

Коротковолновый излучатель на системе полос молекул хлорида аргона (175 nm) и хлора (258 nm) с накачкой наносекундным барьерным разрядом

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

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

(Поступило в Редакцию 14 мая 2013 г.)

Представлены эмиссионные характеристики импульсно-периодического источника УФ–ВУФ-излучения с накачкой барьерным разрядом наносекундной длительности, который излучает на системе электронно-колебательных полос с максимумами при $\lambda = 175 \text{ nm}$ $\text{ArCl}(B \rightarrow X)$ и $\lambda = 258 \text{ nm}$ $\text{Cl}_2(D' \rightarrow A')$. Проведена экспериментальная оптимизация интенсивности излучения молекул ArCl и Cl_2 в зависимости от давления и состава смеси аргона с парами фреона (CCl_4), а также условий возбуждения.

Использование „жидких“ газовых сред на основе фреона — CCl_4 и инертных газов имеет ряд преимуществ при использовании в эксиплексных излучателях на хлоридах тяжелых инертных газов, в том числе и сложных — Xe_2Cl^* [1]. Хлорсодержащие фреоны успешно применялись в импульсных УФ–ВУФ-лампах на моноклоридах Хе и Кг с накачкой поперечным объемным разрядом и искровой УФ-предыонизацией [2–4]. Для продвижения в область вакуумного ультрафиолета в работах [5,6] предложено было использовать в эксиплексных лампах с поперечным разрядом рабочие среды вида $\text{He-Ar}(\text{HCl}, \text{Cl}_2, \text{CCl}_4, \text{CF}_2\text{Cl}_2)$, позволяющие получать интенсивное излучение полос 175 nm $\text{ArCl}(B \rightarrow X)$, и 258 nm $\text{Cl}_2(D' \rightarrow A')$. В работе [7] было показано, что ArCl — лампа с накачкой объемным разрядом имеет энергию в импульсе $\sim 0.6 \text{ mJ}$ при пиковой плотности мощности $\sim 0.4 \text{ kW/cm}^2$. Излучение хлорида аргона всегда сопровождается интенсивной полосой молекулы хлора — 258 nm $\text{Cl}_2(D' \rightarrow A')$, которая по величине длины волны близка к резонансной спектральной линии атома ртути (253 nm), широко применяемой в различных оптических технологиях, базирующихся на разного типа ртутных лампах.

По сравнению с эксимерными ксеноновыми лампами (172 nm Xe_2^*), излучатели на хлориде аргона и хлора имеют более дешевую рабочую среду, а использование высококачественного кварца с пропусканием до $\Delta\lambda = 150\text{--}160 \text{ nm}$ позволяет разрабатывать ArCl -лампы барьерного разряда с большой величиной рабочей поверхности.

Общим недостатком эксиплексных ламп с поперечным разрядом и оголенными металлическими электродами является малая рабочая апертура, что связано с их конструкцией и низким ресурсом работы в газостатическом режиме, что обусловлено взаимодействием агрессивного хлорносителя с поверхностью металлических электродов.

Характеристики импульсно-периодического барьерного разряда на основе смеси Ar-CCl_4 , который может

быть использован в качестве двухволновой лампы на полосах хлорида аргона и хлора, в настоящее время не исследованы.

В настоящей статье приводятся результаты оптимизации УФ–ВУФ-излучателя на системе полос 175 nm $\text{ArCl}(B \rightarrow X)$ и 258 nm $\text{Cl}_2(D' \rightarrow A')$ с накачкой наносекундным барьерным разрядом.

Импульсно-периодический разряд с двумя диэлектрическими барьерами зажегся в цилиндрической колбе из кварца марки КУ-1. Рабочая длина колбы — 20 cm , а диаметр внутренней трубки из кварца — 14 mm . Межэлектродное расстояние в разряде составляло примерно 4.5 mm . Внутренний электрод излучателя был изготовлен в виде сплошного цилиндра из алюминия и устанавливался во внутреннюю кварцевую трубку. Внешним электродом служила спираль из никелевого провода, прозрачность которой составляла $\approx 80\%$.

Импульсно-периодический барьерный разряд зажегся при помощи источника импульсов высокого напряжения с резонансной перезарядкой накопительного конденсатора емкостью 1.54 nF и коммутатором — водородным тиратроном ТГИ–I-1000/25. Амплитуда импульсов напряжения на выходе модулятора увеличивалась при помощи импульсного кабельного трансформатора примерно в три раза и достигала $40\text{--}55 \text{ kV}$ при длительности отдельного выброса на уровне $5\text{--}20 \text{ ns}$. Амплитуда основного максимума импульса тока достигала 50 A при его длительности $20\text{--}30 \text{ ns}$. Система регистрации излучения описана в [8].

