

ВУФ-ЛАМПА ЕМКОСТНОГО РАЗРЯДА НА СМЕСИ ПАРОВ ВОДЫ С АРГОНОМ

© 2012 г. А. К. Шуаибов, доктор физ.-мат. наук; А. И. Миня, канд. физ.-мат. наук;
З. Т. Гомоки; И. В. Шевера; Р. В. Грицак, аспирант

Ужгородский национальный университет, г. Ужгород, Украина

E-mail: shuaibov@univ.uzhgorod.ua

Приведены результаты исследования спектральных характеристик плазмы (175–200 нм) импульсно-периодической лампы емкостного разряда, которая работает на смеси паров воды с аргоном. Показано, что при низком давлении аргона емкостной разряд является широкополосным источником вакуумного ультрафиолетового излучения. Проведена оптимизация интенсивности полос излучения плазмы емкостного разряда в зависимости от парциального давления аргона и паров воды. Для разряда в смеси аргона с парами воды выполнены расчеты электронных кинетических коэффициентов.

Ключевые слова: емкостный разряд, ВУФ-излучение, электронные кинетические коэффициенты.

Коды OCIS: 280.5395

Поступила в редакцию 11.03.2012

Введение

В работах [1, 2] приведены результаты исследования ультрафиолетового (УФ) излучения тлеющего разряда в смеси паров воды с аргоном. Менее изученными являются источники вакуумного ультрафиолетового (ВУФ) излучения емкостного разряда с недорогой, экологически чистой и безопасной рабочей средой. Необходимо отметить преимущество использования емкостного разряда вместо тлеющего разряда, которое заключается в том, что плазма паров воды не контактирует с электродами. Малоизученными являются и параметры подобной плазмы. Чтобы понять поведение процессов в разряде на смеси $\text{Ar}-\text{H}_2\text{O}$, целесообразно проведение численного моделирования газоразрядного источника ВУФ-излучения.

Эксперимент

Исследование лампы импульсно-периодического емкостного разряда на основе смеси аргона с парами воды проводили с использованием цилиндрической кварцевой трубки с наружным диаметром 7 мм и длиной 50 см. Расстояние между катодом и анодом, которые были изготовлены из никелевой фольги шириной 2 см,

составляло 20 см. Основные электроды размещались на внешней поверхности газоразрядной трубки. Импульсы напряжения амплитудой 25–40 кВ и частотой 50–1000 Гц подавались на электроды. Пары воды напускали из баллона с дистиллированной водой, который был установлен в вакуумной газосмесительной системе. Если на электроды подавалось напряжение U менее 30 кВ, то между электродами возникал импульсно-периодический емкостный разряд. Для исследования спектров излучения этого разряда использовали однометровый вакуумный монохроматор и фотоумножитель ФЭУ-142. Интенсивность полос определялась как площадь под соответствующей спектральной кривой.

Результаты эксперимента и их обсуждение

Емкостный разряд в смеси $\text{Ar}-\text{H}_2\text{O}$ однородно заполнял весь объем между электродами газоразрядной трубки и имел розовый цвет с фиолетовым оттенком. Спектры ВУФ-излучения исследовали в спектральной области 120–314 нм при парциальных давлениях $p(\text{H}_2\text{O}) = 0,02\text{--}0,2$ кПа и $p(\text{Ar}) = 1,33\text{--}10,66$ кПа. На рис. 1а, б, в представлены

