

УДК 658.562:621

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

Ужгородський національний університет, вул. Підгірна, 46, Ужгород, 88000

e-mail: shuaibov@univ.uzhgorod.ua, roksolanija@ukr.net

## ЕМІСІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАНОСЕКУНДНОГО БАР'ЄРНОГО РОЗРЯДУ В СУМІШІ АРГОНУ ТА ГЕЛІУ З ПАРАМИ ВАЖКОЇ ВОДИ (D<sub>2</sub>O)

Приведено емісійні характеристики плазми наносекундного бар'єрного розряду в сумішах аргону (гелію) і пари D<sub>2</sub>O. Досліджено усереднені за часом спектри випромінювання в спектральному діапазоні  $\Delta\lambda = 200\text{-}315$  нм. Вивчена залежність інтенсивності смуги  $\lambda = 309$  нм (A → X) OD від тиску аргону та гелію.

**Ключові слова:** аргон, пара D<sub>2</sub>O, бар'єрний розряд, ультрафіолетове випромінювання, гідроксил.

### Вступ

Газорозрядна низькотемпературна плазма за останні роки привертає все більшу увагу і є альтернативою звичайним методам знезараження, тому що, її випромінювання здатне ефективно знешкоджувати різні види шкідливих молекул.

Дослідження показали, що розряди на сумішах інертних газів з молекулами води можуть бути джерелом випромінювання радикалу OH ~ 309 нм. Інтенсивність даного випромінювання перевищує інтенсивність випромінювання інертних газів. Такі джерела можуть бути альтернативою ртутній люмінесцентній лампі.

Радикали гідроксилу використовуються в джерелах неканцерогенного УФ-випромінювання на основі смуги з  $\lambda_{\text{max}} = 306\text{-}309$  нм OH (A → X) з нетоксичним і дешевим робочим середовищем у вигляді сумішей інертних газів з парою води (H<sub>2</sub>O) при сумарному тиску робочих сумішей меншому 4 кПа [1, 2]. Ці випромінювачі накачувалися поздовжнім тліючим розрядом постійного струму або височастотним розрядом з оголеними електродами, що обмежує ресурс роботи УФ-ламп на парі води.

Так у праці [3] наведено результати оптимізації лампи з двома діелектричними бар'єрами з кварцу на суміші Ar - H<sub>2</sub>O, яка накачувалася імпульсами струму мікросекундної тривалості при частоті  $f = 26\text{-}96$  кГц ( $\lambda = 309$  нм, середня потужність випромінювання ~ 1,1 Вт).

В [4] представлені результати оптимізації УФ-ВУФ лампи ємнісного розряду на сумішах He - H<sub>2</sub>O і Ar - H<sub>2</sub>O, яка випромінювала на системі смуг гідроксилу: OH (C → A; B → X) ( $\Delta\lambda = 156\text{-}186$  нм) і OH (A → X) ( $\Delta\lambda = 306\text{-}315$  нм). Заміна пари H<sub>2</sub>O на пару D<sub>2</sub>O в ємнісному розряді на суміші He - H<sub>2</sub>O призводить до збільшення інтенсивності випромінювання ВУФ-смуг гідроксилу приблизно в 1,5-2 рази [5], що пов'язано зі збільшенням ефективних перерізів і констант швидкості непружних взаємодій повільних електронів з молекулами D<sub>2</sub>O.

В [6-8] була встановлена можливість створення лампи бар'єрного розряду ВУФ-діапазону на суміші Ar(He) - D<sub>2</sub>O.

На даний час відсутні результати дослідження інтенсивності випромінювання смуги 309 нм OD (A → X) в бар'єрному розряді наносекундної тривалості в суміші Ar(He) - D<sub>2</sub>O, що стримує розробку простих УФ-ламп з недорогим робочим середовищем і підвищеною потужністю імпульсного випромінювання.

Метою роботи є дослідження оптичних характеристик бар'єрного розряду в сумішах Ar(He) - D<sub>2</sub>O і перспективності практичного використання такого розряду, як джерела світла.

### Методика експерименту

Запалювання імпульсно-періодичного бар'єрного розряду здійснювалося за допомогою генератора імпульсів високої

напруги з резонансною перезарядкою накопичувального конденсатора, ємність якого  $C_H = 1540$  пФ. Амплітуда імпульсів напруги складала  $\pm 20 - 25$  кВ, а їх тривалість – 20-30 нс.

