

02;04;07;12

**Импульсный многоволновый излучатель
на системе полос: $\lambda = 175 \text{ nm}$
 $\text{ArCl}(\text{B-X})/236 \text{ nm}$ $\text{XeCl}(\text{D-X})/258 \text{ nm}$
 $\text{Cl}_2^*/308 \text{ nm}$ $\text{XeCl}(\text{B-X})$**

© А.К. Шуаибов

Ужгородский государственный университет

Поступило в Редакцию 12 октября 1999 г.

Приводятся результаты оптимизации многоволнового излучателя с накачкой поперечным объемным разрядом, зажигаемым в смеси Ar/Xe/Cl_2 ($P = 5\text{--}30 \text{ kPa}$). Показано, что при содержании атомов ксенона в смеси, меньшем, чем 0.4 kPa , исследуемый разряд является многоволновым источником излучения на электронно-колебательных переходах с $\lambda = 175 \text{ nm}$ $\text{ArCl}(\text{B-X})$, 236 nm $\text{XeCl}(\text{B-X})$, 258 nm $\text{Cl}_2(\text{D}'\text{-A}')$ и 308 nm $\text{XeCl}(\text{B-X})$. Яркости данных полос при этом соизмеримы между собой по величине, что представляет интерес для применения излучателя в коротковолновой импульсной фотометрии, микроэлектронике и фотохимии.

Экимерные лампы на галогенидах инертных газов — RX^* (где $\text{R} — \text{Ar, Kr, Xe}$; $\text{X} — \text{F, Cl}$), возбуждаемые при помощи поперечного объемного разряда (ПОР), являются в настоящее время наиболее мощными и относительно простыми источниками спонтанного излучения субмикросекундной длительности [1]. Наиболее освоенными являются импульсные электроразрядные излучатели, работающие на одной фиксированной полосе в области $\lambda = 222 \text{ nm}$ KrCl , 308 nm XeCl . В рабочих средах таких излучателей использовался преимущественно хлорноситель — HCl , а в качестве буферных газов — He или Ne [2,3].

В [4] реализован многоволновой режим работы эксимерной лампы с накачкой ПОР на системе 353 nm XeF/308 nm XeCl/249 nm KrF/222 nm KrCl (рабочие среды — He/Kr/Xe/SF₆/HCl) или с применением молекул CF₂Cl₂ в качестве общего носителя хлора и фтора при образовании RX* [5]. Многоволновые излучатели с более широким диапазоном длин волн (включая и ВУФ область спектра) ранее не исследовались.

В настоящей работе приводятся результаты оптимизации многоволнового эксимерного излучателя вакуумного ультрафиолетового-ультрафиолетового (ВУФ-УФ) диапазона спектра, работающего на смеси Ar/Xe/Cl₂. Особенностью данной рабочей среды является то, что сама молекула-галогенноситель является достаточно эффективным источником излучения на $\lambda = 258 \text{ nm Cl}_2(D' - A')$, она обладает минимальным собственным поглощением в области $\lambda < 200 \text{ nm}$, а в получаемой плазме при образовании молекул RX* увеличивается роль "гарпунной" реакции: $R(m) + Cl_2 \rightarrow RCl^* + Cl$, где R(m) — атом инертного газа в метастабильном состоянии [6]. Разряд зажигался в излучателе с ПОР, схема которого приведена в [7]. Объем плазмы разряда составляет $18 \times 2.2 \times 1.0 \text{ cm}$. ПОР поджигался с применением двухконтурной LC-схемы и автоматической искровой предьонизации с коммутатором — ТГИ1 1000/25. Накопительная емкость изготовлена из конденсаторов К 15–10 (40 kV, 10 nF) и равнялась 30 nF. Обострительная емкость состояла из 20 конденсаторов КВИ-3 (20 kV, 470 pF). Излучение плазмы ПОР регистрировалось с применением полуметрового вакуумного монохроматора с дифракционной решеткой 1200 штр/мм. Приемником излучения служил ФЭУ-142 с LiF-окном, а рабочий диапазон спектрофотометра составлял 130–350 nm. Относительная калибровка спектрометрической установки проводилась в области 165–350 nm по континууму молекул H₂.

