

02;04;07;12

Импульсно-периодический объемный разряд низкого давления на смеси криптона с хлором

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

Ужгородский национальный университет

E-mail: ishev@univ.uzhgorod.ua

Поступило в Редакцию 18 марта 2002 г.

Приводятся результаты исследований условий зажигания и характеристик объемного разряда в смеси криптон/хлор низкого давления ($P \leq 1.0$ kPa). Показано, что при подаче на систему электродов типа „сферический анод–плоский катод“ постоянного напряжения ($U_{ch} \leq 1.0$ kV) формируется объемный импульсно-периодический разряд с частотой следования импульсов 1–50 kHz. Исследовались вольт-амперные характеристики разряда, спектры излучения в области $\Delta\lambda = 130$ –350 nm, осциллограммы тока и излучения плазмы в зависимости от величины давления и парциального состава смеси криптон/хлор. Показано, что данный разряд является селективным источником излучения на электронно-колебательных полосах с $\lambda = 257$ nm $\text{Cl}_2(\text{D}'\text{-A}')$, 222 nm $\text{KrCl}(\text{B-X})$ и 200 nm Cl_2^{**} . Объемный разряд на смеси Kr/Cl_2 может быть использован при разработке импульсно-периодических эксимерно-галогенных ламп низкого давления.

Эксимерные и галогенные лампы с импульсно-периодическим режимом работы получили широкое применение в микроэлектронике, химии высоких энергий, медицине и экологии [1–3]. Работа таких излучателей в импульсно-периодическом режиме достигается за счет использования продольного, поперечного или барьерного разрядов с импульсными источниками питания и ограничена частотами повторения импульсов в диапазоне 1– 10^5 Hz [4–7]. Применение сильноточных высоковольтных коммутаторов приводит к усложнению источника зажигания разряда в лампе, ограничению ее ресурса работы, что негативно отражается на работе лампы и сужает область применения. Поэтому представляет интерес разработка простых импульсно-периодических эксимерных и галогенных ламп, в которых импульсный режим работы достигается без применения традиционных коммутаторов (искровых разрядников,

тиратронов, таситронов и др.). За счет развития прилипательной неустойчивости плазмы в электроотрицательных газовых средах сама плазма электроразрядной лампы может выполнять роль коммутатора. Подобный режим работы импульсно-периодического излучателя с самопрокачкой рабочей среды был получен нами в многоэлектродном коронном разряде на смесях He/Ar (Kr, Xe)/F₂ высокого давления ($P = 150\text{--}350$ кПа). Активной средой в лампе служила „горячая зона“ коронного разряда объемом ≤ 15 см³, которая образуется в процессе развития прилипательной неустойчивости фторсодержащей плазменной среды и может рассматриваться в качестве плазменного домена или автосолитона [10].

В настоящей статье приводятся результаты исследования характеристик объемного разряда низкого давления на смеси криптон/хлор, формируемого в системе электродов типа „сферический анод–плоский катод“.

Расстояние в системе электродов „сферический анод–плоский катод“ составляло 3 см, радиус закругления анода — 3 см, а диаметр массивных электродов из дюралюминия равнялся 7 см. Питание разрядного промежутка осуществлялось от высоковольтного выпрямителя с напряжением $U_{ch} \leq 30$ кВ при среднем токе нагрузки ≤ 50 мА. Электроды были установлены в буферную камеру объемом 10 л. Система регистрации характеристик плазмы была аналогичной приведенной в наших работах [6,8,9,11]. Исследовались спектры излучения плазмы в диапазоне 130–350 нм, осциллограммы тока и суммарного излучения плазмы в области 200–700 нм, зависимость яркости излучения полос KrCl и Cl₂** от давления, парциального состава смеси и величины среднего тока разряда. Давление газовых смесей варьировалось в диапазоне 40–1000 Па, а средний ток разряда составлял 2–50 мА. Временные характеристики суммарного излучения плазмы изучались при помощи отдельного импульсного фотоумножителя „Фотон“, установленного за одним из смотровых окон разрядной камеры.

