

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 (D₂O)

Приведено емісійні характеристики плазми наносекундного бар'єрного розряду в сумішах аргону (гелію) і пари D₂O. 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 D₂O, 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 (H₂O) 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 - H₂O, 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 - H₂O і Ar - H₂O, 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 H₂O на пару D₂O в ємнісному розряді на суміші He - H₂O 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 D₂O.

В [6-8] була встановлена можливість створення лампи бар'єрного розряду ВУФ-діапазону на суміші Ar(He) - D₂O.

На даний час відсутні результати дослідження інтенсивності випромінювання смуги 309 нм OD (A → X) в бар'єрному розряді наносекундної тривалості в суміші Ar(He) - D₂O, 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) - D₂O 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:

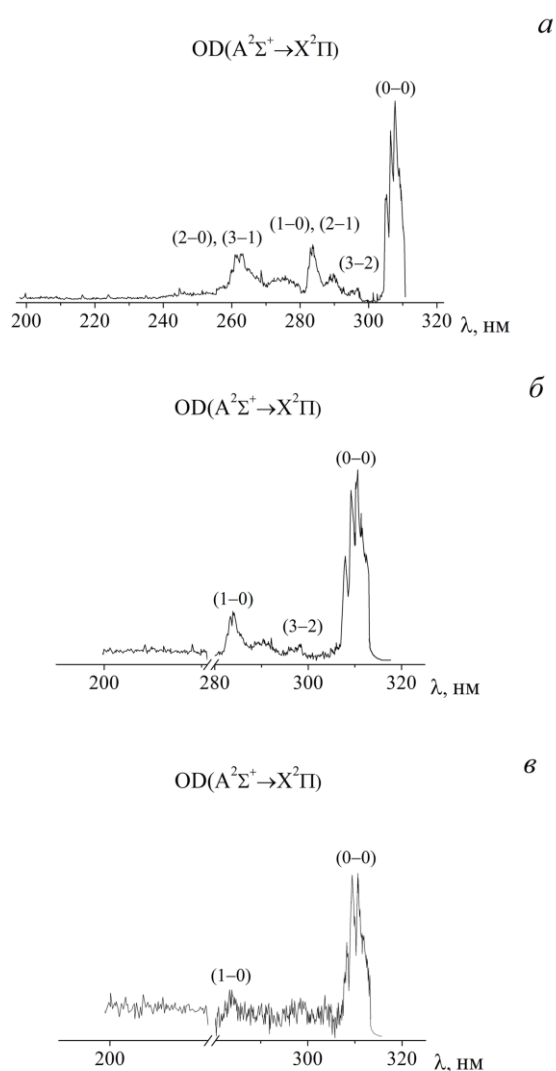
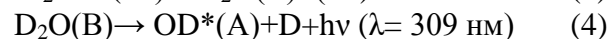
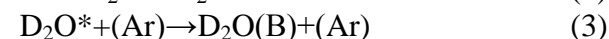


Рис. 1. Спектри випромінювання імпульсно-періодичного бар'єрного розряду в суміші $\text{Ar} - \text{D}_2\text{O}$ при різних парціальних тисках аргону і $p(\text{D}_2\text{O}) = 0.2$ кПа: $p(\text{Ar}) = 10$ кПа (а), 20 кПа (б), 60 кПа (в).



Таким чином, використання інертного газу 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).

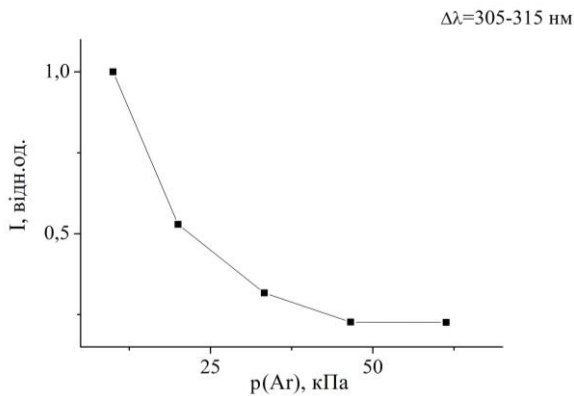


Рис. 2. Залежність інтенсивності випромінювання смуги з максимумом при $\lambda = 309$ нм OD (A \rightarrow X) ($\Delta\lambda = 305-315$ нм) від парціального тиску аргону при $p(\text{D}_2\text{O}) = 0.2$ кПа.

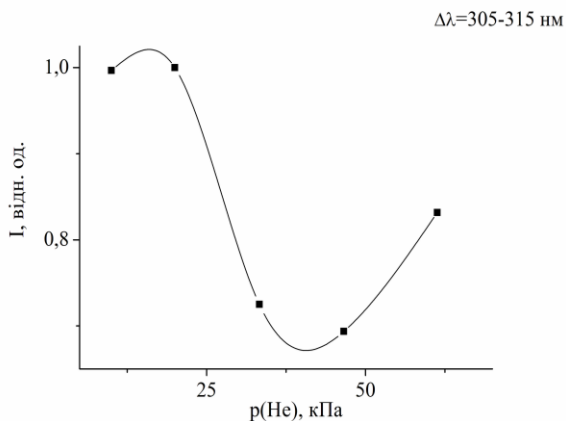


Рис. 3. Залежність інтенсивності випромінювання смуги з максимумом при $\lambda = 309$ нм OD (A \rightarrow X) ($\Delta\lambda = 305-315$ нм) від парціального тиску гелію при $p(\text{D}_2\text{O}) = 0.2$ кПа.

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.