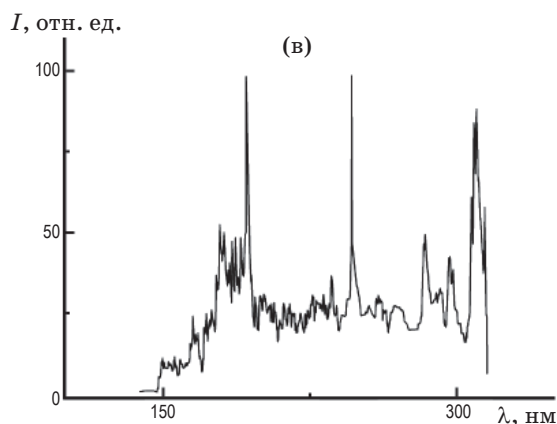
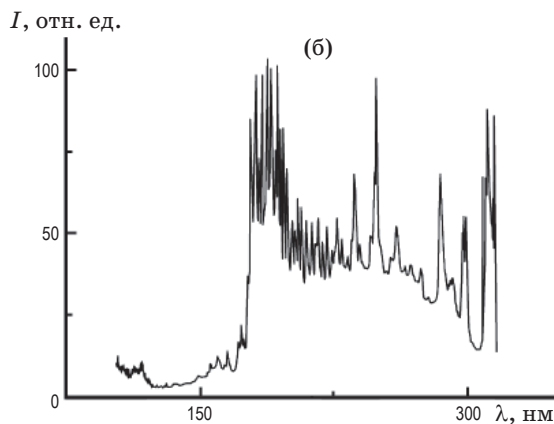
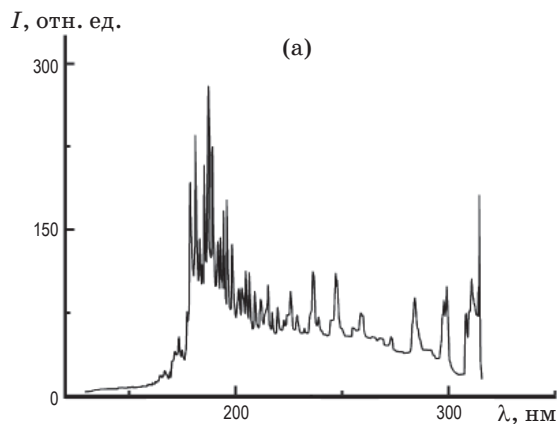


Рис. 1. Спектры излучения емкостного разряда на смеси $p(\text{Ar})-p(\text{H}_2\text{O}) = 1,33-0,133$ кПа (а), $p(\text{Ar})-p(\text{H}_2\text{O}) = 2,66-0,2$ кПа (б), $p(\text{Ar})-p(\text{H}_2\text{O}) = 10,66-0,133$ кПа (в).

спектры излучения лампы емкостного разряда на смесях $p(\text{Ar})-p(\text{H}_2\text{O}) = 1,33 - 0,13$ кПа, $p(\text{Ar})-p(\text{H}_2\text{O}) = 2,66 - 0,02$ кПа и $p(\text{Ar})-p(\text{H}_2\text{O}) = 10,66 - 0,13$ кПа.

Основное излучение плазмы емкостного разряда сконцентрировано в диапазоне 175–200 нм. Данные полосы могут быть отождествлены с электронно-колебательными переходами гидроксила (С-А, В-Х) и могут быть связаны с излучением возбужденных комплексов молекул $(\text{OH})_n^*$ (H_2O) [3]. Максимальная интенсивность полос ВУФ-диапазона наблюдается, когда $p(\text{Ar}) = 1,33$ кПа и $p(\text{H}_2\text{O}) = 0,13$ кПа (рис. 1а). При увеличении давления аргона от 1,33 кПа до 2,66 кПа – интенсивность данных полос уменьшается в 2,5 раза (рис. 1б). Увеличение парциального давления аргона до 10,66 кПа (рис. 1в) приводит к еще большему уменьшению интенсивности ВУФ-излучения плазмы. Наиболее сильное влияние на излучение в ВУФ-области спектра смеси $\text{Ar}-\text{H}_2\text{O}$ оказывает давление аргона. При малых давлениях аргона наблюдаются наиболее интенсивные полосы излучения ОН.

