

02;04;07

Об условиях контрагирования многоэлектродного коронного разряда на смесях He/Ar, Kr, Xe

© А.К. Шуаибов

Ужгородский государственный университет

Поступило в Редакцию 30 апреля 1999 г.

Приводятся результаты исследования контрагирования коронного разряда в системах электродов "иголка-сетка" и "иголка-плоскость" при питании их стационарным напряжением отрицательной полярности. Разряд зажигался в рабочих средах инфракрасных лазеров на p - d -переходах атомов тяжелых инертных газов (смеси He/Ar, Kr, Xe). Исследование вольт-амперных характеристик показало, что в смесях He/Ar, Kr гистерезис на возрастающем участке вольт-амперной характеристики отсутствует, а в коронном разряде на смеси He/Xe он проявляется. При величине напряжения на иголках ≥ 5.5 kV и величине балластного сопротивления $R_b \geq 0.5$ M Ω на падающем участке зависимости $I = f(U)$ (где I , U — средний ток и напряжение на разрядном промежутке) обнаружено динамическое контрагирование данного коронного разряда, сопровождающееся пульсациями тока с $f = 3$ –5 kHz и петлями гистерезиса. Максимальное содержание атомов тяжелых инертных газов при [He] = 200–300 kPa составляет [Ar] ≤ 12 , [Kr] ≤ 8 и [Xe] ≤ 4 kPa.

Многоэлектродный коронный разряд (КР) в системе электродов (СЭ) "иголка-сетка (плоскость)" на смесях He/Ar, Kr, Xe=100/1 ($P = 100$ –350 kPa), зажигаемый при помощи стационарного напряжения отрицательной полярности, существует в виде пространственно-однородного плазмообразования, близкого к поперечному тлеющему разряду [1]. Достигнутые удельные энерговыделения в плазму ≤ 1 W/cm³ делают его перспективным для разработки простых лазеров на p - d - и p - s -переходах тяжелых инертных газов (R) в стационарном режиме работы [2]. Основным фактором, препятствующим разработке таких лазеров, является нетепловая контракция данного КР, проявляющаяся при повышенном напряжении питания и содержании R . Контрагирование разряда в инертных газах (при $P \leq 10$ kPa) наиболее детально исследовалось в стационарном продольном разряде и проявлялось в

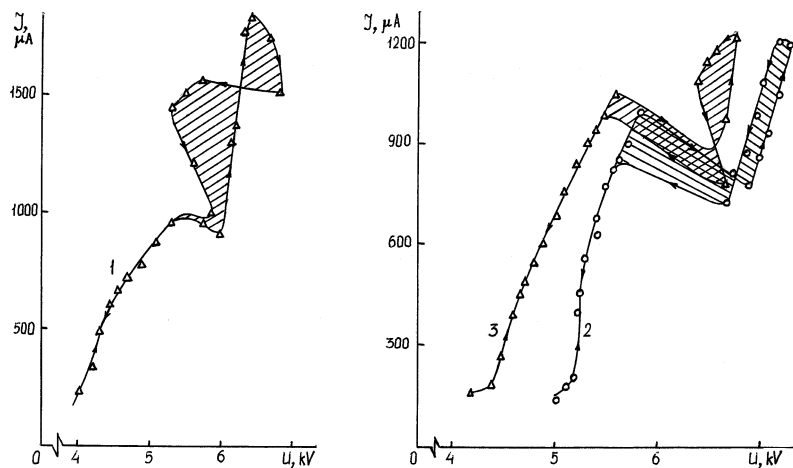


Рис. 1. ВАХ отрицательного КР в СЭ "иголки-сетка" (1, 3) и "иголки-плоскость" (2), зажигаемого в смеси He/Ar = 300/2.8 (1) и He/Kr = 300/2.8 кПа (2, 3).

стягивании тока в центр цилиндрической разрядной трубки [3–5]. При этом было показано, что контрагирование проявляется в виде стационарного и динамического режимов, а динамический режим сопровождается пульсациями тока ($f = 5–10$ kHz) при наличии в цепи питания мегаомного балластного сопротивления. Контрагирование стационарного разряда высокого давления в рабочих средах $R(p-d; p-s)$, получаемого в СЭ КР, близкой к поперечной, не излучалось.