На рис. 1 приведен спектр излучения плазмы ПОР на смеси Ar/Xe/Cl₂ без учета спектральной чувствительности системы вакуумный монохроматор + ФЭУ-142. В УФ–ВУФ области одновременно наблюдалось излучение на $\lambda = 175 \text{ nm ArCl}(B-X)$, $236 \text{ nm XeCl}(D-X)$, $258 \text{ nm Cl}_2(D' - A')$ и $308 \text{ nm XeCl}(B-X)$. Подбором состава смеси возможно получение примерно одинаковой яркости на отмеченных выше переходах молекул ArCl, Cl₂* и XeCl.

Исследование яркости излучения полос ArCl (B–X) и Cl₂(D'–A') в зависимости от содержания молекул хлора и давления проводилось в ПОР на смеси Ar/Cl₂. Оно показало, что оптимальное содержание

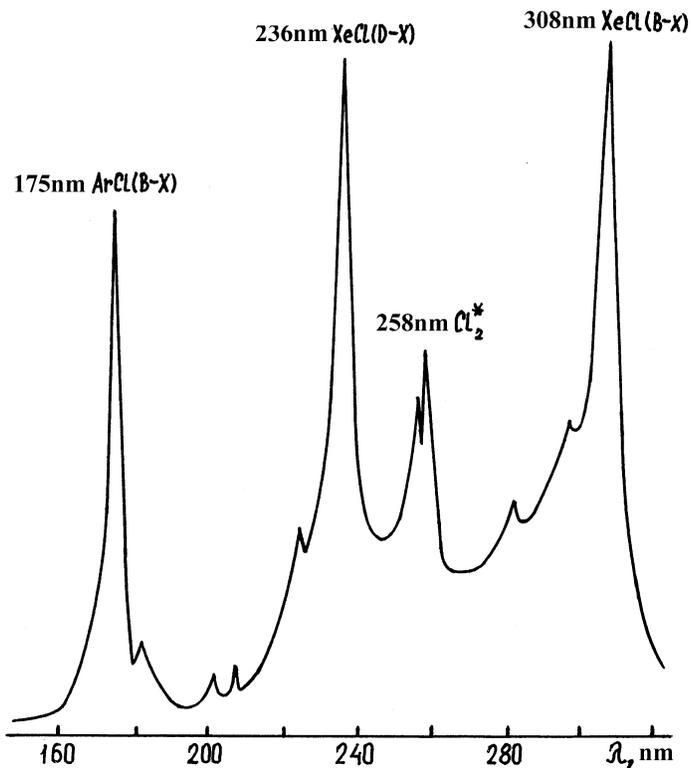


Рис. 1. Спектр излучения плазмы ПОР на смеси $\text{Ar/Xe/Cl}_2 = 13.3/0.4/0.24$ кПа.

молекул Cl_2 (при $U_{\text{зар.}} < 14$ кВ) находится в диапазоне 0.2–0.4 кПа, а для давления двойной смеси наблюдался широкий максимум при $P = 8\text{--}15$ кПа. Дальнейшее увеличение давления приводило к ухудшению однородности разряда. Поэтому оптимизация состава рабочей среды многоволнового излучателя на смеси Ar/Xe/Cl_2 проводилась при давлении 13.3 кПа. Зависимости яркости излучения полос ArCl(B-X) , $\text{Cl}_2(\text{D}'\text{-A}')$ и XeCl(D, B-X) от содержания атомов Хе и количества разрядных импульсов ПОР в смеси представлены на рис. 2 и 3. Как видно из рис. 2, многоволновый режим работы излучателя (когда ярко-

