

КОРОТКОХВИЛЬОВИЙ ВИПРОМІНЮВАЧ ЄМНІСНОГО РОЗРЯДУ НА ПАРІ ВОДИ

О.Й. Миня, О.К. Шуаїбов, І.В. Шевера, Р.В. Грицак, З.Т. Гомокі

Ужгородський національний університет, вул. Підгірна, 46, Ужгород, 88000
e-mail: ishev@univ.uzhgorod.ua

Приведено результати дослідження оптичних характеристик імпульсно-періодичної ВУФ-УФ-лампи. Для збудження використовували ємнісний розряд субмікросекундної тривалості на сумішах гелію, аргону і парах води (D_2O , H_2O).

Ключові слова: ємнісний розряд, пари води, «важка вода», ВУФ-УФ-лампа.

Вступ

На сьогоднішній день перспективним є розроблення і дослідження нових газорозрядних джерел короткохвильового випромінювання. За останні десятиліття ультрафіолетове випромінювання (УФ) широко застосовується, зокрема як антибактеріальний засіб при дезінфекції води і повітря, стерилізації пакувальних матеріалів для харчових продуктів. УФ-випромінювання дезінфікує, руйнуючи ДНК та РНК мікроорганізмів [1]. Також джерела спонтанного УФ-ВУФ-випромінювання широко використовуються в електроніці, екології та медицині. Головною перевагою використання ультрафіолетової лампи на парі води є відсутність ртуті, тобто екологічно чисте і недороге робоче середовище. Як показали наші дослідження, ВУФ-випромінювача на парі води із збудженням поздовжнім тліючим розрядом постійного струму, випромінювання гідроксилу при певних умовах майже повністю зосереджене в спектральному діапазоні 150-190 нм [2]. Оскільки випромінювання молекулярних континуумів водню або дейтерію в цьому діапазоні спектру є малопотужним, то окремий інтерес представляє оптимізація випромінювання молекул гідроксилу в спектральному інтервалі 175-190 нм, який ще пропускає атмосфера. Більшість УФ-випромінювачів низького тиску на парі води виконано з використанням електродів, які перебувають у безпосередньому контакті з плазмою, що може призводити до зменшення ресурсу роботи лампи в газостатистичних умовах. Тому перспек-

тивним є застосування у випромінювачах на парі води імпульсно-періодичного ємнісного розряду. З метою ж підвищення потужності УФ-ВУФ-випромінювання молекул гідроксилу важливим є використання пари води на основі важких ізотопів водню [3]. Особливий інтерес для застосувань у фотохімії та медицині представляє система електронно-коливальних смуг $OH(X-A)$, випромінювання яких знаходиться в інтервалі довжин хвиль 320-270 нм [4]. В праці [5] вже йшла мова про створення екологічної чистої лампи. Для одержання великої імпульсної потужності УФ-випромінювання перспективним є використання поздовжнього імпульсно-періодичного розряду як в парі води з відкритими електродами, так і в ємнісному розряді [6]. Дослідження нерівноважної газорозрядної плазми на основі пари води представляє також інтерес для проблеми створення альтернативних джерел енергії з використанням відновлюваного палива (етанол, метан та ін), в яких застосовуються робочі середовища етанол - $H_2O-N_2-O_2$ [7-8].

Метою даної роботи було дослідження оптичних характеристик лампи ємнісного розряду, яка працює на сумішах $He-H_2O$, $He-D_2O$, $Ar-H_2O$.

Техніка та методика експерименту

Імпульсно-періодичний ємнісний розряд з довжиною плазмового стовпа 20 см запалювався в циліндричній розрядній трубці з високоякісного кварцу з внутрішнім діаметром 5 мм. Електроди розряду представляли собою циліндри довжиною

2 см, які встановлювалися на зовнішній поверхні кварцової трубки. Імпульси напруги амплітудою $\pm 25-40$ кВ і частотою 50-1000 Гц подавалися на електроди ємнісного розряду. Випромінювання розряду аналізувалося за допомогою вакуумного монохроматора МДР-2. Дослідження спектрів у спектральній області $\lambda=130-350$ нм проводилось з використанням фотопомножувача «ФЭУ-142», а в спектральній області $\lambda=200-600$ нм – «ФЭУ-106». Випромінювання відбиралося з центральної області розрядної трубки і спрямовувалося у вхідну частину вакуумного монохроматора, як по повітрю, так і через відкачаний об'єм, що обмежувало нижню межу спектральних характеристик приблизно на $\lambda=180$ нм.

