

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](mailto:shuaibov@univ.uzhgorod.ua), [roksolanija@ukr.net](mailto:roksolanija@ukr.net)

## ЛАМПА БАР'ЄРНОГО РОЗРЯДУ НА СУМІШАХ ІНЕРТНИХ ГАЗІВ З ПАРОЮ ВАЖКОЇ ВОДИ

Приведено результати дослідження емісійних характеристик плазми двобар'єрного розряду на суміші He-D<sub>2</sub>O та Ar-D<sub>2</sub>O. Проведена оптимізація яскравості смуг випромінювання OD в залежності від тиску і складу робочих сумішей. На основі залежностей інтенсивності смуг випромінювання від частоти слідування імпульсів, парціальних тисків та складу газових сумішей проведена оптимізація параметрів лампи бар'єрного розряду на основі радикалів гідроксилу.

**Ключові слова:** бар'єрний розряд, молекула OD, плазма, пари води.

### Вступ

Газорозрядна плазма за останні роки набула досить широкого застосування в світлотехніці. Окремий інтерес для вивчення представляє бар'єрний розряд, протікання струму в якому обмежено діелектриком, а характерні розміри електродів суттєво перевищують величину міжелектродного проміжку [1]. Бар'єрний розряд забезпечує ефективну генерацію атомів та радикалів, які утворюються внаслідок процесів дисоціації, іонізації та збудження різних газових сумішей. Також до переваг бар'єрного розряду потрібно віднести відсутність контакту електродів з робочою речовиною.

Авторами роботи [2] була створена лампа бар'єрного розряду з максимумом випромінювання на  $\lambda=309,2$  нм. Менш вивченими на сьогоднішній день є джерела, основні смуги яких знаходяться в ВУФ-області спектру.

Метою даної роботи є дослідження емісійних характеристик лампи бар'єрного розряду на сумішах інертних газів з парою важкої або звичайної води.

### Методика проведення експерименту

Для того, щоб провести дослідження характеристик плазми бар'єрного розряду в області УФ і ВУФ – діапазонах спектру ( $\Delta\lambda=140-315$  нм) була

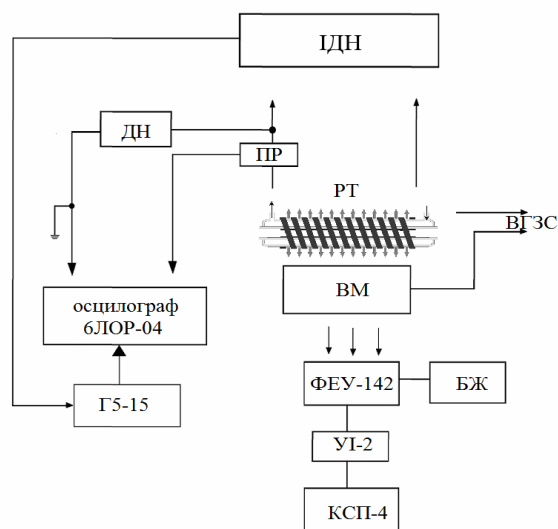


Рис. 1. Загальна схема експериментальної установки: ІДН – імпульсне джерело напруги, ВМ – вакуумний монохроматор, ВГЗС – вакуумна газозмішувальна система, ФЕУ-142 – фотоелектронний помножувач, БЖ – блок живлення, УІ-2 – електронний підсилювач постійного струму, КСП-4 – електронний потенціометр, ПР – пояс Роговського, ДН – дільник напруги, Г5-15 – генератор імпульсів.

розроблена та виготовлена експериментальна установка, загальна схема та основні вузли наведені на рис. 1.

До основних вузлів експериментальної установки відносяться газорозрядна трубка з бар'єрним розрядом, вакуумний монохроматор, вакуумна газозмішувальна система, високовольне джерело живлення, системи реєстрації електричних та оптичних сигналів.

Для дослідження лампи бар'єрного розряду використовувався блок високовольтних імпульсів від азотного лазера ЛГІ-505. За допомогою даного блоку живлення забезпечувались вихідні імпульси напруги амплітудою 25-40 кВ та тривалістю 20-30 нс. Частота повторення імпульсів накачування варіювалась в діапазоні 35-1000 Гц.

