

04;07;12

Эмиссионные характеристики газоразрядного ультрафиолетового излучателя низкого давления на парах воды

© А.К. Шуаибов, А.А. Генерал, В.А. Кельман, И.В. Шевера

Ужгородский национальный университет, Ужгород, Украина

E-mail: ishev@univ.uzhgorod.ua

Институт электронной физики НАН Украины, Ужгород, Украина

E-mail: vkel@mail.uzhgorod.ua

Поступило в Редакцию 24 октября 2007 г.

Приведены эмиссионные характеристики ультрафиолетового (УФ) излучателя на парах обычной и тяжелой воды, который возбуждался при помощи импульсно-периодического и тлеющего разрядов низкого давления. Детально исследовано излучение в спектральном диапазоне 300–330 нм. Парциальное давление паров воды составляло 50–2500 Па. Сравнительное исследование излучательных характеристик плазмы при низких (50–150 Па) и повышенных (2.0–2.5 кПа) давлениях паров воды показало, что характер спектров излучения имеет существенные отличия, которые могут быть обусловлены разной природой излучающей молекулы (молекулы гидроксила или малые кластеры на основе гидроксила молекул воды). Представлены результаты исследования импульсов тока и излучения в импульсно-периодическом разряде на парах воды.

PACS: 52.80.Nc

Плазма паров воды, которая образуется при помощи разного типа электрических разрядов как повышенного [1–3], так и низкого [4–6] давления, является перспективной, экологически чистой и недорогой рабочей средой для ламп, излучающих в спектральном диапазоне 130–325 нм. Такие лампы находят все более широкое использование в различных оптических технологиях (нано- и микроэлектроника, фотохимия, фотомедицина и др.). Наибольшее количество исследований УФ-излучателей на основе паров воды проведено с применением

тлеющего разряда постоянного тока (преимущественно при давлении паров воды, не превышающем 100–150 Pa).

Для получения большой импульсной мощности УФ-излучения паров воды при частоте $f = 1–10$ kHz перспективным является применение продольного импульсно-периодического разряда как в парах воды с открытыми электродами (при постоянной прокачке паров воды), так и в емкостном разряде (газостатические излучатели). Мало изучены также эмиссионные характеристики плазмы низкой плотности на основе паров „тяжелой воды“ (D_2O).

В настоящей работе приводятся результаты исследования характеристик продольного импульсно-периодического разряда в парах H_2O и D_2O (при парциальном давлении 150 Pa) и тлеющего разряда в парах воды (при $P(H_2O) = 2.0–2.5$ kPa).

Разряд возбуждался в кварцевой цилиндрической трубке с внутренним диаметром 1.2 см и длиной 33 или 40 см (импульсно-периодический разряд), а также в трубке диаметром 0.7 см и длиной 5 или 50 см (тлеющий разряд). Пары воды напускались из баллона с дистиллированной водой, который был установлен в вакуумной газосмесительной системе ($P(H_2O) = 50–150$ Pa). При необходимости получения давления насыщенных паров на уровне 2.0–2.5 kPa разрядная трубка устанавливалась в буферную камеру с резервуаром с водой. При возбуждении паров воды в продольном импульсно-периодическом разряде применялся генератор с резонансной перезарядкой накопительного конденсатора емкостью 1650 pF, а в качестве коммутатора использовался тиратрон ТГИ1-2000/35. Частота следования импульсов составляла 4.3 kHz, а напряжение на выпрямителе 2–3.2 kV.

Продольный тлеющий разряд постоянного тока зажигался с применением высоковольтного выпрямителя, рассчитанного на напряжение 1–30 kV и ток в нагрузке до 100 mA. Мощность, которая вкладывалась в тлеющий разряд, достигала 50 W.

Регистрация спектров и временных характеристик импульсно-периодического разряда осуществлялась с применением монохроматоров МДР-2 и МДР-6, фотоумножителя ФЭУ-106 и импульсного осциллографа С1-99. Спектральное разрешение составляло 0.2 nm.

Регистрация импульсов тока осуществлялась при помощи коаксиального шунта ($R_{sh} = 0.04 \Omega$). При работе в режиме постоянной прокачки паров воды и возбуждении их импульсно-периодическим разрядом давление паров воды в трубке составляло 150 Pa.