Оптичні характеристики

Спектри випромінювання досліджувалися в спектральній області $\lambda=170...350$ нм для сумішей He-H₂O, He-D₂O, Ar-H₂O при варіюванні тиску як пари води, так і інертного газу. Ємнісний розряд на суміші He-H₂O при P(H₂O)=130 Па однорідно заповнював внутрішній об'єм розрядної трубки і мав білий колір. Розряд на суміші Ar-H₂O був рожево-фіолетовим.

Лампі на парі води притаманна наявність в її емісійному спектрі лише окремих смуг молекули ОН. На рис. 1-2 наведені спектри УФ-випромінювання плазми ємнісного розряду на суміші P(He)/P(H₂O) та P(Ar)/P(H₂O).

Спектри випромінювання ємнісного розряду в сумішах He-H₂O(D₂O) включали систему смуг ОН (або OD) на переходах (A-X) з $\lambda = 306-312, 298, 273$ нм, а також більш короткохвильове випромінювання в спектральному діапазоні 180-200 нм. При збільшенні парціального тиску пари H₂O за межі 130-150 Па, інтенсивність випромінювання смуг молекули гідроксилу ОН в спектральному діапазоні в цілому зменшувалась. У спектрі розряду на суміші P(He)/P(H₂O)=7,9 кПа/133,3 Па основними були смуги короткохвильового випромінювання. Так, смуга випромінювання плазми

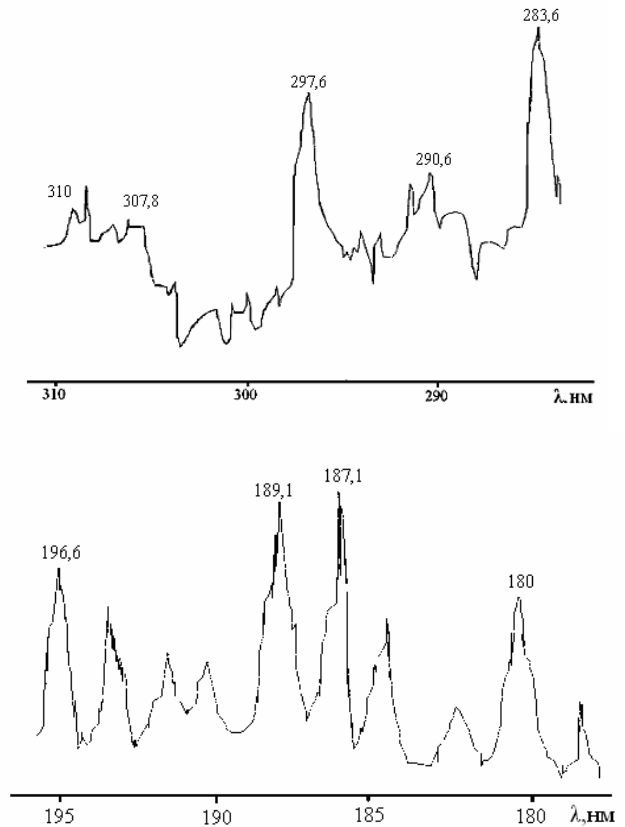


Рис. 1. Спектри УФ-випромінювання плазми ємнісного розряду на суміші P(He)/P(H₂O)=7,9 кПа/133,3 Па.

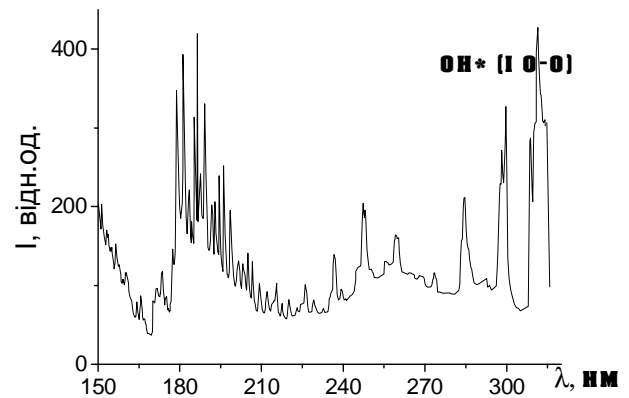


Рис. 2. Спектр випромінювання ємнісного розряду на суміші P(Ar)/P(H₂O)=1,33 кПа /0,133 кПа.