Для дослідження використовувалася циліндрична колба з двома діелектричними бар'єрами, довжиною 20 см. Діаметр зовнішньої трубки становив 24 мм, а внутрішньої – 12 мм. У внутрішню кварцову трубку був встановлений електрод, виготовлений у вигляді суцільного циліндра з алюмінію. На зовнішню колбу лампи встановлювався електрод у вигляді спіралі з нікелевого дроту, прозорістю 80%.

Система реєстрації випромінювання бар'єрного розряду наведена в праці [4].

### Емісійні характеристики

Дослідження випромінювання плазми імпульсно-періодичного бар'єрного розряду проводилося при  $p(\text{Ar}) = 10 - 60$  кПа і  $p(\text{D}_2\text{O}) = 0.2$  кПа. Розряд у суміші  $\text{Ar} - \text{D}_2\text{O}$  однорідно заповнював весь об'єм лампи і мав білий з рожевим відтінком колір.

На рис. 1 наведені спектри випромінювання плазми бар'єрного розряду на суміші  $\text{Ar} - \text{D}_2\text{O}$  в УФ-діапазоні довжин хвиль. Спектри приведені з урахуванням відносної спектральної чутливості системи: "вакуумний монохроматор + фотопомножувач ФЕУ-142".

У спектрах випромінювання плазми бар'єрного розряду в суміші  $\text{Ar} - \text{D}_2\text{O}$  при різних парціальних тисках аргону в спектральному діапазоні  $\Delta\lambda = 200 - 315$  нм спостерігалася яскраво виражена смуга  $\lambda = 309$  нм  $A^2\Sigma^+ \rightarrow X^2\Pi$  (0-0) радикала OD (рис. 1 (а - в)). У спектрах також були наявні смуги з максимумами 289.0 нм (1-0), 296.4 нм (3-2), 297.2 нм (2-0), 263.8 нм (3-1), які належать випромінюванню радикала OD  $A^2\Sigma^+ \rightarrow X^2\Pi$  [9].

Утворення радикала OD\* пов'язано з процесом збудження електронним ударом радикала і з процесом передачі енергії від метастабільного атома аргону молекулам води, внаслідок чого відбувається дисоціація молекул води:

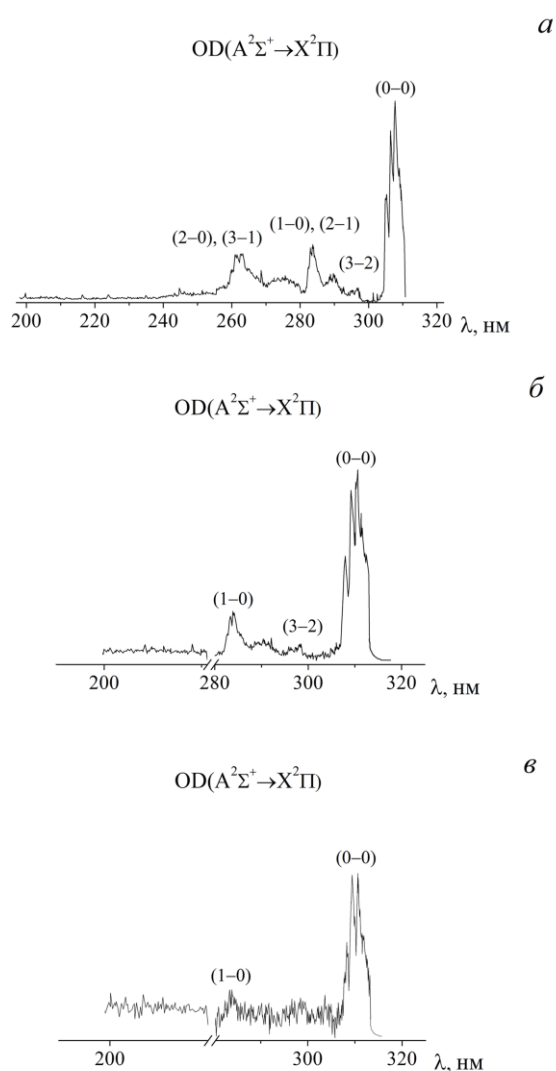
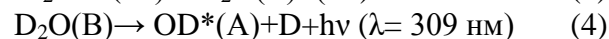
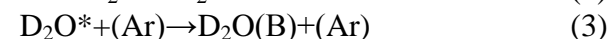


Рис. 1. Спектри випромінювання імпульсно-періодичного бар'єрного розряду в суміші  $\text{Ar} - \text{D}_2\text{O}$  при різних парціальних тисках аргону і  $p(\text{D}_2\text{O}) = 0.2$  кПа:  $p(\text{Ar}) = 10$  кПа (а), 20 кПа (б), 60 кПа (в).