На рис. 1, *a, b* представлены спектры излучения плазмы барьерного разряда в смесях Ar-CCl_4 , в которых фиксированное парциальное давление паров жидкого фреона и разные давления аргона. При малом давлении смеси ($p(\text{Ar}) = 5\text{--}10 \text{ kPa}$) (рис. 1, *a*) в спектрах излучения наблюдались соизмеримые по интенсивности излучения полосы с максимумами при $\lambda = 175 \text{ nm}$ $\text{ArCl}(B \rightarrow X)$ и $\lambda = 258 \text{ nm}$ $\text{Cl}_2(D' \rightarrow A')$ [4,9]. Менее интенсивным было излучение полос эксиплексной молекулы при $\lambda = 169 \text{ nm}$ $\text{ArCl}(D \rightarrow X)$ и 199 nm

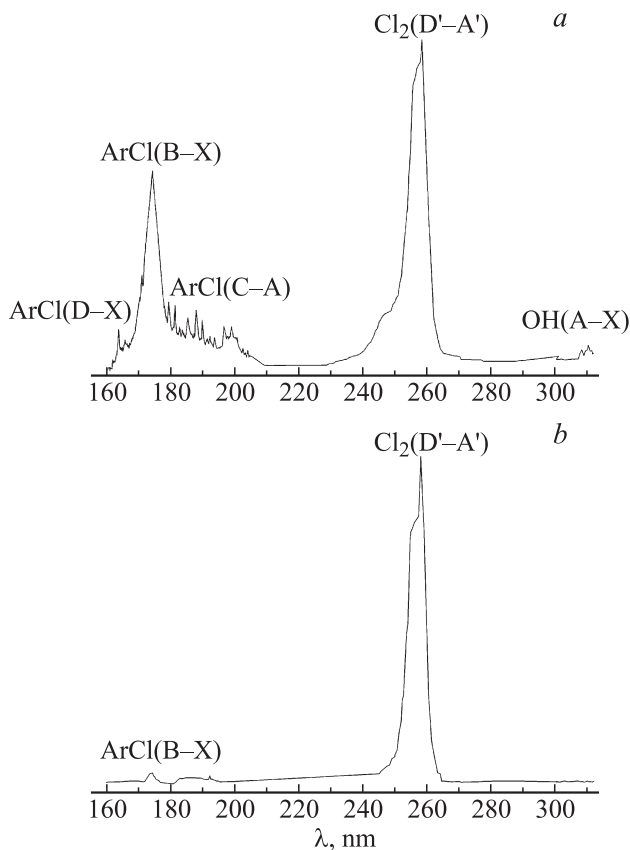


Рис. 1. Спектры излучения импульсно-периодического барьерного излучателя в смесях $p(\text{Ar})-p(\text{CCl}_4) = 6.7-0.13$ (a), $54.4-0.13$ kPa (b).

$\text{ArCl}(\text{C} \rightarrow \text{A})$ [10,11], которое проявлялось только при низком давлении рабочей смеси. Наиболее интенсивной в спектре излучения была полоса молекулы хлора с $\lambda = 258$ nm $\text{Cl}_2(\text{D}' \rightarrow \text{A}')$, которая начинала превалировать при высоком давлении смеси ($p > 20-30$ kPa). Особенностью спектра УФ-излучения является наличие неразрешенного выступа в коротковолновом канте полосы излучения молекулы хлора, который более сильно проявлялся при увеличении давления смеси и который не наблюдался при использовании простых хлорсодержащих молекул (HCl , Cl_2) [7]. Эти особенности УФ-излучения молекулы хлора могут быть связаны с вкладом излучения продуктов распада молекул CCl_4 (радикалов CCl_3^* или атомов углерода), которые образуются при их диссоциации в барьерном разряде [11]. При увеличении парциального давления паров фреона до 0.3 kPa в спектре УФ-ВУФ-излучения разряда остается только одна полоса молекулы хлора (258 nm) (рис. 1, b).

Исследование зависимостей интенсивности излучения полосы $\text{ArCl}(\text{B} \rightarrow \text{X})$ в плазме барьерного разряда от парциального давления паров фреона (при давлении аргона 24 kPa) показало, что оптимальное давление паров CCl_4 находится в диапазоне 150–180 Pa. Зависимость интенсивности полосы молекулы хлора с увеличением парциального давления паров CCl_4 увеличивалась примерно линейно.

Увеличение парциального давления аргона от 10 до 55 kPa в разряде на смеси $\text{Ar}-\text{CCl}_4$ показало, что интенсивности полос $\text{ArCl}(\text{B} \rightarrow \text{X})$ (a) и $\text{Cl}_2(\text{D}' \rightarrow \text{A}')$ (b) уменьшается: полосы 258 nm — примерно в три раза, а полосы — 175 nm на два порядка (рис. 2).

Зависимости интенсивностей излучения полос 175 nm (a) и 258 nm (b) от частоты следования импульсов (рис. 3) показали, что при малых частотах (40–350) Hz наблюдаются нелинейные зависимости от частоты, а средняя интенсивность излучения небольшая. В области частот 400–1000 Hz наблюдались зависимости интенсивности близкие к линейным и значительное увеличение их величины. Такой характер зависимостей интенсивностей связан вероятно с распадом молекул CCl_4 в разряде при большой частоте повторения импульсов накачки.