На рис. 2 приведена интенсивность полос излучения в диапазоне 150–200 нм в зависимости от парциального давления аргона при $p(\text{H}_2\text{O}) = 0,13$ кПа. Чтобы получить наибольшую интенсивность излучения, опти-

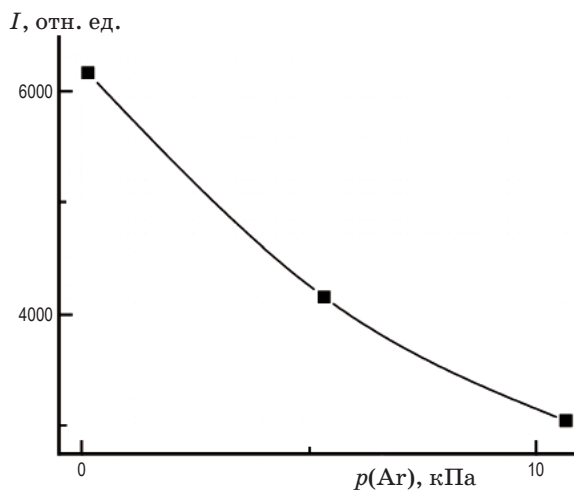


Рис. 2. Зависимость интенсивности излучения характеристических полос (150–200 нм) газоразрядной плазмы на смеси $\text{Ar}-\text{H}_2\text{O}$ от величины давления аргона при $p(\text{H}_2\text{O}) = 0,13$ кПа.

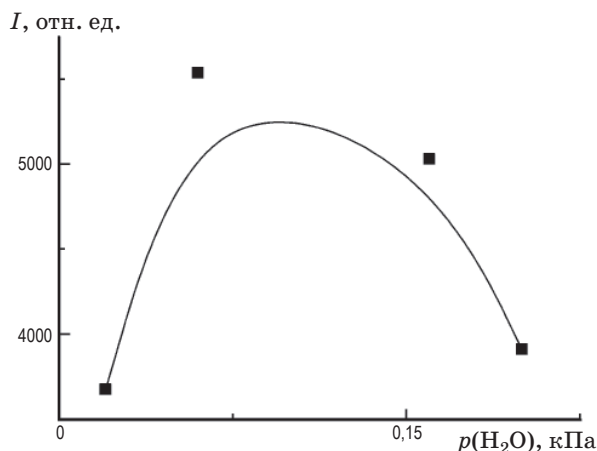


Рис. 3. Зависимость интенсивности излучения характеристических полос (150–200 нм) газоразрядной плазмы на смеси Ar–H₂O от величины давления паров воды при $p(\text{Ar}) = 2,66$ кПа.

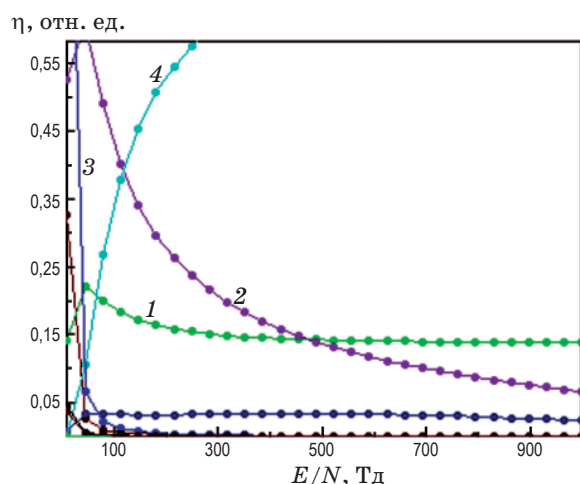


Рис. 4. Распределение удельных потерь мощности разряда на элементарные процессы в смеси $p(\text{Ar})-p(\text{H}_2\text{O}) = 1,8-0,16$ кПа от параметра E/N : возбуждение низких энергетических уровней атомов аргона (1, 2), воды (3), ионизация атома аргона (4).

