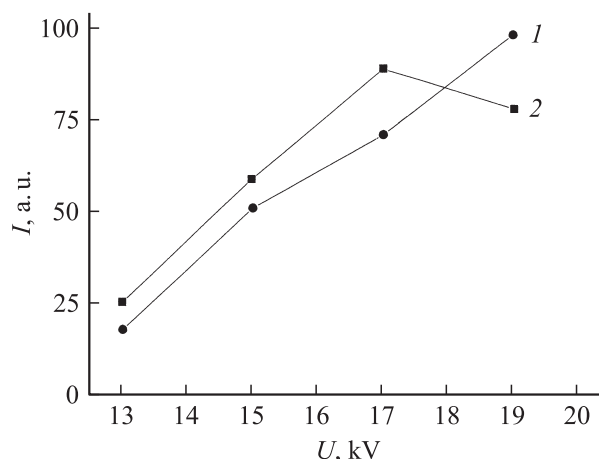


Рис. 3. Зависимости яркости излучения импульсно-периодической лампы на полосе 248 nm KrF(X-B) от величины напряжения заряда рабочей емкости высоковольтного модулятора; рабочая смесь Kr-SF₆ при $p(\text{Kr}) = 21.3$ kPa и $p(\text{SF}_6) = 0.110$ (1) и 0.270 (2) kPa ($f = 200$ Hz).

Исследование зависимости яркости излучения барьерного разряда на полосе с максимумом при 248 nm от величины парциального давления элегаза при парциальном давлении криптона, близком к оптимальному, показало, что наиболее оптимальной является смесь $p(\text{Kr}) - p(\text{SF}_6) = (20-40)-(0.25-0.27)$ kPa (рис. 2).

На рис. 3 приведена зависимость яркости излучения полосы 248 nm KrF(X-B) от величины зарядного напряжения рабочей емкости высоковольтного модулятора, а на рис. 4 — соответствующие зависимости от частоты следования импульсов для барьерного разряда в смесях с разным парциальным давлением элегаза. Парциальное давление криптона было одинаковым и примерно равным оптимальному для образования молекул фторида криптона в исследуемом разряде.

При пониженном содержании элегаза насыщение роста мощности излучения эксиплексной молекулы не

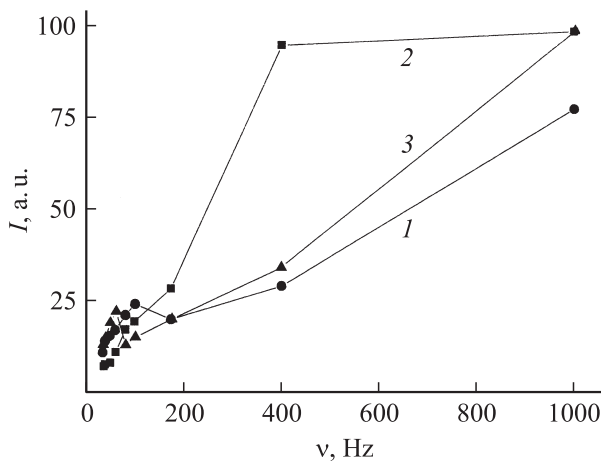
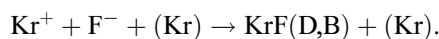


Рис. 4. Зависимости яркости излучения эксиплексной лампы на полосе 248 nm KrF(X-B) от частоты следования импульсов накачки; рабочая смесь Kr-SF₆ при $p(\text{Kr}) = 21.3$ кПа и $p(\text{SF}_6) = 0.110$ (1), 0.270 (2) и 400 (3) кПа.

наблюдалось ни при увеличении зарядного напряжения до $U_0 = 19$ кВ (что соответствует амплитудам импульса напряжения, приложенным к лампе, большим примерно в 3 раза по сравнению с U_0), ни с увеличением частоты следования импульсов в диапазоне 35–1000 Hz. При этом в диапазоне частот $f = 35$ –200 Hz на зависимости мощности от частоты проявлялись особенности, связанные, вероятно, с механизмом деструкции молекул элегаза в мощном разряде наносекундной длительности. При увеличении парциального давления элегаза зависимости яркости полосы фторида криптона от величины зарядного напряжения и частоты следования были близкими к линейным, но общая яркость излучения разряда уменьшалась.

Особенностью образования фторидов тяжелых инертных газов в импульсных разрядах разного типа, которые поджигались в смесях вида (Xe, Kr, Ar)–SF₆, является то, что скорость „гарпунной“ реакции в такой плазменной среде равна практически нулю, а основной является реакция „ион-ионной“ рекомбинации



Скорее всего, особенности образования молекул фторида криптона в различных частотных диапазонах обусловлены механизмами образования и гибели отрицательных ионов фтора, а также их диффузией в разрядном промежутке. При увеличении парциального давления элегаза в смеси в 2–2.5 раза частотная зависимость мощности излучения приходит в насыщение при $f > 400$ Hz, что, вероятно, связано с образованием соединений типа SF_{*n*} ($n \leq 5$), которые принимают участие в тушении возбужденных состояний молекулы KrF или влияют на эффективность образования отрицательных ионов фтора. Наличие максимума в зависимости мощности от напряжения обусловлено видом зависимости

эффективных сечений и констант скорости образования отрицательных ионов фтора от параметра E/N .

Выводы

Исследование импульсно-периодического излучателя на полосе 248 nm молекулы фторида криптона и неагрессивной рабочей средой показало, что наиболее оптимальной является рабочая смесь $p(\text{Kr})-p(\text{SF}_6) = (20-40)-(0.25-0.27)$ кПа; средняя мощность излучения лампы с боковой поверхности достигает 0.5 W и может быть увеличена при возрастании частоты следования импульсов тока накачки (при $f > 1$ kHz); оптимальная величина зарядного напряжения находилась в диапазоне 16–18 kV для оптимальной рабочей смеси.

Список литературы

- [1] 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.
- [2] Шуайбов О.К., Шевера И.В., Шимон Л.Л., Соснин Е.А. // Сучасні джерела ультрафіолетового випромінювання: розробка і застосування. Ужгород–Томськ, Видавництво УжНУ „Говерла“.
- [3] Шуайбов А.К. // ЖТФ. 1998. Т. 68. Вып. 12. С. 64–72.
- [4] Шуайбов А.К. // ТВТ. 1999. Т. 37. № 4. С. 676–672.
- [5] Пикулев А.А., Цветков В.М. // ЖТФ. 2007. Т. 77. Вып. 9. С. 22–27.
- [6] Пикулев А.А., Цветков В.М. // ЖТФ. 2008. Т. 78. Вып. 10. С. 83–86.
- [7] Малинина А.А., Шуайбов А.К. // Опт. и спектр. 2011. Т. 110. № 2. С. 218–227.
- [8] Гомоки З.Т., Миня О.И., Шевера И.В., Шимон Л.Л., Шуайбов О.К. // Науковий вісник. Ужгород. унів. Сер. Фізика. 2010. № 28. С. 91–95.
- [9] Шуайбов А.К., Миня А.И., Гомоки З.Т., Шевера И.В. // ЖТФ. 2011. Т. 81. Вып. 3. С. 40–44.