

02;04;07;12

Характеристики вольерного разряда на смеси гелий/хлор

© А.К. Шуаибов, А.И. Дащенко, И.В. Шевера

Ужгородский национальный университет

E-mail: ishev@univ.uzhgorod.ua

Поступило в Редакцию 24 октября 2001 г.

Приведены результаты исследования электрических и оптических характеристик вольерного разряда в смеси He/Cl₂ при давлениях 0.1–1.5 кПа. Установлено, что плазма отрицательного катодного свечения является широкополосным источником излучения в диапазоне 170–270 нм с максимумами при $\lambda_{\max} = 195$ нм Cl₂(¹Σ–¹Π₄), 200 нм Cl₂^{*} и 258 нм Cl₂(D'–A'). Определены оптимальные условия для получения максимальной яркости излучения на переходах молекулы хлора в УФ–ВУФ-области длин волн. Результаты исследования представляют интерес для разработки коротковолновой стационарной лампы низкого давления на смеси He/Cl₂.

Различные виды разрядов низкого давления в смесях инертных и галогеносодержащих газов с успехом используются для накачки ламп, работающих на электронно-колебательных переходах моногалогенидов инертных газов и некоторых димерах галогенов [1–10]. Наиболее детально разработаны газостатические эксилампы постоянного тока, в которых активная среда формируется в положительном столбе продольного тлеющего разряда. Была также установлена перспективность разработок УФ–ВУФ-источников излучения на смеси He/Cl₂ с $\lambda_{\max} = 258$ нм [3] и 195/200/258 нм [10]. В рабочей смеси таких ламп отсутствуют дорогостоящие инертные газы (Xe, Kr, Ar), что важно для перевода излучателя в режим медленной прокачки рабочей среды. Кроме этого, представляет значительный интерес применение и других областей тлеющего разряда низкого давления, в частности отрицательного катодного свечения (ОКС) для накачки эксимерных и галогенных ламп. Это обусловлено более высокой интенсивностью излучения плазмы ОКС по сравнению с плазмой положительного столба, наличием значительного количества возбужденных ионов в ОКС, избытком быстрых электронов и рядом других факторов [11,12].

Но малая протяженность плазмы ОКС обычно препятствует ее использованию в излучателях. В работах [13,14] для чистых инертных газов и азота было предложено использование свойств затрудненного разряда, эффекта полого катода и специальной электродной системы (в которой нет места для формирования положительного столба) для получения плазмы ОКС в большом объеме. Возможности использования такой системы в газовых средах с электроотрицательными газами, а также образование в них эксимерных молекул и возбужденных димеров галогенов ранее не рассматривались.

В данной статье приводятся результаты исследования характеристик вольерного разряда на смеси гелия с хлором, являющейся рабочей для излучателя на УФ–ВУФ-полосах молекулы хлора.

Система электродов вольерного разряда состояла из четырех штыревых анодов и четырех катодов длиной по 156 mm, равномерно установленных по образующей цилиндра диаметром 30 mm. Электроды были изготовлены из нержавеющей стали и имели диаметр 3 mm. Расстояние между чередующимися анодами и катодами составляло примерно 6 mm. Постоянное напряжение положительной полярности подавалось через балластное сопротивление 1 kΩ на анодные штыри, а все катодные штыри были заземлены. Система электродов крепилась к диэлектрическому фланцу и была установлена в металлическую камеру с объемом 10 литров. Буферная камера пристыковывалась к вакуумному спектрометру через окно из LiF. Излучение отбиралось с центральной части одного из катодных штырей. Система регистрации излучения описана в наших статьях [7–9].

При давлении смеси He/Cl₂ в диапазоне 0.1–1.5 kPa и парциальном давлении $P(\text{Cl}_2) = 0.1–0.4 \text{ kPa}$ вся поверхность катодных штырей покрывалась однородным отрицательным свечением белого цвета. Диаметр плазменного цилиндра в зависимости от величины давления и состава смеси изменялся в пределах 5–10 mm. Образования общего ОКС во внутренней части штыревой системы электродов не наблюдалось, что указывает на отсутствие эффекта полого катода для исследуемой среды. Поэтому в лампе может использоваться только излучение плазмы ОКС с поверхности штырей-катодов, а внутренняя зона вольерного разряда может использоваться для размещения объектов воздействия УФ–ВУФ-излучения. В частности, при установке подобной системы электродов в коаксиальные трубы длиной по 0.15–0.50 m (внешняя труба может быть металлической с отражателем коротковолнового излучения на

