

04:07

Ультрафиолетовые источники излучения на парах воды (H_2O , D_2O)© А.К. Шуаибов,¹ А.А. Генерал,² Ю.О. Шпеник,² Ю.В. Жменяк,² И.В. Шевера,¹ Р.В. Грицак¹¹ Ужгородский национальный университет,
88000 Ужгород, Украина
e-mail: ishev@univ.uzhgorod.ua² Институт электронной физики НАН Украины,
88017 Ужгород, Украина
e-mail: vkel@mail.uzhgorod.ua

(Поступило в Редакцию 18 ноября 2008 г.)

Представлены эмиссионные характеристики ультрафиолетового излучения на парах воды (H_2O , D_2O и смеси паров H_2O , D_2O), который возбуждался при помощи продольных импульсно-периодических разрядов с открытыми электродами и электродами, вынесенными за пределы разрядной трубки (емкостной разряд). Исследовано излучение в спектральном диапазоне 175–350 нм. Приведены эмиссионные характеристики ультрафиолетового источника излучения на основе паров обычной и „тяжелой“ воды, а также результаты оптимизации яркости излучения полос радикалов OH и OD в зависимости от давления и состава смесей $\text{He-H}_2\text{O}$ и $\text{He-D}_2\text{O}$.

PACS: 52.80.Hc

Не только лазеры, но и источники спонтанного УФ–ВУФ-излучения находят все более широкое применение в экологии, микроэлектронике, медицине и т.д. Наиболее мощными и эффективными некогерентными излучателями в УФ–ВУФ спектральном диапазоне являются эксимерные и эксиплексные лампы. Главное преимущество этих излучателей по сравнению с ртуть-содержащими предшественниками — отсутствие ртути в рабочей среде и более разнообразные спектральные характеристики в УФ–ВУФ-диапазоне длин волн.

Как правило, в эксиплексных излучателях используются смеси инертного газа с молекулами галогена. Вместе с эксилампами все больший интерес представляют и УФ–ВУФ-лампы на парах воды, поскольку в них используется экологически чистая и недорогая рабочая среда, поэтому актуальным является исследование параметров таких ламп.

Возбуждение паров воды осуществляется при помощи разного типа электрических разрядов при различных значениях давления (как высоких, так и низких [1–6]). Как правило, используется тлеющий разряд постоянного тока при низком давлении паров воды. Для получения большой импульсной мощности УФ-излучения паров воды перспективным является применение барьерного и продольного импульсно-периодического разряда (ИПР).

В настоящей работе приводятся результаты исследования эмиссионных характеристик продольного ИПР в парах H_2O , D_2O и их смесей, а также импульсно-периодического емкостного разряда на смеси гелия с парами воды.

ИПР с открытыми электродами возбуждался в кварцевой цилиндрической трубке с внутренним диаметром 1.5 и длиной 40 см. При возбуждении разряда применялся генератор с резонансной перезарядкой накопительного конденсатора емкостью 1650 pF, а в качестве комму-

татора использовался тиратрон ТГИ1-2000/35. Частота следования импульсов составляла 8 kHz, а напряжение на выпрямителе — 2 kV. Вода находилась в специальном отростке газоразрядной трубки, а ее пары постоянно прокачивались через разрядный объем при оценочном давлении порядка 150 Pa.

Емкостной разряд зажигался в кварцевой трубке длиной 50 см с внешним диаметром 7 мм. В газоразрядную трубку из вакуумной газосмесительной системы напускались смеси $\text{He-H}_2\text{O}$ различного состава. Межэлектродное расстояние — 18 см. Анод и катод были изготовлены из никелевой фольги шириной 2 см, они размещались на внешней поверхности газоразрядной трубки. Зажигание емкостного разряда осуществлялось от источника питания азотного лазера ЛГИ-505. Амплитуда импульсов напряжения разной полярности на электродах составляла 25–40 kV, а частота могла изменяться в диапазоне 50–500 Hz.

Регистрация спектров УФ-излучения разрядов осуществлялась с применением монохроматора МДР-6, однометрового вакуумного монохроматора, фотоумножителей ФЭУ-106, ФЭУ-142 и осциллографов С1-99, ЛОР-04. Спектральное разрешение составляло 0.2 nm.

