

02;03;07;04

Источник двухполосного излучения на основе трехбарьерной KrCl—XeBr-эксилампы

© С.М. Авдеев, Э.А. Соснин, В.С. Скакун,
В.Ф. Тарасенко, Д.В. Шитц

Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск
E-mail: semiavd@sibmail.com

Поступило в Редакцию 10 января 2008 г.

Создана и экспериментально исследована коаксиальная эксилампа с тремя барьерами и двумя несообщающимися объемами, промежутки в которых установлены последовательно. Спектр излучения эксилампы содержит сравнимые по интенсивности узкие полосы излучения молекул KrCl⁺ и XeBr* с максимумами на 222 и 282 nm соответственно, а средняя мощность излучения достигает 1.2 W.

PACS: 52.80.Tn, 42.72.Bj, 32.30.Jc

Эксилампы барьерного разряда — источники интенсивного спонтанного ультрафиолетового и вакуумного ультрафиолетового излучения на основе эксимерных и эксиплексных молекул широко изучаются на протяжении последних двух десятилетий [1–5]. Основное отличие эксиламп барьерного разряда от эксиламп тлеющего разряда, люминесцентных источников спонтанного излучения УФ-диапазона — узкополосный спектр излучения. До 80% общей мощности излучения может быть сосредоточено в относительно узкой (несколько nm на полувысоте для эксиплексных молекул) полосе излучения соответствующей молекулы.

Другим преимуществом эксиламп барьерного разряда является возможность масштабирования и задания произвольной геометрии излучающей поверхности. Основные конструкции эксиламп барьерного разряда, получившие на сегодняшний день распространение, представлены в [3].

Для обеспечения большего срока службы и стабильности спектрально-энергетических характеристик эксиламп, содержащих добавки галогена (которые, как известно, химически активны), широкое распространение получила двухбарьерная конструкция. Наличие двух диэлектрических барьеров предотвращает взаимодействие галогенов с металлическими электродами, увеличивает срок службы и исключает распыление электродов в разряде. Такие эксилампы относятся к классу „безэлектродных“ газоразрядных источников излучения.

Для получения многополосного спектра излучения эксиплексных молекул обычно используют многокомпонентные газовые смеси. Например, в [1] исследовалась двухбарьерная планарная эксилампа, заполняемая бинарными, тройными и более сложными смесями. В многокомпонентных смесях происходит конкуренция между кинетическими процессами (реакции перезарядки, замещения одного инертного газа другим) в плазме, что затрудняет управление спектральным составом излучения таких эксиламп. Следствием этого также является снижение эффективности излучения многокомпонентной системы в целом.

Целью настоящей работы являлось создание и экспериментальное исследование коаксиальной эксилампы с тремя барьерами и двумя несообщающимися объемами, промежутки в которых установлены последовательно. Предполагалось, что созданная эксилампа будет обладать указанными выше преимуществами двухбарьерных эксиламп и дополнительно обеспечит спектральные характеристики излучения, которые в одно- и двухбарьерных эксилампах недостижимы. Создав такой источник света, можно рассчитывать на его востребованность в целом ряде научных экспериментов, например, в фотохимии и фотобиологии, там, где требуется одновременное действие нескольких узких полос излучения на облучаемый объект. Стоит отметить, что первый опыт исследований четырехбарьерной эксилампы, заполненной парами йода и инертными газами, был получен в ГОИ им. С.И. Вавилова в 1999 г. Г.А. Волковой. Однако результаты этих исследований не были опубликованы.

На рис. 1 представлена конструкция трехбарьерной эксилампы. Эксилампа изготовлена из коаксиальных кварцевых трубок (Fused

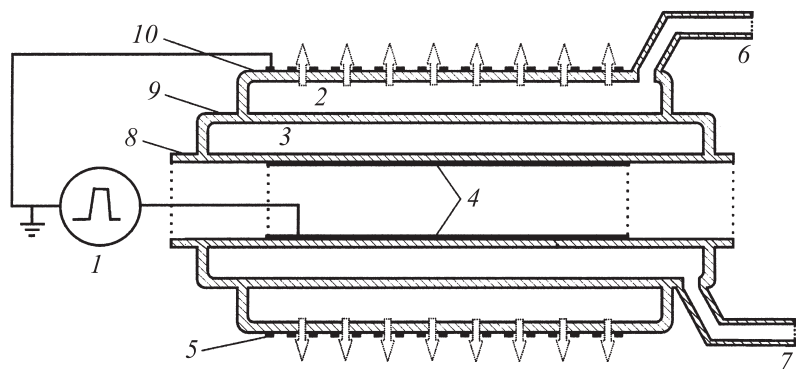


Рис. 1. Конструкция эксилампы с тремя барьерами: 1 — источник питания; 2, 3 — разрядный промежуток; 4 — сплошной электрод; 5 — перфорированный электрод; 6, 7 — патрубки для напуска рабочих смесей; 8, 9, 10 — кварцевые трубки (стенки излучателя). Стрелками показано направление выхода излучения.