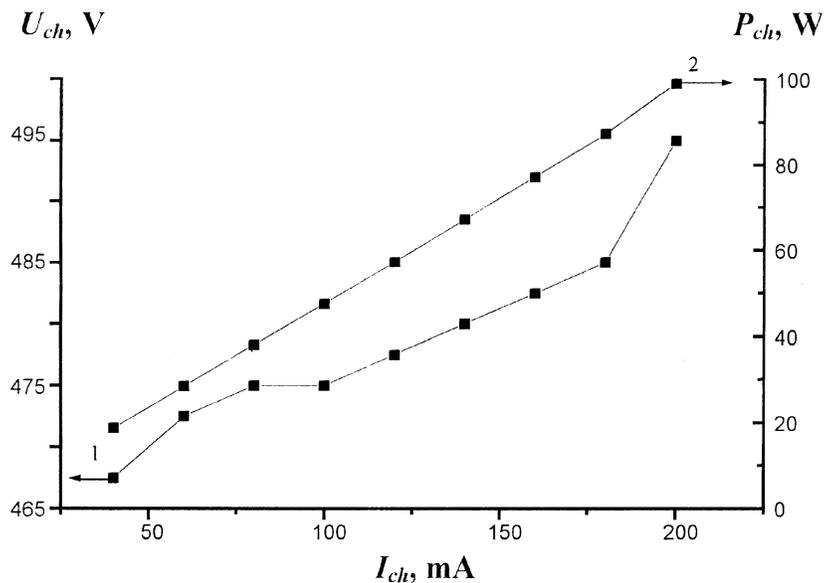


Рис. 1. Вольт-амперная характеристика вольерного разряда (1) и зависимость мощности, вкладываемой в разряд, от величины тока (2) в смеси $\text{He}/\text{Cl}_2 = 0.67/0.13$ кПа.

внутренней поверхности, а внутренняя — из стекла, прозрачного до $\lambda \geq 170$ nm) она может использоваться для очистки проточной питьевой воды от бактерий и химических загрязнителей.

На рис. 1 приведены типичная вольт-амперная характеристика вольерного разряда на смеси He/Cl_2 и зависимость электрической мощности разряда от величины тока. Форма ВАХ является типичной для затрудненного (аномального) разряда [11,12]. Величина напряжения на электродах (U_{ch}) была сравнительно низкой и для токов $I_{ch} \leq 200$ mA не превышала 500 V. С увеличением напряжения наблюдался и рост тока разряда. Величина электрической мощности вольерного разряда линейно увеличивалась от 20 до 100 W при росте тока разряда от 40 до 200 mA. Форма ВАХ для токов $I_{ch} \leq 100$ mA и зависимость электрической мощности разряда от тока были подобны соответствующим.

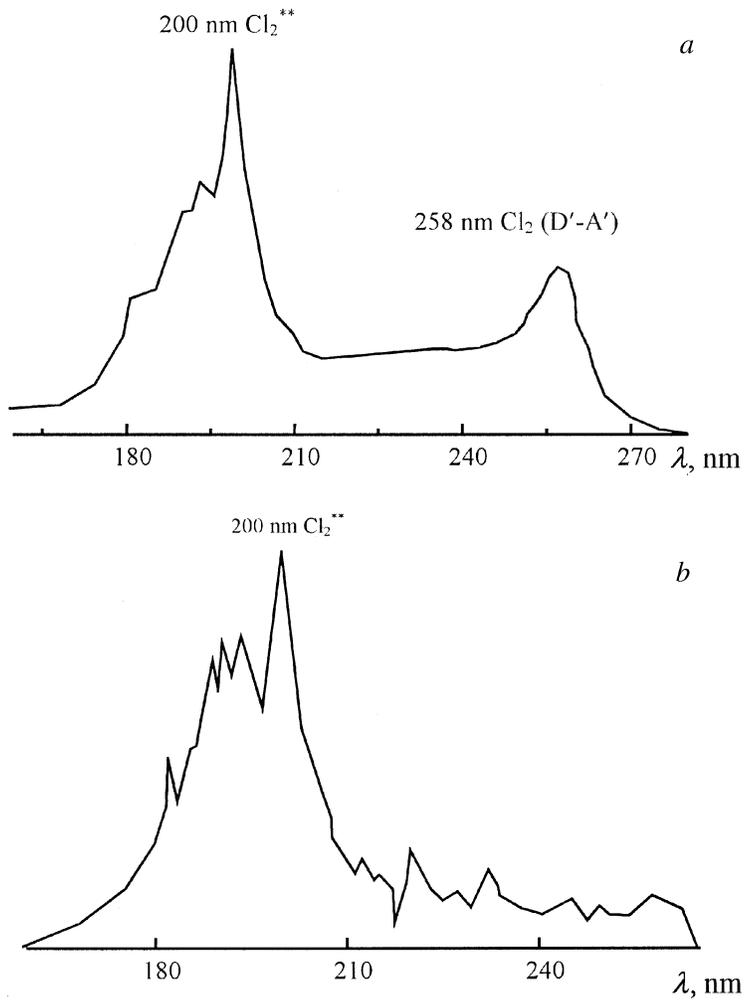


Рис. 2. Спектры излучения плазмы отрицательного катодного свечения разряда в смесях He/Cl₂ = 1.33/0.27 кПа (a) и 0.40/0.40 кПа (b).

ющим характеристикам вольерного разряда в чистом гелии и неоне из работы [14].