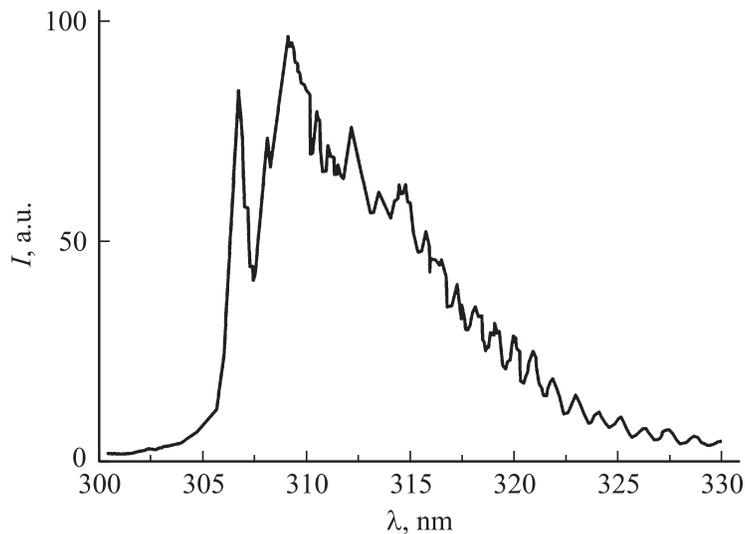


Рис. 1. Спектр излучения импульсно-периодического разряда в парах воды в режиме непрерывной откачки разрядной трубки.

На рис. 1 представлен спектр излучения плазмы паров воды в спектральном диапазоне 300–330 nm. В плазме паров воды регистрировались широкие полосы с четкими максимумами при 306, 308, 312 и 314 nm, которые могут быть отождествлены с электронно-колебательными полосами гидроксила: OH ($X^2\Pi-A^2\Sigma^+$) (переход 0–0). Наиболее интенсивными были Q_2 -ветвь с максимумом при 308.2 nm и R_1 - и R_2 -ветви с максимумами при 306.4 и 306.7 nm. Замена обычной воды на тяжелую приводила к увеличению средней мощности УФ-излучения ($\Delta\lambda = 300\text{--}330\text{ nm}$), а колебательная структура X–A полос была менее выраженной [7].

Типичный спектр излучения плазмы насыщенных паров воды при $P(\text{H}_2\text{O}) = 2.0\text{--}2.5\text{ kPa}$ представлен на рис. 2. Расшифровывались спектры при помощи таблиц [8]. Наиболее интенсивная УФ-полоса включала ряд максимумов: 307.0, 309.6 (основной), 312.4 и 315.2 nm. Но эти максимумы не совпадали с максимумами полос молекул гидроксила OH(A–X); они были сдвинуты в более длинноволновую область

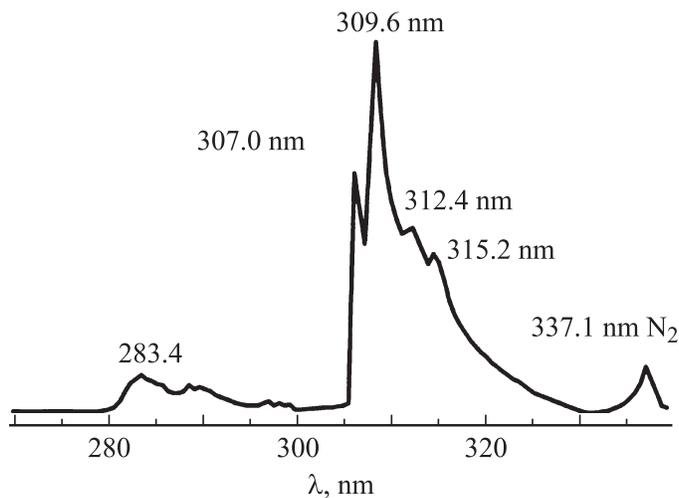


Рис. 2. Спектр излучения плазмы тлеющего разряда постоянного тока на смеси $P(\text{He})/P(\text{H}_2\text{O}) = 2.0/2.5$ кПа.

спектра. Исследование излучения высокочастотного разряда в парах воды при $P(\text{H}_2\text{O}) < 100$ Па также выявило широкую слабоструктурированную полосу в спектральном диапазоне 300–320 нм, с максимумом при 307.0, 308.3 и 309.1 нм [9]. В работе [9] эта полоса автором отождествлялась с излучением димолей гидроксила $(\text{OH})_2^*$.

Исходя из корреляции в положении кантов характеристических полос излучения тлеющего разряда и их поведения с уменьшением парциального давления паров воды [10], они с большей степенью вероятности могут относиться к излучению кластеров молекул типа $(\text{OH})_n^*$ или $(\text{OH})_n^*(\text{H}_2\text{O})_m$, где $n > 2$, $m \geq 1$.

Оценки средней мощности излучения в спектральном диапазоне 305–325 нм при увеличении длины положительного столба тлеющего разряда до 50 см при токе разряда 100 мА составляют 4–5 Вт.