Quartz, Type 214, General Electric) диаметром 2, 3 и 4.3 см. Длина и площадь излучающей поверхности составили 9 см и 121.5 cm^2 , величины разрядных промежутков 2 и 3 составили 5.5 и 4 мм соответственно. Сплошной электрод 4, размещенный во внутренней трубке 8, был изготовлен из алюминиево-магниево-фольги. Внешний электрод 5 имел форму спирали и пропускание 86%. Возбуждение газовой среды в промежутках 2 и 3 между трубками 8, 9 и 10 осуществлялось при подаче на электроды импульсного напряжения в форме меандра с амплитудой до 5.5 кВ и длительностью $1.6 \mu\text{s}$ на полувисоте. Частота следования импульсов напряжения 80 кГц. В процессе работы колба внешняя и внутренние стенки 8, 10 охлаждались потоком воздуха.

В экспериментах варьировались давление паров галогена и добавляемого к ним инертного газа, измерялись мощность и спектры излучения. Мощность излучения лампы определялась фотоприемником HAMAMATSU H8025-222 с известной спектральной чувствительностью. Спектр излучения разряда регистрировался с помощью спектрометра HR4000 (Ocean Optics B.V.), перекрывавшего диапазон 200–310 нм, с решеткой 2400 line/mm.

Полости 2 и 3 колбы излучателя (рис. 1) через патрубки 6 и 7 заполнялись газовыми смесями Kr–Cl₂ и Xe–Br₂ соответственно. Долевое соотношение концентраций инертного газа в смесях варьировались

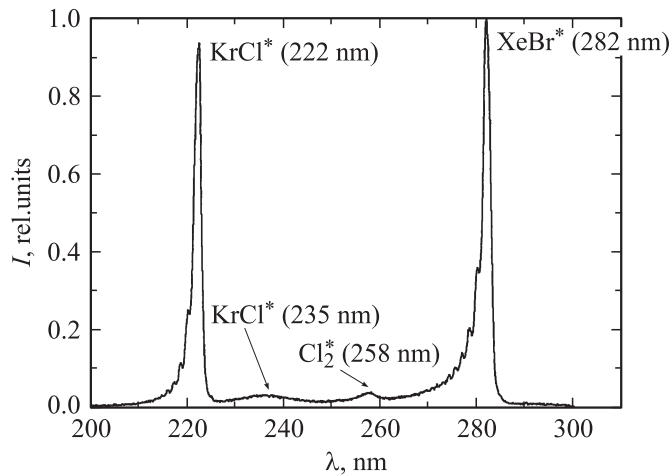


Рис. 2. Спектр излучения KrCl–XeBr-трехбарьерной эксилампы. Состав газовых смесей Kr/Cl₂ = 200/1 и Xe/Br₂ = 200/1, а общее давление 141 и 120 Торг соответственно.

нами в широких пределах Kr/Cl₂ = 100–400/1 и Xe/Br₂ = 100–400/1. Для смесей Kr/Cl₂ = 200/1 и Xe/Br₂ = 200/1 спектр излучения эксилампы представляет собой сопоставимые по интенсивности полосы В → Х молекул KrCl* (222 nm) и XeBr* (282 nm) (рис. 2). Кроме того, в спектре присутствуют слабые полосы D → А перехода KrCl* (235 nm) и D' → А' перехода Cl₂* (258 nm).

Для трехбарьерной эксилампы, так же как и для двух(одно)-барьерных эксиламп, характерна филаментарная форма горения разряда, когда разрядный промежуток заполнен множеством микрозарядов в виде конусов, вершины которых соединены светящимся каналом (филаментом), а в основания конусов примыкают к стенкам колбы. В филаментарном режиме реализуются наибольшие эффективность и мощность излучения эксиламп барьерного разряда [6]. В трехбарьерной конструкции форма разряда имеет следующую особенность: видно, что микрозаряды 1 в газоразрядных промежутках 2 и 3 „привязаны“ друг к другу через основания конусов, примыкающих к внутренней стенке колбы 9 (рис. 3). Объяснить подобное расположение микрозарядов в эксилампе можно следующим образом. При развитии пробоя в одном из промежутков сопротивление плазмы в области микрозаряда и