Розряд запалювався у двобар'єрній лампі. Сама розрядна колба, довжиною 20 см, виготовлена з двох коаксіальних кварцових трубок: діаметр зовнішньої трубки складав 26 мм, діаметр внутрішньої трубки – 14 мм. Товщина стінок трубок становила 1,5 мм. Відстань між катодом і анодом складала 4,5 мм. Електродна система складалася з двох електродів – зовнішній електрод (довжиною 160 мм) виготовлений з нікелевого дроту діаметром 0,3 мм і навитий на зовнішню трубку з кроком 2 мм. Всередині трубки розташований внутрішній електрод, який виготовлений з суцільного алюмінієвого циліндру довжиною 250 мм.

Для проведення досліджень плазми розряду ексиплексних ламп була використана вакуумна газозмішувальна система. Ця система дозволяє відкачувати трубки до тисків  $10^{-1} \dots 5 \cdot 10^{-4}$  мм рт.ст. (0, 001 кПа) і приготувати суміші газів в широкому діапазоні тисків та необхідної точності. До газорозрядної трубки було приєднана система приготування та напуску парів води, яка забезпечувала точне дозування в межах від 0,05-10 мм рт.ст. Дистильована вода ( $H_2O$  або  $D_2O$ ) заливалася в колбу, яка попередньо відкачувалася, чим досягалось знегажування води. Пари води, насичені при кімнатній температурі, одержували при випаровуванні дистильованої води із колби.

Випромінювання лампи бар'єрного розряду на основі сумішей інертних газів з парою води досліджувалося в спектральному діапазоні  $\Delta\lambda=140-315$  нм та аналізувалося за допомогою однометрового вакуумного монохроматора, який виготовлений за схемою Сейя-Наміока (рис. 1). Свічення від розрядної трубки поступало через LiF віконце у монохроматор з оберненою лінійною дисперсією 0,7 нм/мм. На виході

монохроматора для детектування випромінювання використовувався фотоелектронний помножувач ФЭУ-142, який має високу чутливість саме на ділянці спектру 112-365 нм з максимальною чутливістю на довжині хвилі 254 нм. Інтенсивності атомарних спектральних ліній та молекулярних смуг реєстрували імпульсним фотометром та самописцем КСП-4. Спектри приводились до реального вигляду з врахуванням відносної спектральної чутливості вакуумного монохроматора  $k(\lambda)$  та ФЕУ-142.

Для реєстрації імпульсів струму на розрядному проміжку використовувався пояс Роговського, який представляє собою котушку, яку використовують для вимірювання змінних в часі струмів або їх похідних [3]. Реєстрація напруги проводилась з використанням малоіндуктивного ємнісного дільника. Сигнали, які надходили з пояса Роговського та ємнісного дільника, подавалися на швидкодіючий осцилограф БЛОР-04.

### Емісійні характеристики

Дослідження випромінювання плазми бар'єрного розряду проводились в спектральному діапазоні  $\Delta\lambda=140-315$  нм. Використовували газові суміші  $He-D_2O(H_2O)$  та  $Ar-D_2O(H_2O)$ , у яких варіювався тиск пари води і тиск інертних газів.

Розряд на суміші  $Ar-D_2O(H_2O)$  однорідно заповнював весь об'єм газової трубки і мав рожевий колір з фіолетовим відтінком, натомість розряд на суміші  $He-D_2O(H_2O)$  був білого кольору з рожевим відтінком.

На рис. 2(а, б) представлені спектри випромінювання лампи бар'єрного розряду на суміші  $p(He)-p(H_2O)=20-0,133$  кПа та  $p(Ar)-p(H_2O)=20-0,133$  кПа. Найбільш інтенсивними смугами в спектрі на суміші  $He-H_2O$  (рис. 2(а)) були ВУФ-смуги в діапазоні  $\Delta\lambda=144-160$  нм, які можуть бути ототожені з випромінюванням радикала  $OH(X-B)$ . Основними смугами в спектрі на суміші  $Ar-H_2O$  (рис. 2(б)) були смуги радикала  $OH(X-B)$  в діапазоні  $\Delta\lambda=144-160$  нм. Менш інтенсивними були смуги

УФ-діапазону 300-314 нм –  $\lambda=307,9$  нм,  $\lambda=310,6$  нм (ОН (X-A)) та смуги  $\lambda=246,4$  нм,  $\lambda=224,8$  нм ОН ( $C^2\Sigma^+ - A^2\Sigma^+$ ) [4, 5].