Таким чином, використання інертного газу  $\text{Ar}$  призводить до того, що в спектральному діапазоні 200-315 нм спостерігається яскраво виражена смуга  $\lambda = 309$  нм  $A^2\Sigma^+ \rightarrow X^2\Pi$  радикала OD.

Також була проведена оптимізація інтенсивності випромінювання радикала в спектральному діапазоні 305-315 нм з максимумом при  $\lambda = 309$  нм в залежності від парціального тиску аргону та гелію (рис. 2, рис. 3).

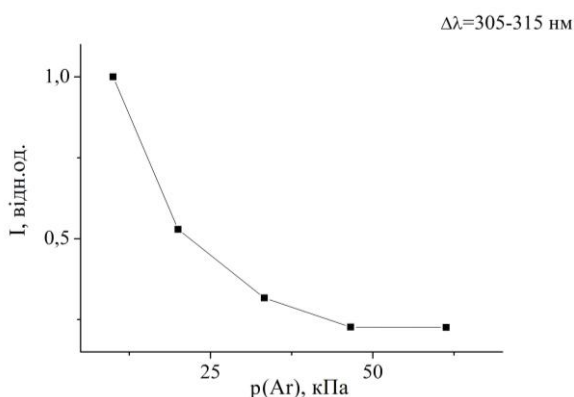


Рис. 2. Залежність інтенсивності випромінювання смуги з максимумом при  $\lambda = 309$  нм OD (A  $\rightarrow$  X) ( $\Delta\lambda = 305-315$  нм) від парціального тиску аргону при  $p(\text{D}_2\text{O}) = 0.2$  кПа.

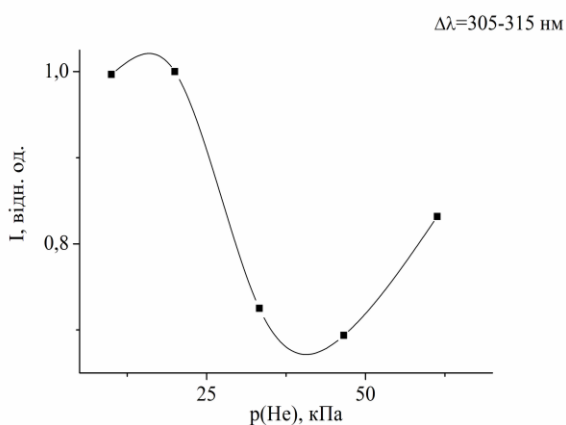


Рис. 3. Залежність інтенсивності випромінювання смуги з максимумом при  $\lambda = 309$  нм OD (A  $\rightarrow$  X) ( $\Delta\lambda = 305-315$  нм) від парціального тиску гелію при  $p(\text{D}_2\text{O}) = 0.2$  кПа.

Оптимальний тиск аргону та гелію, який необхідний для отримання максимальної інтенсивності смуг радикала OD в сумішах знаходиться в діапазоні 10-20 кПа.

Найбільш інтенсивне випромінювання радикала OD спостерігається при оптимальному тиску пари важкої води в діапазоні 0.2 кПа, яке приблизно в 1.5 рази вище, ніж при використанні пари звичайної води.

При підвищенні парціального тиску парів важкої води утворюються комплекси молекул води  $(\text{D}_2\text{O})_n(\text{OD})_m$  або  $(\text{D}_2\text{O})_n(\text{OD})_m$ . Також можливе формування комплексів  $\text{Ar}_n(\text{D}_2\text{O})_m$ ,  $\text{Ar}_n(\text{OD})_m$ , яке відбувається при малих значеннях парціального тиску молекул важкої води і при високому тиску інертного газу. Останній випадок може спостерігатися в нашому дослідженні.

Утворення кластерів аргону з молекулами важкої води може призвести ще до одного каналу утворення збудженого радикала OD.