на суміші He-H₂O при P(H₂O)=130 Па $\lambda=283,6$ нм в межах похибки експерименту збігається з смугою ОН(A-X;1-0). Смуга $\lambda=297,6$ нм корелює з смугою ОН(A-X;3-2). В спектрі також спостерігалася смуга $\lambda=180$ нм, яка корелює з контуром смуги ОН(C-A;0-0) (179,1 нм). Смуги $\lambda=310, 311$ нм, які спостерігалися в спектрі виходять за межі системи (A-X; 0-0).

Присутність смуг радикалів може бути пов'язана з випромінюванням кластерних молекул $(OH)_n^*$ та $(OH)^* \cdot (H_2O)_m$ [5]. В спектральному діапазоні 150-320 нм суміші Ar-H₂O спостерігається спектральна смуга 308,9 нм гідроксилу OH^* .

На рис. 3-5 наведено результати оптимізації інтенсивності смуг випромінювання $OH(A-X)$ і $OD(A-X)$ в залежності від парціального тиску гелію і пари звичайної і «важкої» води. Як впливає з цих результатів, використання «важкої» води є в півтора рази більш ефективним, ніж пари звичайної дистильованої води. У залежності від вмісту гелію в розряді видно, що при низькому парціальному тиску гелію спостерігається перший максимум УФ-випромінювання OH ($P_1=0,7-3,5$ кПа), коли розряд однорідний за радіусом трубки, і другий максимум ($P_2=5-15$ кПа), коли більш яскраво випромінює плазма в центральній частині трубки. Оптимальний тиск пари

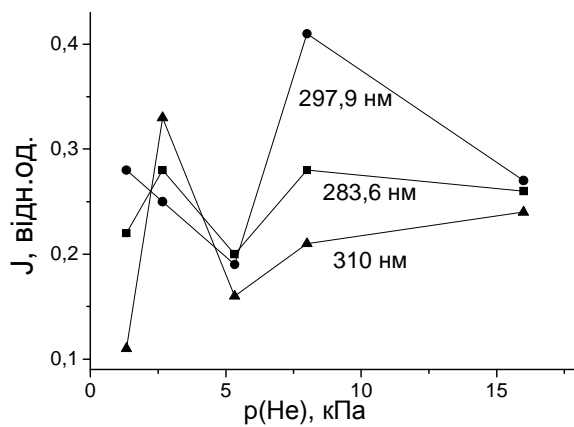


Рис. 3. Залежність інтенсивності випромінювання характерних смуг газорозрядної плазми на суміші He-H₂O від величини тиску гелію при $P(H_2O)=130$ Па.

звичайної води становило 130-150 Па, а оптимальні тиски гелію в цьому випадку дорівнювали $P_1=2,6$ кПа і $P_2=7,5$ кПа. Для випромінювача на суміші гелію з парами D₂O оптимальні парціальні тиски гелію становили $P_1=1,3$ кПа і $P_2=5,3$ кПа. Оптимальний парціальний тиск пари D₂O знаходився в діапазоні 100-130 Па.

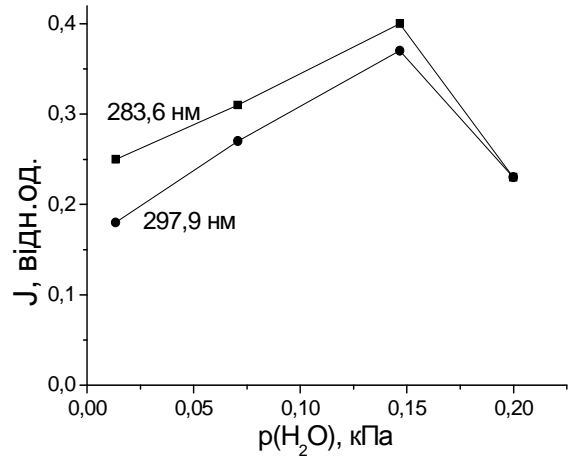


Рис. 4. Залежність інтенсивності випромінювання характерних смуг газорозрядної плазми на суміші He-H₂O від величини тиску пари води при $P(He)=2,6$ кПа.

