

04;07;12

Оптические характеристики плазмы поперечного объемного разряда в смеси гелия и хлористого водорода

© А.К. Шуайбов, Л.Л. Шимон, И.В. Шевера, И.И. Сабов

Ужгородский национальный университет,
88000 Ужгород, Украина
e-mail: ishev@univ.uzhgorod.ua

(Поступило в Редакцию 4 мая 2005 г.)

Приводятся результаты исследования эмиссионных характеристик поперечного объемного разряда в смеси $\text{He-HCl} = 10-1$ при суммарном давлении 1–8 кПа. Объем плазмы составлял $18 \times 2.2 \times 1 \text{ cm}^3$ при межэлектродном расстоянии $d = 2.2 \text{ cm}$ и напряжении заряда основной накопительной емкости 5–10 кВ. Эмиссионные характеристики разряда исследовались в спектральной области 500–1000 нм. Разряд представляет интерес для использования в импульсном плазмохимическом реакторе сухого травления. Плотность радикалов хлора (атомарных) в плазме оптимизировалась по давлению исходной рабочей смеси He-HCl с использованием относительной интенсивности излучения спектральной линии атома хлора 837(5) нм. Непрямой контроль за плотностью молекулярных радикалов возможно проводить и по излучению не хлорсодержащих возбужденных продуктов распада молекул HCl (спектральная линия 656 нм H_α).

PACS: 52.70.Kz

Импульсно-периодический сильноточный разряд в чистых хлорсодержащих газах и на их смесях с легкими инертными газами, который возбуждался при помощи поперечного объемного разряда (ПОР), представляет значительный интерес для применения в мощных ультрафиолетовых (УФ) лампах [1,2], а также импульсно-периодическом реакторе сухого травления [3]. Применение мониторинга процессов *in situ* и детекторов окончания реакции травления тонкой пленки вызывает необходимость в контроле концентрации радикалов хлора в процессе травления, что может быть реализовано методами эмиссионной спектроскопии [4]. Излучение плазмы ПОР в фреоне-12 (CF_2Cl_2) и хлоре (Cl_2) изучалось в работах [5,6]. ПОР в смесях инертных газов с молекулами HCl детально изучался только в смесях He-Xe(Kr)-HCl , которые являются рабочими для электроразрядных эксимерных лазеров и в плазмохимии не применяются.

В данной статье приведены условия получения и эмиссионные характеристики однородного ПОР в смеси He-HCl , которая может быть использована в импульсных плазмохимических реакторах среднего давления.

ПОР зажигался в системе электродов с цилиндрической рабочей поверхностью при межэлектродном расстоянии 2.2 см. Объем плазмы ПОР составлял $18 \times 2.2 \times 1 \text{ cm}^3$. Устройство разрядного модуля с ПОР приведено в работе [7]. Емкость основного накопительного конденсатора составляла 10 нФ, а суммарная емкость системы искровой УФ-предыонизации (которая выполняет и роль обострительных конденсаторов) — 9.4 нФ. Коммутатором в разрядном устройстве с ПОР служил водородный тиратрон ТГИ1 1000/25. Импульс тока ПОР регистрировался с помощью малоиндуктивного оциллографа 6 ЛОР-04, а импульсы напряжения измерялись с использованием малоиндуктивной емкостно-

го делителя. Зарядное напряжение (U_{ch}) изменялось в диапазоне 5–10 кВ. Идентификация спектральных линий проводилась с использованием таблиц [8]. Излучение плазмы ПОР регистрировалось в спектральной области 500–1000 нм при помощи монохроматора МДР-2 и фотоумножителя ФЭУ-106. При регистрации излучения использовался светофильтр, отсекающий излучение с длинами волн $< 500 \text{ nm}$, что исключало наложение вторых порядков на излучение в рабочем спектральном диапазоне. Спектральное разрешение МДР-2 с дифракционной решеткой 600 штрихов на мм не превышало 0.5–1.0 нм. Калибровка системы „МДР-2 + ФЭУ-106“ выполнялась с помощью банд-лампы СИ 8-2000 в спектральной области 400–1000 нм.

Однородный ПОР в смеси He-HCl устойчиво зажигался при зарядном напряжении основного накопительного конденсатора 5–10 кВ при давлении рабочей смеси

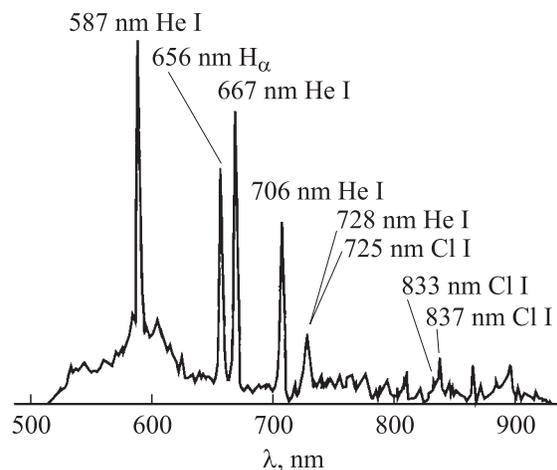


Рис. 1. Спектр излучения ПОР в смеси $\text{He-HCl} = 10-1$ ($p = 8.0 \text{ kPa}$) при ($U_{\text{ch}} = 7.5 \text{ kV}$).