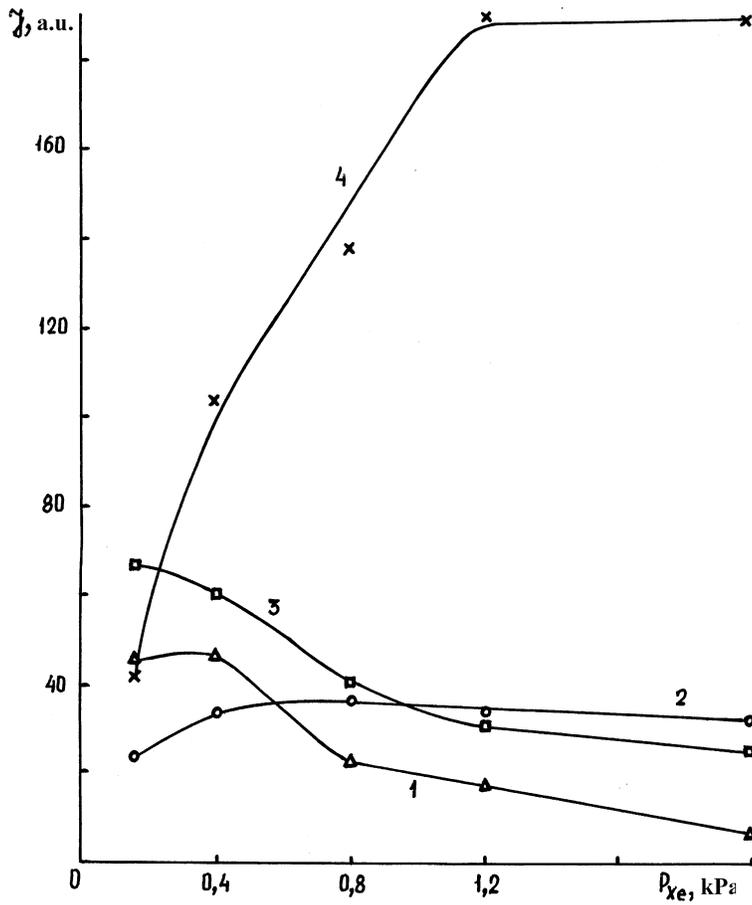


Рис. 2. Зависимость яркости излучения на переходах с $\lambda = 175$ nm ArCl (B-X) (1), 236 nm XeCl (D-X) (2), 258 nm Cl₂(D'-A') (3) и 308 nm XeCl (B-X) (4) от содержания ксенона в ПОР на смеси $Ar/Xe/Cl_2 = 13.3/[Xe]/0.24$ kPa ($U_{зар.} = 12.5$ kV).

сти исследуемых полос близки между собой по величине) реализуется при содержании ксенона в диапазоне $[Xe] = 0.15-0.4$ kPa. При $[Xe] = 0.2$ kPa яркости полос 308 nm XeCl и 258 nm Cl₂* равны между собой, а яркость излучения ArCl(B-X) и XeCl(D-X) в 2-3 раза меньше.

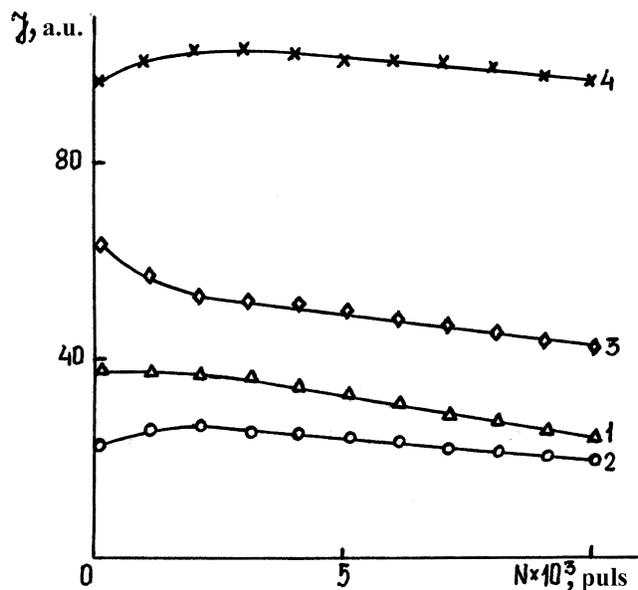


Рис. 3. Зависимость яркости полос $\lambda = 175$ nm (1), 236 (2), 258 (3) и 308 nm (4) от количества импульсов ПОР на смеси $\text{Ar/Xe/Cl}_2 = 13.3/0.4/0.24$ kPa ($U_{\text{зар.}} = 12.5$ kV).