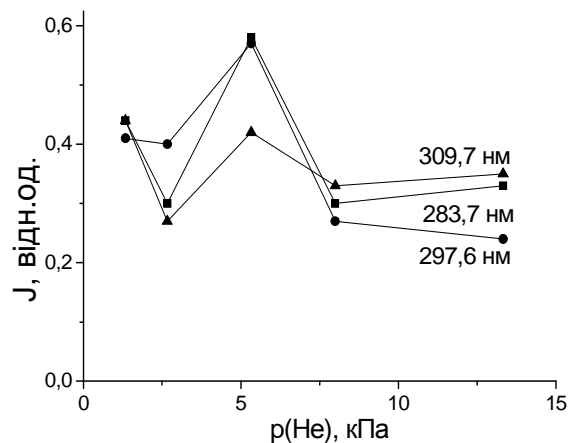


Рис. 5. Залежність інтенсивності випромінювання характерних смуг газорозрядної плазми на суміші He-D₂O від величини тиску гелію при $P(D_2O)=130$ Па.

На рис. 6-7 наведено залежності відносної інтенсивності випромінювання плазми для суміші Ar-H₂O при $P(Ar)=2,66$ кПа та при $P(H_2O)=0,133$ кПа.

Із залежностей яскравості в суміші Ar-H₂O спектральної смуги 308,9 нм OH^* від тиску води при $P(Ar)=2,66$ кПа спостерігається максимум при $P(H_2O)=20$ Па. Оптимальний парціальний тиск аргону знаходився в діапазоні 1,33-2,6 кПа, а оптимальний тиск звичайної води – 0,13-0,19 кПа.

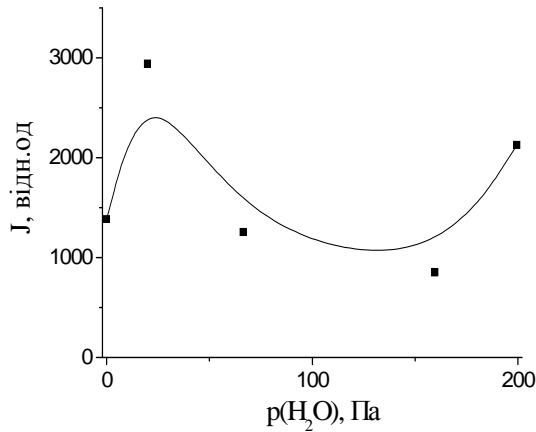


Рис. 6. Залежність яскравості спектральної смуги випромінювання 308,9 нм OH^* від тиску води в смісному розряді на суміші $\text{Ar}-\text{H}_2\text{O}$ при $P(\text{Ar})=2,66$ кПа.

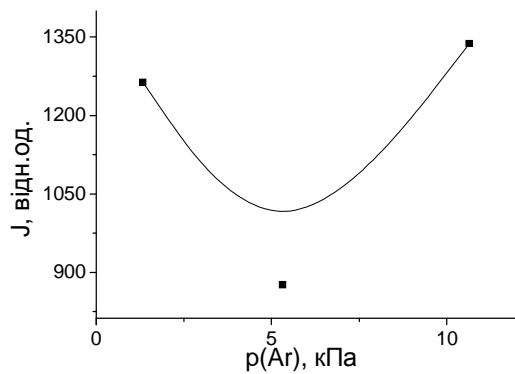


Рис. 7. Залежність яскравості спектральної смуги випромінювання 308,9 нм OH^* від тиску аргону в смісному розряді на суміші $\text{Ar}-\text{H}_2\text{O}$ при $P(\text{H}_2\text{O})=0,133$ кПа.