Таким образом, исследование эмиссионных характеристик излучателя барьерного разряда на смеси аргона

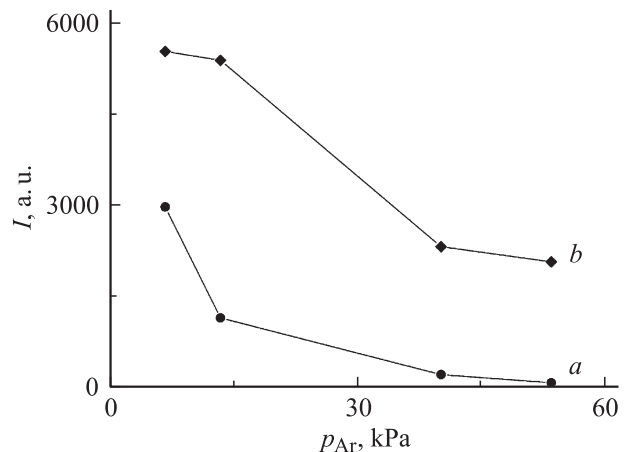


Рис. 2. Зависимости интенсивности полос 175 nm $\text{ArCl}(\text{B} \rightarrow \text{X})$ (a) и 258 nm $\text{Cl}_2(\text{D}' \rightarrow \text{A}')$ (b) от величины давления аргона при парциальном давлении фреона $p(\text{CCl}_4) = 0.13$ kPa.

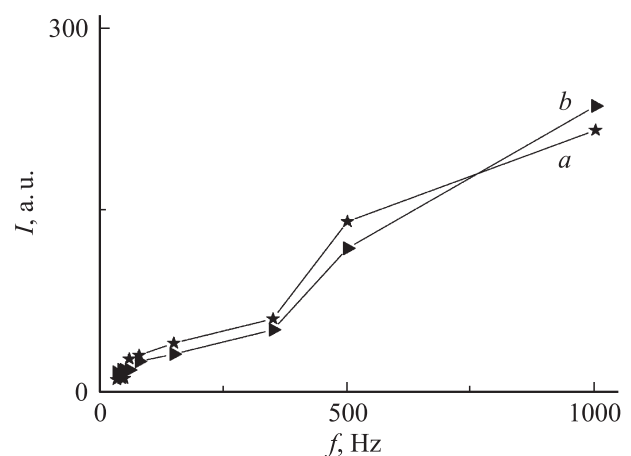


Рис. 3. Зависимости интенсивности полос 175 nm $\text{ArCl}(\text{B} \rightarrow \text{X})$ (a) и 258 nm $\text{Cl}_2(\text{D}' \rightarrow \text{A}')$ (b) в барьерном разряде в смеси $p(\text{Ar})-p(\text{CCl}_4) = 13.3-0.13$ kPa от частоты повторения импульсов.

с парами CCl_4 показало, что он является селективным УФ–ВУФ-излучателем полос хлорида аргона (175 нм) и хлора (258 нм); вариацией парциального давления фреона возможно получение излучения на двух или одной (258 нм) длине волны; оптимальное содержание паров фреона находится в диапазоне 150–180 Па, а давления аргона — 5–10 кПа; наибольшая средняя мощность излучения достигается при работе в частотном режиме 400–1000 Нз.

Список литературы

- [1] Миськевич А.И., Цзиньбао Го. // Письма в ЖТФ. 2013. Т. 39. Вып. 8. С. 33–39.
- [2] Шуаибов А.К., Шимон Л.Л., Дащенко А.И., Шевера И.В. // ЖТФ. 2001. Т. 71. Вып. 2. С. 77–81.
- [3] Шуаибов А.К., Дащенко А.И. // Квант. электрон. 2000. Т. 30. № 3. С. 279–281.
- [4] Бойченко А.М., Ломаев М.М., Панченко А.Н., Соснин Э.А., Тарасенко В.Ф. Ультрафиолетовые и вакуумно-ультрафиолетовые эксилампы: физика, техника и применение. Томск; SST, 2011. 512 с.
- [5] Шуаибов А.К., Шимон Л.Л., Дащенко А.И., Неймет Ю.Ю., Шевера И.В. // Письма в ЖТФ. 1999. Т. 25. Вып. 11. С. 29–33.
- [6] Шуаибов А.К., Дащенко А.И. // ПТЭ. 2000. № 3. С. 101–103.
- [7] Панченко А.Н., Тарасенко В.Ф. // Квант. электрон. 2006. Т. 36. № 2. С. 169–173.
- [8] 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.
- [9] Kogelschatz U. // J. Opt. Technol. 2012. Vol. 79, N 8. P. 484–493.
- [10] Gundel L.A., Setser D.W., Clyne M.A.A., Coxon J.A., Nip W. // J. Chem. Phys. 1976. Vol. 64. N 11. P. 4390–4410.
- [11] Tsuji M., Furusawa M., Mizuguchi T., Muraoka T., Nishimura Y. // J. Chem. Phys. 1992. Vol. 97. N 1. P. 245–255.