На рис. 1 представлен спектр излучения ИПР с открытыми электродами в парах воды. Для плазмы паров воды характерны широкие полосы с максимумами при 306, 309, 312 и 314 nm, которые могут быть отождествлены с электронно-колебательными полосами гидроксила: OH ($X^2\Pi-A^2\Sigma^+$) (переход 0–0). Замена обычной воды на тяжелую приводила к увеличению средней мощности УФ-излучения в два раза, а колебательно-вращательная структура $A \rightarrow X$ полос становилась менее выраженной.

Средняя мощность излучения в спектральном диапазоне 300–325 nm при токе разряда 0.07 A составляет 1.5 W при КПД, равном 0.2%.

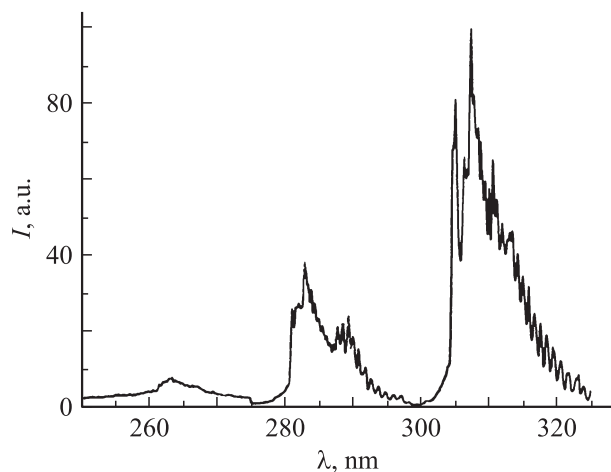


Рис. 1. Спектр излучения разряда с открытыми электродами при постоянной прокачке паров воды и давления порядка 10 Па в диапазоне длин волн 250–325 нм.

Условно весь диапазон спектра был разбит на три области по 25 нм каждая. Область 250–275 нм менее интенсивна в сравнении с двумя другими. Области II (275–300 нм) и III (300–325 нм) принадлежат электронным переходам $A \rightarrow X$ полосы молекулы OH соответственно. В этих областях наиболее интенсивными являются полосы с основными максимумами 283 нм (переход $1 \rightarrow 0$) для области II и 309 нм (переход $0 \rightarrow 0$) — для области III.

В работе [7] приведены временные характеристики продольного ИПР в парах воды, было показано, что столкновениями электронов в газоразрядной плазме определяются свойства исследуемого источника УФ-излучения. В данной работе более детально были исследованы особенности влияния изотопов водорода на излучение лампы на парах воды.

На рис. 2 приведены спектры излучения обычной воды H_2O (a), тяжелой D_2O (b) и их смеси (c) в спектральной области 250–350 нм. Эти спектры были записаны в короткой спектральной области и с таким усилением, что максимум области III сильно обрзан. На рис. 2 они сравниваются. Экспериментальные условия, при которых регистрировались спектры, были следующими: частота следования импульсов составляла 8 кГц, напряжение, подаваемое на электроды лампы, — 2 кВ, а среднее значение тока — 0.07 А.

Видно, что все главные особенности этих спектров являются подобными. Однако эти детали спектра на рис. 2, b сдвинуты в сторону больших значений длины волны по сравнению со спектром на рис. 2, a. Колебательная структура на рис. 2, b также менее ярко выражена, чем на рис. 2, a. Эти особенности обусловлены большей массой молекулы тяжелой воды — D_2O . К тому же реальная спектральная интенсивность на рис. 2, b должна быть умножена на два.

Из рис. 2, c для спектра излучения плазмы на смеси паров $H_2O + D_2O$ следует, что наблюдается своего рода суммирование спектров, представленных на рис. 2, a и b. Это может быть полезным для некоторых применений УФ-источников спонтанного излучения.

Импульсно-периодический емкостной разряд на смесях He– H_2O при $P(H_2O) < 150$ Па и $P(He) = 1–15$ кПа имел ярко-белый цвет и однородно заполнял весь межэлектродный объем. Спектры излучения в диапазоне длин волн 250–350 нм были подобны приведенным на рис. 2. В более коротковолновом диапазоне они приведены на рис. 3, a.