## Висновки

Таким чином, імпульсно-періодичний бар'єрний розряд на сумішах  $\text{Ar}(\text{He}) - \text{D}_2\text{O}$  є селективним джерелом випромінювання в діапазоні  $\Delta\lambda = 200 - 315$  нм з яскраво вираженим максимумом  $\lambda \approx 309$  нм. Оптимальний парціальний тиск аргону складає 10-20 кПа, а пари важкої води приблизно 0.2 кПа. На основі наносекундного бар'єрного розряду в сумішах  $\text{Ar}(\text{He}) - \text{D}_2\text{O}$  може бути розроблена лампа для застосувань в фотомедицині і фотобіології з підвищеним ресурсом роботи і підвищеною потужністю імпульсного УФ-випромінювання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. 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.
2. Шуайбов А.К., Дашенко А.И., Шевера И.В. Источник УФ излучения на основе плазмы тлеющего разряда в смеси гелия с парами воды // ЖПС. – 2001. - Т.68. - № 4. - С.545-547.
3. Соснин Э.А., Ерофеев М.В., Авдеев С.М., Панченко А.Н и др. Ультрафиолетовая лампа барьерного разряда на молекулах OH // Квантовая электроника. – 2006. - Т.36. - № 10. - С. 981-983.
4. Шуайбов А.К., Миня А.И., Малинин А.Н., Гомоки З.Т., Грицак Р.В. ВУФ-лампа на смесях инертных газов с молекулами воды с накачкой импульсно-периодическим емкостным разря-

- дом // ЖПС. - 2011. - Т.78. - № 6. - С. 932-936.
5. Шуайбов А.К., Генерал А.А., Шпенник Ю.О., Жменяк Ю.В., Шевера И.В., Грицак Р.В. Ультрафиолетовые источники излучения на парах воды ( $H_2O$ ,  $D_2O$ ) // Журнал технической физики. - 2009. - Т. 79. - Вып.8. - С. 153-155.
  6. Hrytsak R.V., Shuaibov A.K. Spectroscopic studies on hydroxyl molecules formation in nanosecond capacitive and barrier discharges // Proceedings of the XII-th International young scientists conference on applied physics, 23-26 May 2012, Kyiv. – P. 155.
  7. Hrytsak R.V., Shuaibov A.K., Minya A.I., Shevera I.V., Homoki Z.T. Emitter barrier discharge in mixtures of argon and helium with vapour of heavy water // 25th Symposium on Plasma Physics and Technology, 18-21 June, 2012. Prague. P. 39.
  8. Шуайбов А.К., Миня А.И., Грицак Р.В., Гомоки З.Т., Шевера И.В. Импульсно-периодический ВУФ излучатель с накачкой барьерным разрядом в смеси гелия с парами тяжелой воды ( $D_2O$ ) // Квантовая электроника. – 2012. - 42. - №8. - С. 747–749.
  9. Pears R.W.B., Gaydon A.G. The Identification of Molecular Spectra. London.: Chapman Hall LTD, (1963) 246–248.

Стаття надійшла до редакції 20.07.2012

R.V. Hrytsak, A.K. Shuaibov, A.I. Minya, Z.T. Homoki  
Uzhhorod National University, Pidgirna Str., 46, Uzhhorod, 88000

## THE EMISSION CHARACTERISTICS OF NANOSECOND BARRIER DISCHARGE IN MIXTURES OF ARGON WITH VAPORS OF HEAVY WATER ( $D_2O$ )

The emission characteristics of plasma of the nanosecond barrier discharge in the mixtures of argon (helium) and  $D_2O$  vapors are presented. Time-averaged emission spectra in the spectral region  $\Delta\lambda = 200-315$  nm are investigated. The dependences of intensity of the band  $\lambda = 309$  nm ( $A \rightarrow X$ ) OD on argon and helium pressure are studied.

**Key words:** argon, vapors of  $D_2O$ , barrier discharge, ultraviolet radiation, hydroxyl.

Р.В. Грицак, А.К. Шуайбов, А. И. Миня, З.Т. Гомоки  
Ужгородский национальный университет, ул. Пидгирна, 46, Ужгород, 88000

## ЭМИССИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАНОСЕКУНДНОГО БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА В СМЕСЯХ АРГОНА С ПАРАМИ ТЯЖЕЛОЙ ВОДЫ ( $D_2O$ )

Приведены эмиссионные характеристики плазмы наносекундного барьерного разряда в смесях аргона (гелия) и паров  $D_2O$ . Исследованы усредненные по времени спектры излучения в спектральном диапазоне  $\Delta\lambda = 200-315$  нм. Изучена зависимость интенсивности полосы  $\lambda = 309$  нм ( $A \rightarrow X$ ) OD от давления аргона и гелия.

**Ключевые слова:** аргон, пара  $D_2O$ , барьерный разряд, ультрафиолетовое излучение, гидроксил.