Висновки

У даній роботі досліджені оптичні характеристики плазми пари звичайної і важкої води, а також їхніх сумішей. Виявлені і оптимізовані два режими роботи лампи, які реалізуються при пониженому і більш високому парціальному тиску гелію. При оптимальному тиску пари звичайної води 130-150 Па в залежності від вмісту гелію спостерігаються максимуми при $P_1=0,7-3,5$ кПа та $P_2=5-15$ кПа, які пов'язані з локалізацією розряду в газорозрядній трубці. При оптимальному парціальному тиску пари D_2O оптимальний тиск гелію становив $P_1=1,3$ кПа і $P_2=5,3$ кПа. Для випромінювання на суміші аргону з парами H_2O , оптимальний тиск аргону складає 1,33-2,6 кПа, а оптимальний тиск звичайної води - 0,13- 0,19 кПа.

З переходом від сумішей на основі пари H_2O до сумішей з парами D_2O , оптимальний тиск останніх зменшується, як і оптимальний тиск гелію в різних режимах роботи.

Таким чином, результати, які отримано, дозволяють говорити про можливість створення екологічного джерела оптичного ВУФ-УФ-випромінювання, з недорогим робочим середовищем.

Література

1. Soloshenko I.O., Bazhenov V.Yu., Khomych V.O., Tsiolko V.V., Potapchenko N.G., Goncharuk V.V. Utilization of Ultraviolet radiation of cold cathode discharge plasma for water disinfection // Ukr. J. Phys. - 2006. - V.51, №11-12.
2. Шуайбов О.К., Малінін О.М. Випромінювальні характеристики та електронні кінетичні коефіцієнти плазми на основі пари води // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Фізика. - 2010. - вип.27. - С.50-59.
3. Шуайбов А.К., Генерал А.А., Шпеник Ю.О., Жменяк Ю.В., Шевера І.В., Грицак Р.В. Ультрафіолетовые источники излучения на парах воды (H_2O , D_2O) // Журнал технической физики. - 2009. - Т.79, вып.8. - С. 153-155.
4. Шуайбов О.К., Шевера І.В., Шимон Л.Л., Соснін Е.А. Сучасні джерела ультрафіолетового випромінювання: розробка і застосування. Ужгород – Томськ: Говерла, 2006. – 223 с.
5. 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 гидроксидов OH // Письма в ЖТФ. - 1999. - Т.25, вып.1. - С. 10-16.

6. Шуайбов А.К., Генерал А.А., Кельман И.В., Шевера И.В. Эмиссионные характеристики газоразрядного ультрафиолетового излучателя низкого давления на парах воды // Письма в ЖТФ. – 2008. – Т.34, вып.14. – С.6-11
7. Rusanov V.D., Babaritski A.I., Gerasimov E.N. et. al. // Dokl Phys. 2003. – V.48. – № 3. – P. 119-122.
8. Щедрин А.И., Левко Д.С., Черняк В.В., Юхименко В.В., Наумов В.В. // Письма в ЖЭТФ. 2008. – Т.88. Вып.2. – С. 107-110.

SHORTWAVE EMITTER OF THE CAPACITIVE DISCHARGE IN WATER VAPOR

A.I. Minya, A.K. Shuaibov, I.V. Shevera, R.V.Hritsak, Z.T. Homoki

Uzhhorod National University, Pidgirna Str., 46, Uzhhorod, 88000
e-mail:ishev@univ.uzhgorod.ua

The experimental results of the optical characteristics of the pulse-periodic ultraviolet lamp. For excitation of using capacitive discharge submikrosekund duration of mixtures of helium, argon and water vapor (D_2O , H_2O).

Key words: capacitive discharge, water vapor, "heavy water", VUV-UV-lamp.

КОРОТКОВОЛНОВОЙ ИЗЛУЧИТЕЛЬ ЕМКОСТНОГО РАЗРЯДА НА ПАРАХ ВОДЫ

А.И. Миня, А.К. Шуайбов, И.В. Шевера, Р.В. Грицак, З.Т. Гомоки

Ужгородский национальный университет, ул. Пидгирна, 46, Ужгород, 88000
e-mail:ishev@univ.uzhgorod.ua

Представлены результаты исследования оптических характеристик импульсно-периодической ВУФ-УФ-лампы. Для возбуждения использовали емкостной разряд субмикросекундной продолжительности на смесях гелия, аргона и паров воды (D_2O , H_2O).

Ключевые слова: емкостный разряд, пары воды, «тяжелая вода», ВУФ-УФ-лампа.