Для спектров излучения лампы на основе паров воды характерным является присутствие полос гид-

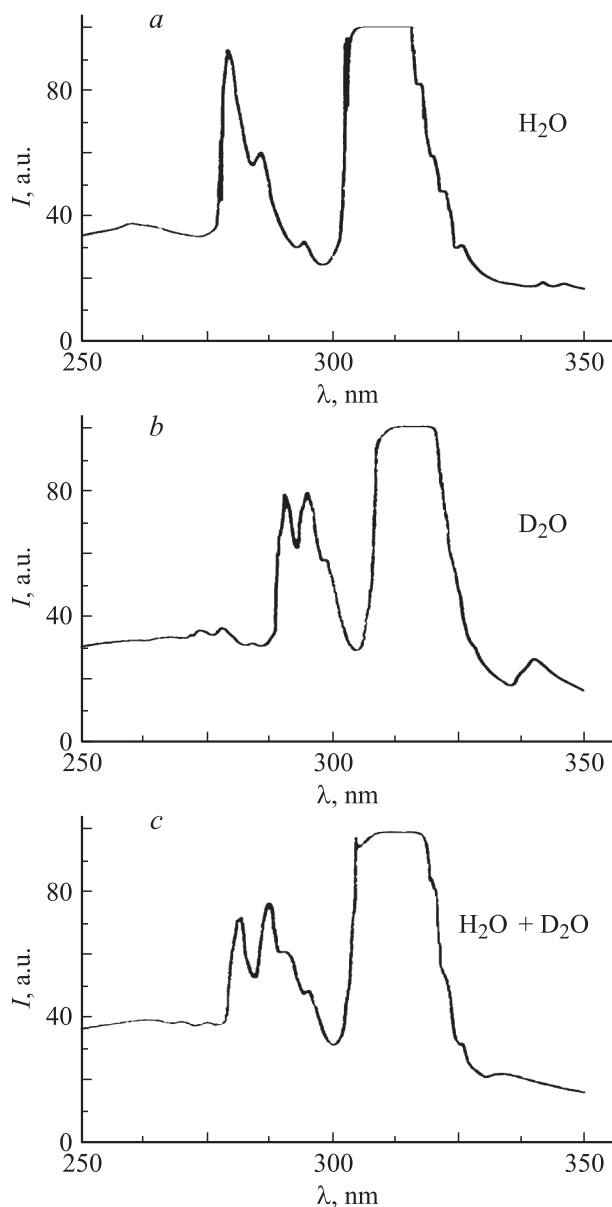


Рис. 2. Спектры излучения импульсно-периодического разряда с открытыми электродами на парах H_2O (a), D_2O (b) и смеси $H_2O + D_2O$ (c).