В данной работе приводятся результаты исследования условий контрагирования многоэлектродного КР в рабочих средах электро-разрядных лазеров высокого давления на атомах тяжелых инертных газов.

КР зажигался в двух протяженных СЭ типа "иголки-плоскость" — униполярная (УП) и "иголки-сетка" — биполярная (БП) системы длиной по 5 см. Межэлектродное расстояние 2 см. СЭ включала в себя два ряда иголок с радиусом закругления острия 0.5 mm и интервалом между иголками (и рядами иголок) 1 см. Другие условия эксперимента были аналогичны описанным в работах [2,6].

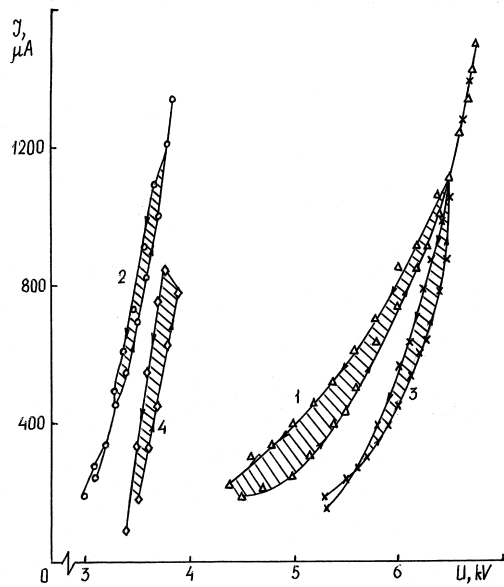


Рис. 2. ВАХ КР в смеси He/Xe = 300/4 (1, 3) и 150/4 кПа (2, 4): 1, 2 — БП; 3, 4 — УП.

На рис. 1 и 2 представлены ВАХ КР в смесях He/R при разных давлениях смесей. Все ВАХ КР на смесях He/Xe имели возрастающую зависимость $I = f(U)$ и гистерезис, который проявлялся уже при околопороговых напряжениях питания. При повышенных давлениях смеси He/Xe ($P \geq 250$ кПа) форма ВАХ была близкой к квадратической $I = \alpha(U - U_0)^2$, где α — постоянная, U_0 — потенциал зажигания разряда. При $P \leq 150$ кПа область устойчивого существования данных КР по величине напряжения на разрядном промежутке уменьшалась с 2.0 до 0.3 кВ, а ВАХ приобретала линейно возрастающую форму аналогично ВАХ тлеющего разряда, контролируемого процессами рекомбинации (в данных условиях это реакция диссоциативной рекомбинации ионов R_2^+ с медленными электронами) [7]. При $U = 6.3$ кВ и давлении смеси $P = 300$ кПа (зависимости 3 и 4 рис. 2) наблюдалось контрагирование разряда, выражающееся в угасании однородного разряда между кончи-