При подаче на анод постоянного напряжения $U_{ch} \leq 1$ кВ в межэлектродном промежутке наблюдалось образование единичного плазменного домена или автосолитона. Данное плазмообразование было размещено вблизи поверхности анода, а от катода оно отделялось темным пространством шириной 1–5 мм. Средний диаметр плазменной среды грушевидной формы увеличивался от 0.5 до 3.0 см при уменьшении давления смеси от 2–3 до 0.04 кПа. Режим протекания тока и излучения

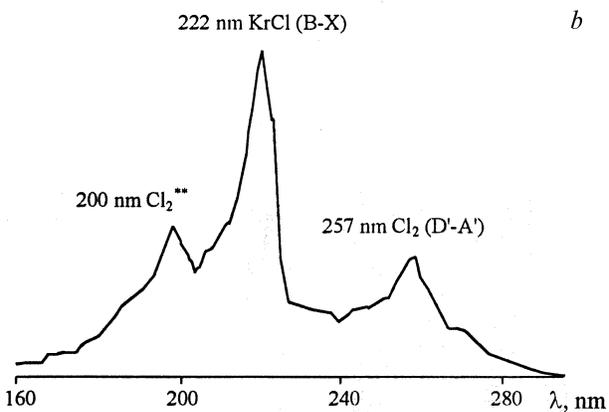
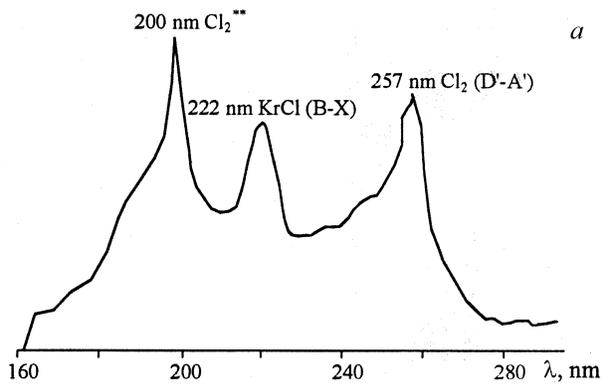


Рис. 1. Спектры излучения плазмы объемного разряда на смесях $P(\text{Kr})/P(\text{Cl}_2) = 80/120$ (a) и $640/120$ Па ($I_{ch} = 30$ mA).

был импульсно-периодическим, при этом частота следования импульсов ($f = 1-50$ kHz) увеличивалась с ростом среднего тока разряда.

Частота следования импульсов тока слабо зависела от давления и состава рабочей смеси, а при увеличении емкости конденсатора, шунтирующего разрядный промежуток от 20 до 900 pF, она уменьшалась с 50 до 3-5 kHz.

Плазма разряда является селективным источником излучения в области 180-270 nm (рис. 1). Основной в спектре излучения была

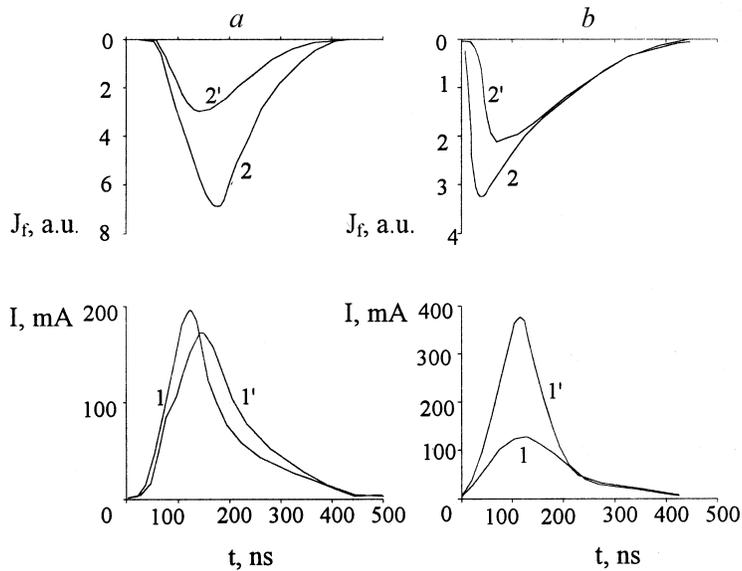


Рис. 2. Осциллограммы тока (I, I') и излучения плазмы ($2, 2'$) объемного импульсно-периодического разряда в смесях $P(\text{Kr})/P(\text{Cl}_2) = 80/40$ (a) и $640/120$ Па (b) при среднем токе разряда 10 ($I, 2$) и 50 ма ($I', 2'$).