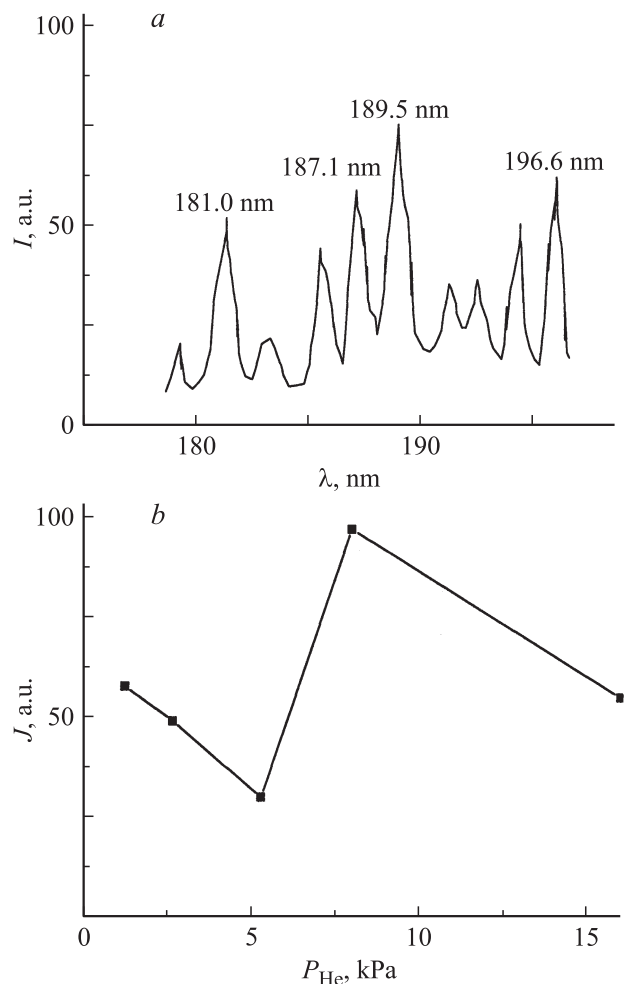


Рис. 3. Спектр УФ-излучения плазмы емкостного разряда на смеси гелия с парами воды (а); Зависимость яркости излучения полосы 297.7 nm радикала ОН для плазмы на смеси He–H₂O от величины парциального давления гелия при $P(H_2O) = 130$ Pa и амплитуда импульса напряжения, возбуждающего емкостной разряд 50 kV (б).

роксила. В спектральном диапазоне 175–200 nm это полосы 181.0, 187.1, 189.1 nm. Полосы излучения с максимумами в спектральном диапазоне 181–190 nm могут быть приписаны молекуле гидроксила — ОН (C–A) [9,10].

При увеличении парциального давления паров D_2O и H_2O за пределы 130–150 Pa яркость излучения полос молекул гидроксила в спектральном диапазоне 177–200 nm в целом уменьшалась. При этом яркость излучения этих полос для разряда на основе тяжелой воды была в 1.5–2.0 раза выше, чем для обычной воды.

На рис. 3, б приведена зависимость относительной величины яркости излучения полосы молекулы гидроксила с максимумом при 297.7 nm от парциального давления гелия при оптимальном давлении паров H_2O в смеси He–H₂O. Из рис. 3, б следует, что оптимальное давление гелия составляет примерно 8 kPa. Для разряда на смеси He– D_2O при $p(D_2O) = 130$ Pa оптимальное

давление гелия при тех же условиях возбуждения разряда уменьшалось до 5.2 kPa. Яркость излучения полос радикала ОН была при этом в 1.5 раза выше яркости соответствующих полос ОН.

Таким образом, исследованы эмиссионные характеристики плазмы паров обычной и тяжелой воды, а также их смеси в спектральном диапазоне 180–350 nm. Изучалось влияние изотопного состава паров воды на характер спектров излучения. Было установлено, что если обычную воду заменить тяжелой, то мощность излучения лампы увеличивается примерно в два раза, а в самом спектре излучения детали сдвигаются в сторону больших значений длины волны. Была создана УФ-лампа на парах воды со средней мощностью излучения 1.5 W и КПД, равным 0.2%.

Список литературы

- [1] Ломаев М.И., Скакун В.С., Скакун Э.А. и др. // УФН. 2003. Т. 173. № 2. С. 201–217.
- [2] Генерал А.А., Жменяк Ю.В., Шпеник Ю.О. // Конф. молодых ученых и аспирантов. Институт Электронной физики НАН Украины (IEФ-2007). Ужгород, 2007. С. 97.
- [3] Соснин Э.А., Ерофеев М.В., Авдеев С.М., Попенко А.М. и др. // Квант. электрон. 2006. Т. 36. № 10. С. 981–983.
- [4] Вуль А.Я., Кидалов С.В., Миленин В.М. и др. // Письма в ЖТФ. 1999. Т. 25. Вып. 1. С. 10–16.
- [5] Morozov F., Kruchen R., Ottenhal T., Ulrich A. // Appl. Phys. Lett. 2005. Vol. 86. P. 011 502-1–011 502-3.
- [6] Шуаибов А.К., Шевера И.В., Генерал А.А. // ЖПС. 2006. Т. 73. № 6. С. 831–833.
- [7] Шуаибов А.К., Генерал А.А., Кельман В.А., Шевера И.В. // Письма в ЖТФ. 2008. Т. 34. Вып. 14. С. 6–11.