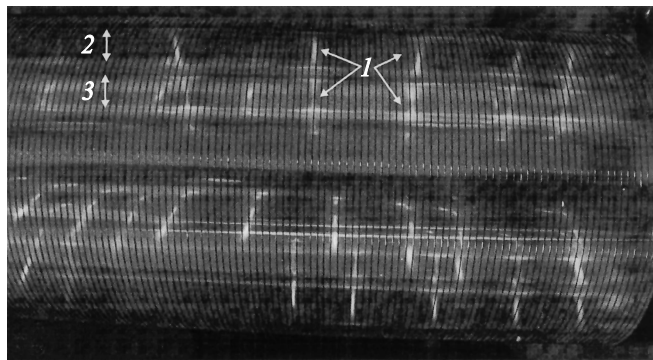


Рис. 3. Фотография отпаянной KrCl–XeBr-трехбарьерной эксилампы в первый момент включения: 1 — микроразряды (филаменты), 2, 3 — разрядные промежутки.

соответственно напряжение на промежутке в этой области падает и вследствие этого возрастает на другом промежутке. Поэтому напротив микроразрядов, возникших в промежутке 3, начинают формироваться микроразряды в промежутке 2 и наоборот (рис. 3).

В первый момент времени после включения эксилампы плотность мощности и средняя мощность излучения составляли 10.5 mW/cm^2 и 1.2 W соответственно. Вышеописанная форма разряда существует в трехбарьерной эксилампе лишь в течение нескольких минут. За это время количество микроразрядов сокращается, а свечение плазмы разряда становится практически однородным и филаменты слабо заметны (рис. 3, справа). За это же время мощность излучения эксилампы падает с 10.5 до 7 mW/cm^2 и стабилизируется. В наших экспериментах время стабилизации разряда и мощности излучения составило 5 min .

Известно, что режим охлаждения эксилампы может существенно менять ее энергетические характеристики [7]. В трехбарьерной эксилампе имеет место повышенный нагрев внутренней стенки 9 (рис. 1), которая, в отличие от внешних кварцевых стенок 8 и 10, нагревается сильнее. Мы предполагаем, что это приводит к перегреву рабочей смеси и изменению характера разряда в эксилампе, который становится более однородным, и происходит 30% снижение мощности излучения. При повторном включении полностью охлажденной колбы излучателя вновь формируются микроразряды, а величина мощности излучения восстанавливается.

Таким образом, впервые экспериментально исследована коаксиальная КгСl–ХеВг-эксилампа с тремя барьерами и двумя независимыми объемами, имеющими общую стенку-барьер. Спектр излучения эксилампы содержит сравнимые по интенсивности полосы излучения молекул КгСl* и ХеВг* с максимумами на 222 и 282 nm соответственно. При кратковременных включениях мощность эксиламп составляет ~ 1.2 W, а после 5 min работы снижается до 0.8 W и в дальнейшем не меняется. Установлено, что изменение средней мощности излучения сопровождается изменением формы разряда в эксилампе.

Применение трех барьеров позволяет делать газовое наполнение двух объемов колбы независимо, без взаимного смешивания смесей и управлять спектральным составом излучения эксилампы, заполняя независимые объемы колбы различными рабочими смесями. Например, позволяет получать две узкие полосы излучения заданной интенсивности с максимумами на различных длинах волн. Созданная КгСl–ХеВг-эксилампа может быть, в частности, использована для излучения инактивации микроорганизмов и живых клеток [8].

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта МНТЦ № 3583р.

Список литературы

- [1] Шевера В.С., Шуаибов А.К. // ЖТФ. 1980. Т. 50. В. 4. М. 728–736.
- [2] Eliasson B., Kogelschatz U. // IEEE Transactions on plasma science. 1991. V. 19. N 2. P. 309–323.
- [3] Kogelschatz U., Eliasson B., Egli W. // Pure Appl. Chem. 1999. V. 71. N 10. P. 1819–1828.
- [4] Boyd I.W., J.-Y. Zhang, Kogelschatz U. // Photo-Exited Processes, Diagnostics and Applications. / Ed. A. Peled. 2003. P. 161–199.
- [5] Ломаев М.И., Соснин Э.А., Тарасенко В.Ф. и др. // ПТЭ. 2006. № 5. С. 5–26.
- [6] Sosnin E.A., Skakun V.S., Tarasenko V.F. // Proc. of the 8th Int. Symp. on the Science and Technology of Light Sources (Greifswald, Germany, 30.08–03.09.1998). 1998. P. 431–432.
- [7] Matsuzawa S., Sumitomo T., Yoshioka M. et al. // Proceedings of the Tenth International Symposium on the Science and Technology of Light Sources Toulouse. France, 18–22 July 2004. P. 175–176.
- [8] Sosnin E.F., Oppenlander T., Tarasenko V.F. // Journal of Photochemistry and Photobiology. C: Photochemistry Reviews, 2006. N 7. P. 145–163.