Увеличение содержания ксенона выше 0.4 kPa приводит к резкому росту яркости полосы 308 nm XeCl(B-X) и спаду яркости полос ArCl(B-X) и содержания ксенона. Ресурс излучения на данных переходах (или время, за которое яркость падает в два раза) не ниже $(2 - 3) \cdot 10^4$ импульсов. Зависимость яркости полос RCI^* и Cl_2^* от величины зарядного напряжения имеет линейную форму (при $U_{\text{зар.}} = 4 - 12$ kV). При этом яркость полос увеличивается в 3–5 раз. Физическими процессами, наиболее сильно влияющими на образование молекул XeCl(D, B-X) и ArCl(B-X) в плазме на смеси Ar/Xe/Cl_2 , являются реакции передачи энергии от метастабильных атомов Ar атомам Xe [8,9] и образование возбужденных атомов Xe. Для исследуемой плазмы (в отличие от активной среды эксимерных излучателей высокого давления) роль реакции рекомбинации $\text{Ar}^+(\text{Xe}^+) + \text{Cl}^- + (\text{Ar}) \rightarrow \text{ArCl}^*(\text{XeCl}^*) + (\text{Ar})$

понижается, так как ее скорость уменьшается со спадом давления буферного газа (от 100 до 10 кПа) с 10^{-6} до 10^{-7} см³/с [10]. При этом в начальной стадии ПОР ведущей становится "гарпунная" реакция типа $\text{Xe}(m) + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{XeCl} + \text{Cl}$ [6], для которой важно наличие возбужденных атомов в изучаемой среде. Более детально исследования механизмов образования RCl^* и Cl_2^* будут проведены в дальнейшем при помощи эмиссионной спектроскопии плазмы с временным разрешением.

Таким образом, на основе ПОР среднего давления (смеси Ar/Xe/Cl_2) создан многоволновый эксимерный излучатель на переходах с $\lambda = 175$ nm $\text{ArCl}(\text{B-X})$, 236 nm $\text{XeCl}(\text{D-X})$, 258 nm Cl_2^* и 308 nm $\text{XeCl}(\text{B-X})$. Оптимальное содержание молекул хлора: 0.3–0.4 кПа, давление смеси 10–20 кПа, содержание ксенона 0.15–0.4 кПа и ресурс работы излучателя на одной смеси превышает $(2-3) \cdot 10^4$ импульсов.

Выражаю благодарность А.И. Дашенко за помощь в проведении эксперимента.

Список литературы

- [1] Коваль Б.А., Скакун В.С., Тарасенко В.Ф. и др. // ПТЭ. 1992. № 4. С. 244–245.
- [2] Визирь В.А., Скакун В.С., Соснин Э.А. и др. // Квантовая электроника. 1995. Т. 22. № 5. С. 519–522.
- [3] Панченко А.Н., Соснин Э.А., Тарасенко В.Ф. // ЖТФ. 1997. Т. 67. В. 1. С. 78–81.
- [4] Шуаибов А.К. // ЖТФ. 1998. Т. 68. В. 12. С. 64–67.
- [5] Шуаибов А.К., Шимон Л.Л., Шевера И.В. // ПТЭ. 1998. № 3. С. 142–144.
- [6] Гордон Е.Б., Егоров В.Г., Михельсоо В.Т. и др. // Квантовая электроника. 1988. Т. 15. № 2. С. 285–288.
- [7] Шуаибов А.К. // Квантовая электроника. 1999. Т. 26. № 2. С. 128–130.
- [8] Chen C.H., Judish I.P., Payne M.G. // J. Phys. B: Atom Molec. Phys. 1978. V. 11. N 12. P. 2189–2199.
- [9] Galy I., Aouame K., Birot A., Brunet H., Millet P. // J. Phys. B: At. Mol. Opt. 1993. V. 26. P. 477–488.
- [10] Фланнери М.Р. // Газовые лазеры / Под ред. И. Мак-Даниеля, У. Нигэна. М.: Мир, 1986. С. 177–215.