На рис. 3 приведены осциллограммы импульсов тока и излучения полосы с максимумом при 308.2 нм для случая возбуждения паров воды импульсно-периодическим разрядом. Кривые 1, 2 на рис. 3 соответствовали рабочему напряжению на выпрямителе 3.2 кВ, а 3 и 4 — напряже-

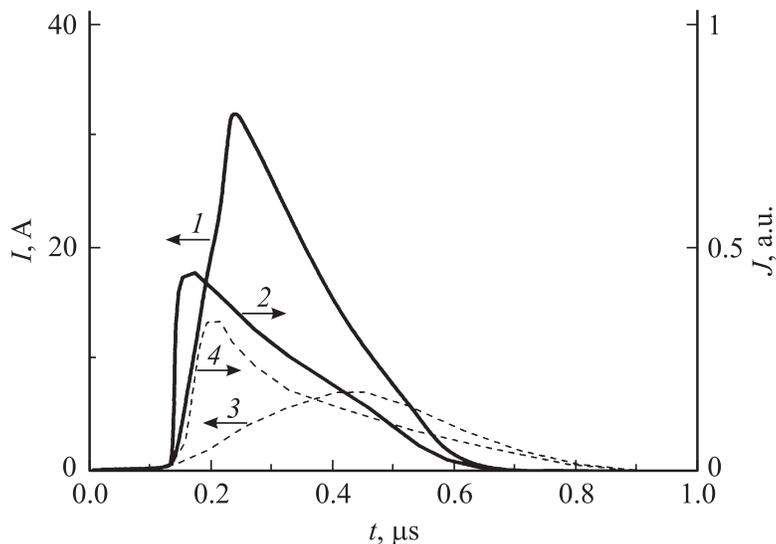


Рис. 3. Осциллограммы импульсов тока и излучения плазмы импульсно-периодического разряда в максимуме спектрального диапазона 306–312 nm.

нию 2.0 kV. Длительность импульсов тока полностью соответствовала длительности импульсов излучения и качественно коррелировалась по форме. Это указывает на то, что излучение исследуемой плазмы определялось электронными процессами. Но для точной идентификации природы излучающих молекул (молекул гидроксила или малых кластеров на его основе) требуется проведение детального численного моделирования импульсно-периодического разряда в парах воды.

Таким образом, исследование эмиссионных характеристик в спектральном диапазоне 305–325 nm стационарной и нестационарной плазмы паров воды выявило различия в форме полос излучения, которые могут быть связаны с разной природой излучающих молекул при низком (50–150 Pa) и повышенном (2.0–2.5 kPa) давлении паров воды; установлена перспективность использования паров „тяжелой“ воды D_2O в экологически чистых излучателях; при возбуждении тлеющим разрядом создана простая УФ-лампа на парах воды со средней мощностью излучения 4–5 W с рабочей площадью 220 cm^2 .

Список литературы

- [1] Шуаибов А.К., Дащенко А.И., Миня А.И. // Физика плазмы. 2002. Т. 28. № 8. С. 765–768.
- [2] Соснин Э.А., Ерофеев М.В., Авдеев С.М., Попенко А.М. и др. // Квантовая электроника. 2006. Т. 36. № 10. С. 981–983.
- [3] Шуаибов А.К., Шевера И.В., Шимон Л.Л., Соснин С.А. Сучасні джерела ультрафіолетового випромінювання: розробка і застосування. Ужгород–Томськ: Видавництво УжНУ „Говерла“, 2006. 223 с.
- [4] Вуль А.Я., Кидало С.В., Милетин В.М. и др. // Письма в ЖТФ. 1999. Т. 25. В. 1. С. 10–16.
- [5] Morozov F., Kruchen R., Ottenhal T., Ulrich A. // Appl. Phys. Lett. 2005. V. 86. P. 011502-1–011502-3.
- [6] Шуаибов А.К., Шевера И.В., Генерал А.А. // ЖПС. 2006. Т. 73. № 6. С. 831–833.
- [7] Генерал А.А., Жменяк Ю.В., Шпеник Ю.О. Конференція молодих вчених і аспірантів. Інститут Електронної фізики НАН України (ІЕФ-2007). Програма і тези доповідей. Ужгород, 2007. С. 97.
- [8] Pears R.W.B., Gaydon A.G. The international of Molecular Spectra. London: Chapman Hall, Ltd., 1963. 347 с.
- [9] Soskida M. // 32 EGAS. Abstracts. Vilnius, 2000. P. 314.
- [10] Шуаибов О.К. // Укр. фіз. журн. 2001. Т. 46. № 10. С. 1047–1050.