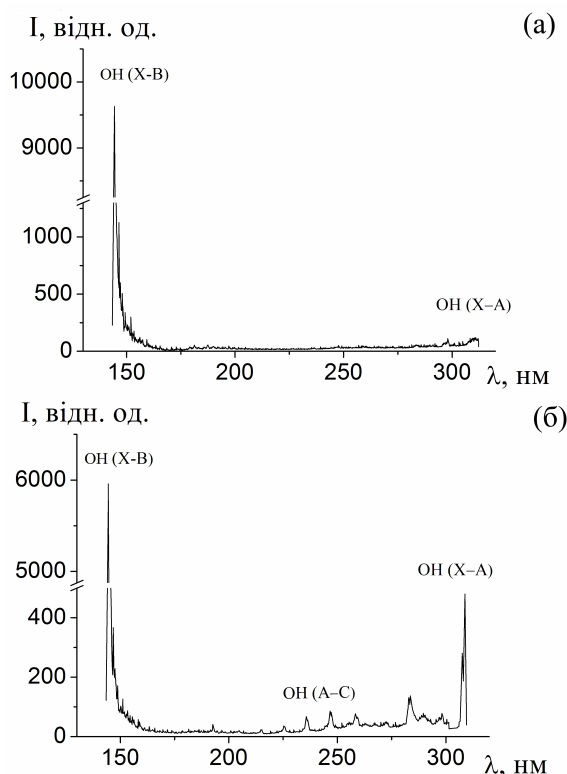


Рис. 2. Спектри випромінювання бар'єрного розряду на суміші р(He)-р(H<sub>2</sub>O)= 20- 0,133 кПа (а), р(Ar)-р(H<sub>2</sub>O)=20-0,133 кПа (б).

Якщо порівняти спектри випромінювання на суміші He-H<sub>2</sub>O та Ar-H<sub>2</sub>O, то інтенсивність ВУФ-випромінювання на суміші He-H<sub>2</sub>O майже у півтора рази більша від інтенсивності випромінювання на суміші Ar-H<sub>2</sub>O.

Використання Ar замість He привело до зростання інтенсивності смуги УФ-діапазону ОН (X-A). Причиною цього може бути передача енергії від метастабільних атомів чи молекул аргона Ar (11,5 еВ) радикалу ОН.

При використанні пари важкої води замість звичайної води, спектр випромінювання практично не змінювався. Основними в спектрі на суміші р(He)-р(D<sub>2</sub>O)=20-0,20 кПа (рис. 3(а)) були смуги OD (X-B) ( $\Delta\lambda=144-160$  нм) та смуги УФ-діапазону (OD (X-A)).

Найбільш інтенсивними в спектрі випромінювання на суміші Ar-D<sub>2</sub>O

(рис. 3(б)) були смуги OD (X-A) та менш інтенсивними – смуги УФ-випромінювання OD (X-A).

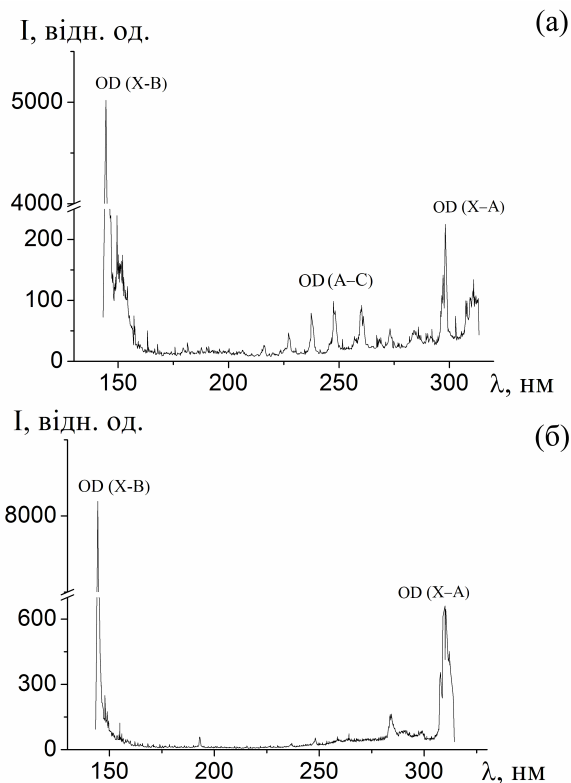


Рис. 3. Спектри випромінювання бар'єрного розряду на суміші р(He)-р(D<sub>2</sub>O)= 20- 0,20 кПа (а), р(Ar)-р(D<sub>2</sub>O)=20-0,20 кПа (б).