мальное давление аргона должно составлять 0,1–0,5 кПа. Зависимость интенсивности полос ВУФ-излучения плазмы от парциального давления паров воды (рис. 3) показало, что для получения максимальной интенсивности полос в диапазоне 150–200 нм оптимальное давление паров воды должно составлять 0,06–0,16 кПа.

Если сравнить зависимости спектральных полос излучения в диапазоне длин волн 175–

200 нм смеси He–H₂O при $p(\text{He}) = 2,66$ кПа и смеси Ar–H₂O при $p(\text{Ar}) = 2,66$ кПа, то применение Ar вместо He приводит к уменьшению интенсивности полос излучения [4].

Проведены численные расчеты электронных коэффициентов путем решения уравнения Больцмана для функции распределения электронов по энергиям (ФРЭЭ) с использованием программы Bolsig⁺ [5]. Расчеты проводили для смеси $p(\text{Ar})-p(\text{H}_2\text{O})$ в диапазоне $E/N = 1-1000$ Тд. Процессы, которые были учтены при решении кинетического уравнения Больцмана, для ФРЭЭ приведены в работе [4]. Максимальными были константы скорости диссоциативного возбуждения молекулы H₂O. Константы скорости процессов диссоциативного прилипания электронов к молекуле воды, которые имеют наименьший порог по энергии, были наименьшими. Также была рассчитана зависимость средней энергии электронов в разряде на смеси Ar–H₂O от параметра E/N . Было установлено, что по мере увеличения параметра E/N почти линейно возрастает и энергия электронов в плазме. Из рассчитанных зависимостей удельных потерь мощности разряда в смеси Ar–H₂O (рис. 4) следует, что максимальными были потери мощности на возбуждение (1–3) и ионизацию (4) наиболее низких энергетических уровней воды и атомов аргона.

Заключение

Из исследования эмиссионных характеристик лампы импульсно-периодического емкостного разряда следует, что основными в спектрах смеси Ar–H₂O являются полосы диапазона 175–200 нм. Данные полосы могут быть отождествлены с излучением радикала ОН. Чем меньше парциальное давление аргона, тем выше интенсивность излучения полос ВУФ-диапазона. Это указывает на низкую эффективность процесса передачи энергии от атомов Ar в метастабильных состояниях молекулам воды при возбуждении емкостного разряда короткими высоковольтными импульсами. Для излучения смеси аргона с парами воды оптимальное давление аргона составляет 0,1–0,5 кПа, а оптимальное давление паров воды – 0,06–0,16 кПа. Полученные в представленной работе результаты могут быть использованы при расчетах кинетики процессов, развивающихся в ВУФ-лампе при емкостном разряде.

* * * * *

ЛИТЕРАТУРА

1. Вуль А.Я., Кидалов С.В., Миленин В.М., Тимофеев Н.М., Ходорковський М.А. Исследование тлеющего разряда в смеси аргона с гидроксидом ОН // Письма в ЖТФ. 1999. Т. 25. № 8. С. 62–63.
 2. Вуль А.Я., Кидалов С.В., Миленин В.М., Тимофеев Н.М., Ходорковський М.А. Новый эффективный газоразрядный источник оптического излучения низкого давления на основе гидроксида ОН // Письма в ЖТФ. 1999. Т. 25. № 1. С. 10–16.
 3. Шуаибов А.К., Шимон Л.Л., Дащенко А.И., Шевера И.В. Электроразрядный ВУФ-излучитель на парах воды // Письма в ЖТФ. 2001. Т. 27. № 115. С. 46–50.
 4. Шуаибов А.К., Миня А.И., Малинин А.Н., Гомоки З.Т., Грицак Р.В. ВУФ-лампа с накачкой емкостным разрядом на смесях инертных газов с молекулами воды // Журнал прикладной спектроскопии. 2011. Т. 78. № 6. С. 927–931.
 5. <http://siglo-kinema.com/bolsig.htm>.
-