

## 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  $\text{ArCl}$  и  $\text{Cl}_2$  в зависимости от давления и состава смеси аргона с парами фреона ( $\text{CCl}_4$ ), а также условий возбуждения.

Использование „жидких“ газовых сред на основе фреона —  $\text{CCl}_4$  и инертных газов имеет ряд преимуществ при использовании в эксиплексных излучателях на хлоридах тяжелых инертных газов, в том числе и сложных —  $\text{Xe}_2\text{Cl}^*$  [1]. Хлорсодержащие фреоны успешно применялись в импульсных УФ–ВУФ-лампах на моноклоридах  $\text{Xe}$  и  $\text{Kr}$  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  $175 \text{ nm}$   $\text{ArCl}(B \rightarrow X)$ , и  $258 \text{ nm}$   $\text{Cl}_2(D' \rightarrow A')$ . В работе [7] было показано, что  $\text{ArCl}$  — 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 —  $258 \text{ nm}$   $\text{Cl}_2(D' \rightarrow A')$ , которая по величине длины волны близка к резонансной спектральной линии атома ртути ( $253 \text{ nm}$ ), широко применяемой в различных оптических технологиях, базирующихся на разного типа ртутных лампах.

По сравнению с эксимерными ксеноновыми лампами ( $172 \text{ nm}$   $\text{Xe}_2^*$ ), 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  $\text{ArCl}$ -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  $\text{Ar-CCl}_4$ , который может

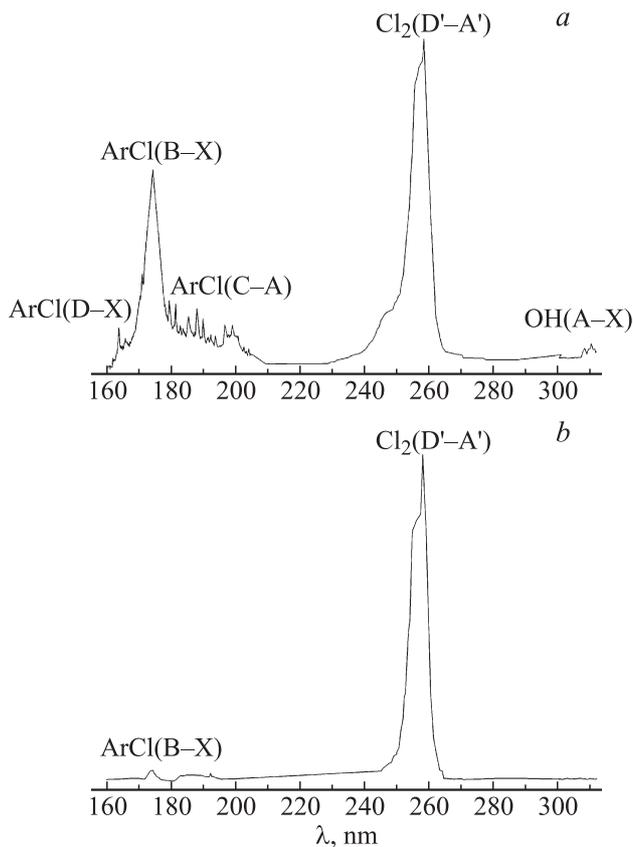
быть использован в качестве двухволновой лампы на полосах хлорида аргона и хлора, в настоящее время не исследованы.

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

Импульсно-периодический разряд с двумя диэлектрическими барьерами зажегся в цилиндрической колбе из кварца марки КУ-1. Рабочая длина колбы —  $20 \text{ cm}$ , а диаметр внутренней трубки из кварца —  $14 \text{ mm}$ . Межэлектродное расстояние в разряде составляло примерно  $4.5 \text{ mm}$ . 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  $1.54 \text{ nF}$  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  $50 \text{ A}$  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  $\text{Ar-CCl}_4$ , 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  $199 \text{ nm}$



**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).

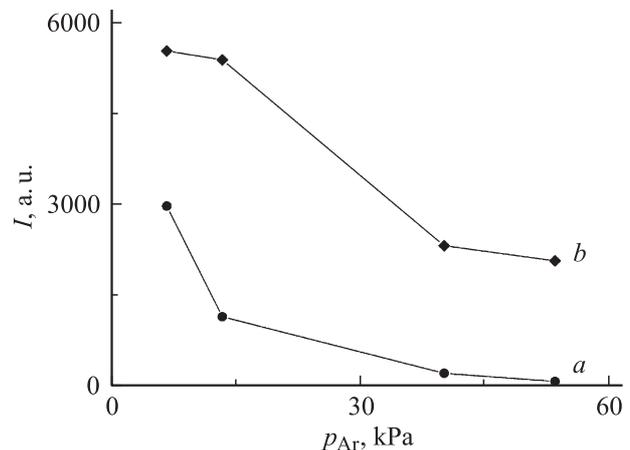
$\text{ArCl}(\text{C} \rightarrow \text{A})$  [10,11], которое проявлялось только при низком давлении рабочей смеси. Наиболее интенсивной в спектре излучения была полоса молекулы хлора с  $\lambda = 258$  nm  $\text{Cl}_2(\text{D}' \rightarrow \text{A}')$ , которая начинала превалировать при высоком 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 ( $\text{HCl}$ ,  $\text{Cl}_2$ ) [7]. Эти особенности УФ-излучения молекулы хлора могут быть связаны с вкладом излучения продуктов распада молекул  $\text{CCl}_4$  (радикалов  $\text{CCl}_3^*$  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  $\text{CCl}_4$  находится в диапазоне 150–180 Pa. Зависимость интенсивности полосы молекулы хлора с увеличением парциального давления паров  $\text{CCl}_4$  увеличивалась примерно линейно.

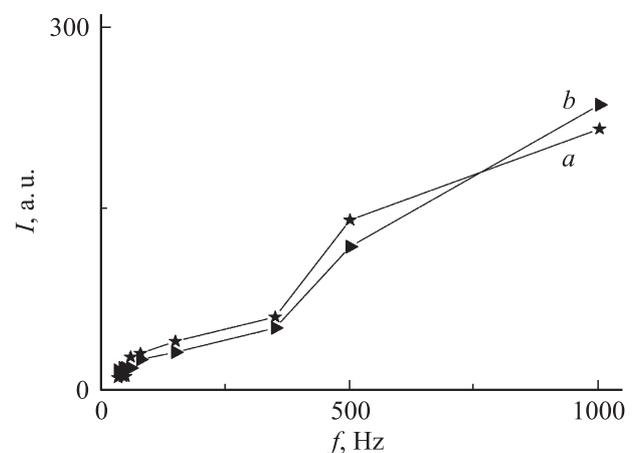
Увеличение парциального давления аргона от 10 до 55 kPa в разряде на смеси  $\text{Ar}-\text{CCl}_4$  показало, что интенсивности полос  $\text{ArCl}(\text{B} \rightarrow \text{X})$  (a) и  $\text{Cl}_2(\text{D}' \rightarrow \text{A}')$  (b) уменьшается: полосы 258 nm — примерно в три раза, а полосы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