На рис. 4 представлена залежність інтенсивності смуг випромінювання радикала OD ( $\Delta\lambda=144-160$  нм) в бар'єрному розряді в суміші He-D<sub>2</sub>O при р(D<sub>2</sub>O)=0,20 кПа. Оптимальний тиск гелію знаходиться в діапазоні 20-40 кПа.

Залежність інтенсивності смуг ВУФ-випромінювання в діапазоні  $\Delta\lambda=144-160$  нм газорозрядної плазми на суміші He-D<sub>2</sub>O при р(He) = 20 кПа наведено на рис. 5. Максимальна інтенсивність даних смуг спостерігається в діапазоні 0,1-0,2 кПа парціального тиску парів важкої води.

Також проведена оптимізація інтенсивності випромінювання бар'єрного розряду на смугі  $\lambda=309$  нм OD (X-A) для суміші р(He)-р(D<sub>2</sub>O) = 20-0.2 кПа в залежності від напруги, до якої заряджається робочий конденсатор високовольтного модулятора при частоті – 80 Гц та від частоти слідування імпульсів струму при

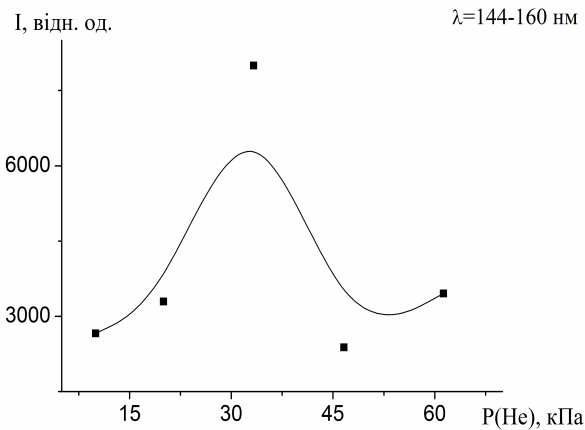


Рис. 4. Залежність інтенсивності випромінювання характеристичних смуг радикала OD в газорозрядній плазмі на суміші He-D<sub>2</sub>O від парціального тиску гелію при p(D<sub>2</sub>O) = 0,20 кПа.

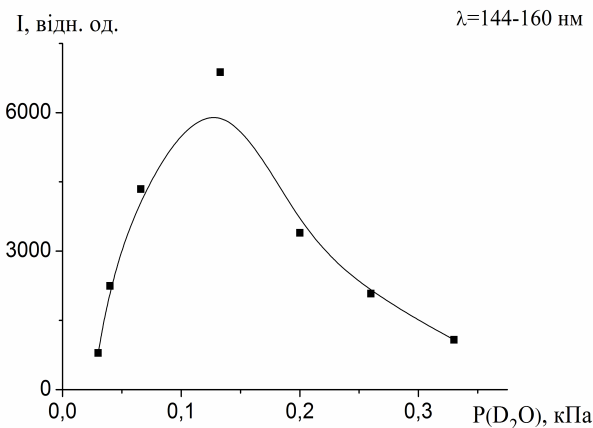


Рис. 5. Залежність інтенсивності випромінювання характеристичних смуг радикала OD в газорозрядній плазмі на суміші He-D<sub>2</sub>O від парціального тиску парів важкої води при p(He)=20 кПа.