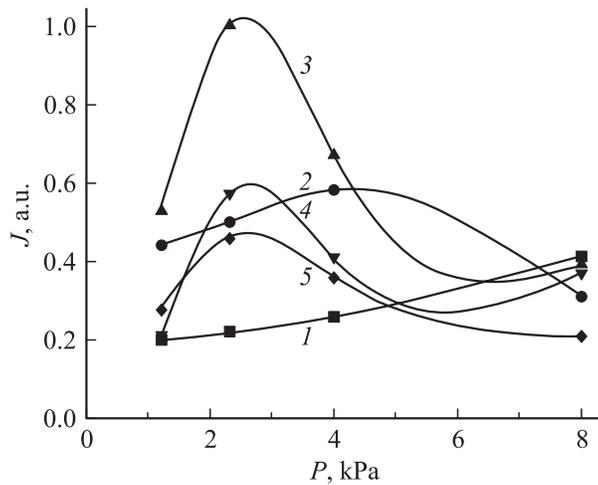


Рис. 2. Зависимость относительной интенсивности излучения спектральных линий в плазме ПОР на смеси He–HCl = 10–1 от ее давления: 837 nm Cl I (1), (725 nm Cl I + 728 nm He I) (2), 706 nm He I (3), 668 nm He I (4), 656 nm H α (5) и 587 nm He I (6) при $U_{ch} = 7.5$ kV.

1–10 kPa. Ток разряда имел положительную и отрицательную полуволну длительностью 80–100 ns. Ток ПОР начинал формироваться после пробоя межэлектродного промежутка в максимуме осциллограммы напряжения на электродах. Суммарная длительность импульсов напряжения составляла (на уровне 0.9 от амплитуды) примерно 150–170 ns, а сам импульс состоял из главного максимума длительностью 30–40 ns и второго максимума длительностью 100–130 ns. Аппаратный спектр излучения плазмы ПОР представлен на рис. 1, а относительные интенсивности основных спектральных линий, полученные с учетом относительной спектральной чувствительности системы „МДР-2 + ФЭУ-106“, приведены в таблице.

Распределение интенсивности в спектре излучения плазмы ПОР на смеси He–HCl = 10–1 при давлении 8 kPa и зарядном напряжении 8 kV

λ , nm	837 Cl I	728 He I 725 Cl I	706 He I	667 He I	656 H α	587 He I
J , a.u.	1.0	0.3	0.6	0.8	0.5	0.4

На фоне слабых и перекрывающихся между собой полос молекул Cl $_2^*$ и Cl $_2^{+*}$ в спектральном диапазоне 500–700 nm, как и в плазме чистого хлора [9], нами также наблюдались наиболее интенсивные спектральные линии атома гелия и линия H α . В области же спектра 700–900 nm наблюдались спектральные линии атома хлора. Наиболее интенсивной и хорошо выделяющейся реперной линией хлора является линия 837 nm Cl I. Из других возбужденных продуктов распада молекул HCl, по которым косвенно можно контролировать плотность

молекулярных радикалов, были атомы водорода (спектральная линия 656 nm H α).

На рис. 2 приведены зависимости относительной интенсивности излучения ПОР в смеси He–HCl = 10–1 от ее давления. Увеличение давления приводило к увеличению интенсивности излучения атомов хлора, а интенсивность излучения спектральных линий атомов гелия и H α достигает максимума при давлении 2.3 kPa, а при более высоком давлении уменьшается. Уменьшение интенсивности излучения линий атомов He и H α связано как с тушением излучения возбужденных атомов молекулами HCl, так и с потерей однородности ПОР при таких малых значениях зарядного напряжения.

Таким образом, показано, что при умеренном зарядном напряжении ($U_{ch} = 5–10$ kV) в ПОР с субмикросекундной длительностью импульсов тока на смеси He–HCl = 10–1 ($P = 1–8$ kPa) формируется однородная плазма, которая может использоваться в импульсном реакторе сухого травления с контролируемой плотностью атомарных радикалов хлора; диагностика плазмы методом эмиссионной спектроскопии с применением спектрометров среднего разрешения возможна по спектральным линиям 656 nm H α и 706(5) nm He I; контроль за плотностью атомарных радикалов хлора возможен по спектральной линии 837 nm Cl I.

Список литературы

- [1] Василяк Л.М., Костюченко С.В., Красночуб А.В., Кузьменко М.Е. // ЖПС. 1998. Т. 65. № 2. С. 302–304.
- [2] Шуаибов А.К. // Письма в ЖТФ. 2000. Т. 26. Вып. 9. С. 1–6.
- [3] Королев Ю.Д., Месяц Г.А., Ярош А.М. // Химия высоких энергий. 1987. Т. 21. № 5. С. 464–468.
- [4] Орликовский А.А., Руденко К.В. // Микроэлектроника. 2001. Т. 30. № 2. С. 85–105.
- [5] Шуаибов А.К. // Письма в ЖТФ. 1998. Т. 24. Вып. 23. С. 30–34.
- [6] Шуаибов А.К., Шимон Л.Л., Шевера И.В., Дащенко А.И. // Физика плазмы. 1999. Т. 25. № 9. С. 640–645.
- [7] Шевера В.С., Шуаибов А.К., Неймет Ю.Ю. // Патент Украины на изобретение № 17169 А. Заяв. 24.01.1994. Оpubл. 31.10.1997. БИ. № 5.
- [8] Стриганов А.П., Одицова Г.А. Таблицы спектральных линий атомов и ионов. Справочник. М., 1982.
- [9] Шуаибов А.К., Дащенко А.И., Шевера И.В. // Письма в ЖТФ. 2002. Т. 28. Вып. 8. С. 48–53.