На рис. 2 представлены спектральные характеристики излучения плазмы на основе смеси He/Cl₂. Спектр включал уширенные полосы с максимумом при $\lambda = 258 \text{ nm}$ Cl₂(D'-A'), максимум континуума хлора при 200 nm и полосы 195–170 nm Cl₂(¹Σ-¹Π₄). Из-за незавершенности процессов колебательной релаксации внутри возбужденных состояний молекулы хлора эти полосы практически сливались в единый континуум с границами 260–170 nm. При низких парциальных давлениях гелия в излучении преобладали полосы ВУФ-излучения хлора (с $\lambda \leq 200 \text{ nm}$), как и для плазмы поперечного объемного разряда на смеси He/Cl₂ [15]. Увеличение яркости полосы Cl₂(D'-A') с повышением парциального давления He и Cl₂ связано с синглет-триплетной релаксацией высоко возбужденных молекул хлора в низко лежащее состояние D'. Оптимальное парциальное давление гелия находится в пределах 1.2–1.5 kPa, а $P(\text{Cl}_2) = 0.3\text{--}0.4 \text{ kPa}$.

Оценка суммарной мощности УФ-ВУФ в угол 4π из плазмы одного стержневого катода показала, что она достигает 0.5–1.0 W. КПД излучателя не превышал 4%. Система электродов значительно не нагревалась, поскольку энергия, теряемая на формирование потока быстрых нейтралов в вольерном разряде, значительно ниже, чем для обычного тлеющего разряда [14], поэтому ток разряда может быть увеличен до 0.5–1.0 A. Поскольку зависимости яркости УФ-ВУФ-излучения от тока разряда были линейно возрастающими, то это может привести и к пропорциональному росту мощности излучения плазмы ОКС. Так как плазма формировалась только вблизи стержневых катодов, то для увеличения ее площади необходимо увеличивать диаметр катодов и общее количество электродов вольерного разряда в 2–3 раза.

Таким образом, в системе электродов вольерного разряда на смеси He/Cl₂ получена плазма отрицательного катодного свечения значительной площади, которая является широкополосным излучателем на переходах молекул хлора в диапазоне 260–170 nm; при низком давлении смеси ($P \leq 0.4 \text{ kPa}$) и $P(\text{Cl}_2) \leq 0.15 \text{ kPa}$ источник излучает преимущественно в ВУФ-область спектра; оптимальное парциальное давление гелия находится в диапазоне 1.2–1.5 kPa, а $P(\text{Cl}_2) \leq 0.3\text{--}0.4 \text{ kPa}$; полученные результаты представляют интерес для разработки электроразрядной лампы для УФ-ВУФ-области спектра, предназначенной для облучения внутренней области системы электродов, где возмож-

но размещение протяженных рабочих сред лазеров с оптической накачкой, питьевой воды для дезинфекции, кислорода для фотолиза озона и др.).

Список литературы

- [1] Михельсоо В.Т., Трещалов А.Б., Пезт В.Э., Ялвисте Э.Х. и др. // Квантовая электроника. 1987. Т. 14. № 7. С. 1404–1406.
- [2] Головицкий А.П. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 8. С. 73–76.
- [3] Панченко А.Н., Скакун В.С., Соснин Э.А. и др. // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. В. 20. С. 77–80.
- [4] Бойченко А.М., Панченко А.Н., Тарасенко В.Ф., Яковленко С.И. // Квантовая электроника. 1996. Т. 23. № 5. С. 3–5.
- [5] Соснин Э.А., Тарасенко В.Ф. // ЖТФ. 1997. Т. 67. В. 12. С. 43–46.
- [6] Головицкий А.П. // Письма в ЖТФ. 1998. Т. 24. В. 6. С. 63–67.
- [7] Шуаибов А.К., Шимон Л.Л., Дащенко А.И., Шевера И.В. // Письма в ЖТФ. 2001. Т. 27. В. 9. С. 8–12.
- [8] Шуаибов А.К., Дащенко А.И., Шевера И.В. // ЖПС. Т. 68. № 2. С. 275–277.
- [9] Шуаибов А.К., Дащенко А.И., Шевера И.В. // ЖТФ. 2001. Т. 71. В. 8. С. 121–124.
- [10] Шуаибов А.К., Шимон Л.Л., Дащенко А.И., Шевера И.В. и др. // Проблемы экономического и социального развития региона и практика научного эксперимента. Киев; Ужгород; Ниредьгаза: Карпаты, 2001. В. 17. С. 105–107.
- [11] Грановский В.Л. Электрический ток в газе. М.: Наука, 1971. 485 с.
- [12] Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: Наука, 1987. 592 с.
- [13] Волков Н.В. // Известия вузов. Радиофизика. 1976. Т. 19. № 1. С. 158–159.
- [14] Волков Н.В., Бейлис И.И. // ТВТ. 1992. Т. 30. № 4. С. 664–672.
- [15] Шуаибов А.К. // ЖТФ. 2000. Т. 70. В. 10. С. 117–119.