ками иголок и сеткой (или пластиной) и формировании яркого токового канала в точке подвода напряжения к иголкам. Области с отрицательным сопротивлением (отрицательный наклон ВАХ) не проявлялись, а разряд при $U \leq 6.3 \text{ kV}$ горел в стационарном режиме. Замена атомов Хе более легкими атомами Аг и Кг приводила к практически полному исчезновению гистерезиса на начальном участке ВАХ и появлению областей с отрицательным сопротивлением. Контрагирование разрядов в области $U = 6.0\text{--}6.3 \text{ kV}$ сопровождалось пульсациями тока частотой $f = 3\text{--}5 \text{ kHz}$ и было не столь явно выражено. Токовый канал в данной области U существовал на фоне тлеющего разряда, яркость излучения и однородность которого значительно уменьшались. Для всех случаев потенциал зажигания БП КР был на $1.0\text{--}1.5 \text{ kV}$ меньше, чем УП КР в той же рабочей смеси. Добавление небольшого количества молекул хлористого водорода ($20\text{--}50 \text{ Pa}$) приводило к устранению гистерезиса тока на ВАХ. Разряд при этом сохранял объемный характер, но максимальный ток на неконтрагированной стадии уменьшался в $1.5\text{--}2$ раза. Основной причиной появления гистерезиса тока КР в инертных газах являются метастабильные атомы $R(m)$ и молекулы $R_2(m)$, вступающие между собой в реакции хемионизации [8]. Поэтому наличие молекул HCl в плазме (за счет протекания эффективных "гарпунных" реакций с образованием эксимерных молекул (RCl^*) [9] и тушения $R(m)$ молекулами HCl) уменьшает плотность метастабильных атомов R и гистерезис исчезает. В зависимости от рода и содержания атомов R в газовых смесях изменяются условия перехода КР в контрагированное состояние. В настоящем эксперименте для высоких давлений Хе в смесях ($P \geq 200 \text{ kPa}$) неконтрагированный разряд зажигался при $[Xe] \leq 4$, $[Kг] \leq 8$ и $[Ag] \leq 12 \text{ kPa}$. Появление пульсаций тока в некоторых режимах данного КР может рассматриваться как проявление динамического контрагирования разряда аналогично продольному тлеющему разряду среднего давления в Аг [3]. Причиной пульсаций тока в этом случае является наличие участка ВАХ с отрицательным сопротивлением и раскачка автоколебаний (при балластном сопротивлении $R_b \geq 0.5 \text{ M}\Omega$), так как электрическая цепь разряда всегда обладает паразитными индуктивностью и емкостью ($C = 50\text{--}100 \text{ pF}$), что и образует колебательную систему.

Физическими причинами контрагирования данного разряда являются нелинейная зависимость скорости ионизации (хемионизация $R(m)$ и $R_2(m)$) от величины плотности электронов, наличие кулоновских

столкновений и неравномерный разогрев газовой среды. Детальное количественное исследование механизма контракции многоэлектродного КР требует проведения численного моделирования кинетики процессов в плазме и расчета характеристик разряда.

Таким образом, исследование контрагирования многоэлектродного КР в рабочих средах лазеров на $R(p-d)$ (смеси He/Ar, Kr, Xe = 100/1; $P = 100-300$ кПа) показало, что ВАХ разряда характеризуются гистерезисом, а в смесях He/Ar, Kr наблюдаются участки с отрицательным сопротивлением, приводящие к развитию в системе автоколебаний (пульсации тока $f = 3-5$ kHz) при превышении определенного значения U , давления смеси или содержания атомов тяжелых инертных газов.

Список литературы

- [1] Шуаибов А.К., Шевера И.В. // ЖТФ. 1997. Т. 67. В. 11. С. 15–18.
- [2] Шуаибов А.К., Шевера И.В., Дащенко А.И. // Квантовая электроника. 1997. Т. 24. № 6. С. 519–522.
- [3] Липатов Н.И., Минеев А.П., Мышенков В.И. и др. // ЖТФ. 1985. Т. 55. В. 9. С. 1730–1735.
- [4] Елецкий А.В., Чифликян Р.В. // Химия плазмы / Под ред. Б.М. Смирнова. М.: Энергоатомиздат, 1988. В. 15. С. 266–293.
- [5] Голубовский Ю.Б., Некучаев В.О., Пелюхов Е.Б. // ЖТФ. 1996. Т. 66. В. 3. С. 43–53; 1996. Т. 66. В. 10. С. 76–91.
- [6] Шуаибов А.К., Дащенко А.И., Шевера И.В., Миня А.И. // Физика плазмы. 1997. Т. 23. № 10. С. 960–965.
- [7] Райзер Ю.П. // Физика газового разряда. М., 1987. 590 с.
- [8] Белевцев А.А. // IV Всесоюз. конф. по физике газового разряда. Махачкала. ДГУ. Тез. докл. Ч. 1. С. 15–16.
- [9] Шуаибов А.К. // ЖПС. 1998. Т. 65. № 2. С. 205–210.