полоса 222 nm $\text{KrCl}(\text{B-X})$. Из-за низкого давления рабочих смесей полосы излучения хлорида криптона и молекул хлора уширены и перекрываются между собой. Они фактически образуют широкую единую полосу в диапазоне $180\text{--}280 \text{ nm}$. При низком парциальном давлении криптона в смеси (рис. 1, a) яркости полос молекул KrCl и хлора соизмеримы по величине, а при увеличении содержания криптона в смеси (рис. 1, b) преобладающей в излучении становится полоса 222 nm $\text{KrCl}(\text{B-X})$. Наиболее оптимальный состав газовой смеси для получения максимальной яркости молекул хлора и хлорида криптона в спектрах излучения плазмы был следующим $P(\text{Kr})/P(\text{Cl}_2) = (500 - 650)/(120 - 200)$ Па.

Характерная динамика тока и излучения разряда в смеси криптон/хлор приведена на рис. 2. Разряд в смесях низкого давления (рис. 2, a) имел наибольший объем и характеризовался максимальной яркостью суммарного излучения при малых средних токах разряда

($I_{ch} \leq 10$ mA). Импульсы излучения начинали формироваться еще на переднем фронте импульса тока накачки, но максимума достигали в максимуме или ближайшем послесвечении тока разряда. Увеличение парциального давления Kr в смеси приводило к сдвигу максимумов излучения в область переднего фронта тока накачки. При этом различие в форме импульсов излучения при средних тока разряда 10 и 50 mA нивелируется.

Таким образом, показано, что при питании системы типа „сферический анод–плоский катод“ от источника постоянного напряжения в смеси Kr/Cl₂ формируется импульсно-периодический объемный разряд, являющийся селективным источником УФ–ВУФ излучения на переходах молекул KrCl и Cl₂^{**}, основной причиной формирования разряда является прилипательная неустойчивость хлорсодержащей плазмы; данный разряд может быть использован для разработок простых эксимерно-галогенных ламп низкого давления с длительностью импульсов излучения $\tau \leq 400$ ns.

Список литературы

- [1] *Sigimura H., Takai O., Nakagiri N.* // Journ. of Electroanalytic Chemistry. 1999. V. 437. P. 230–234.
- [2] *Boyd I.W., Zhang I.Y.* // Mat. Soc. Symp. 2000. V. 617. P. J. 4.4.1–4.4.12.
- [3] *Polunin G.S., Kourenkov V.V., Polunina E.G.* // Journ. of Refractive Surgery. 1998. V. 14. N 2 (suppl.). P. 230–234.
- [4] *Визирь В.А., Скакун В.С., Смородов Г.В., Соснин Э.А.* // Квант. электр. 1995. Т. 22. № 5. С. 519–522.
- [5] *Борисов В.М., Водчиц В.А., Ельцов А.В., Христофоров О.Б.* // Квант. электрон. 1998. Т. 25. № 4. С. 308–313.
- [6] *Шуаибов А.К.* // Письма в ЖТФ. 2000. Т. 26. В. 9. С. 1–6.
- [7] *Shuaibov A.K., Shimon L.L., Shevera I.V., Minya A.J.* // Journ. of Phys. Stud. 1999. V. 3. N 2. P. 157–163.
- [8] *Шуаибов А.К., Шимон Л.Л., Миня А.И., Дащенко А.И.* // ПТЭ. 1997. № 6. С. 128–130.
- [9] *Shuaibov A.K., Shimon L.L., Minya A.I.* // Journ. of Phys. Stud. 2000. V. 4. N 3. P. 291–297.
- [10] *Александров Н.Л., Напартович А.П.* // Усп. физ. наук. 1993. Т. 163. № 3. С. 1–26.
- [11] *Шуаибов А.К., Дащенко А.И., Шевера И.В.* // Квант. электрон. 2001. Т. 31. № 6. С. 547–548.