фіксованій зарядній напрузі – 13 кВ. Зміна зарядної напруги в діапазоні 13-20 кВ показала, що інтенсивність ультрафіолетового випромінювання радикалів гідроксилу зростає при збільшенні зарядної напруги без ознак насичення. Подібний характер залежності інтенсивності ультрафіолетового випромінювання смуги

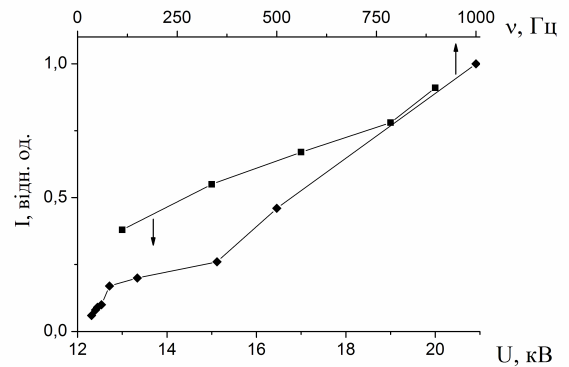


Рис. 6. Залежність інтенсивності смуги OD(X-A)  $\lambda=309$  нм від частоти слідування імпульсів струму та від величини зарядної напруги робочого конденсатора високовольтного модулятора для суміші p(He)-p(D<sub>2</sub>O) = 20-0,2 кПа.

309 нм OD (X-A) було одержано і при збільшенні частоти слідування імпульсів струму в діапазоні 35-1000 Гц. Це вказує на перспективність подальшого зростання частоти і у діапазоні частот, що переважають частоту 1 кГц.

### Висновки

Досліджено емісійні характеристики лампи бар'єрного розряду на сумішах He-D<sub>2</sub>O та Ar-D<sub>2</sub>O. Використання Ar замість He приводило до зростання інтенсивності смуги OH (X-A). Причиною цього може бути передача енергії від метастабільних атомів чи молекул аргона молекулам води. Вивчення оптичних характеристик випромінювання плазми суміші пари важкої води і гелію в діапазоні  $\Delta\lambda=144-160$  нм показало, що оптимальний тиск гелію при p(D<sub>2</sub>O) = 0,20 кПа знаходиться в діапазоні 20-40 кПа. Оптимальний тиск парів важкої води при p(He)= 20 кПа складає 0,1-0,2 кПа.

Автори виражають подяку н.с. Шевері І.В. за допомогу в проведенні експерименту.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ломаев М.И., Скакун В.С., Соснин Э.А., Тарасенко В.Ф., Шитц Д.В., Ерофеев М.В. Эксилампы – эффективные источники спонтанного УФ-и ВУФ-излучения // УФН. – 2003. – Т. 173. – №2. – С. 201-217.
2. Соснин Э.А., Ерофеев М.В., Авдеев С.М, Панченко А.Н., Панарин В.А., Скакун В.С., Тарасенко В.Ф.,

- Шитц Д.В. Ультрафиолетовая лампа барьерного разряда на молекулах OH // Квантовая Электроника. – 2006. – Т.36. – № 10. – С. 981 – 983.
3. Шваб А. Измерение на высоком напряжении: Измерительные приборы и способы измерения. – Москва: Энергоатомиздат, 1983. – С. 264.
4. Pears R.W.B., Gaydon A.G. The identification of molecular spectra. – London: Chapman Hall LTD, 1963. – P. 347.
5. Шуаибов А.К., Дашенко А.И., Шевера И.В. Стационарный излучатель в диапазоне 130-190 нм на основе плазмы паров воды // Квантовая Электроника. – 2001. – Т.31. – № 6. – С. 547 – 548.

Стаття надійшла до редакції 14.02.2012

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

## LAMP OF THE BARRIER DISCHARGE ON THE MIXTURES OF THE INERT GASES WITH VAPOUR OF HEAVY WATER

The results of studies of emission characteristics of a twobarrier discharge plasma on the mixtures He-D<sub>2</sub>O and Ar-D<sub>2</sub>O are presented. The optimization of the hydroxyl emission bands OD intensity, depending on the pressure of the mixture is conducted. The parameters optimization of the lamp based on the dependences of the radiation bands intensities on the pulses frequency, composition and partial pressures of the gas mixtures have been carried out.

**Key words:** barrier discharge, molecule OD, plasma, water vapour.

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

## ЛАМПА БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА НА СМЕСЯХ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ С ПАРОВОМ ТЯЖЕЛОЙ ВОДЫ

Представлены результаты исследования эмиссионных характеристик плазмы двобарьерного разряда на смеси He-D<sub>2</sub>O и Ar-D<sub>2</sub>O. Проведена оптимизация яркости полос излучения OD в зависимости от давления и состава рабочих смесей. На основе зависимостей полос излучения от частоты следования импульсов, парциальных давлений и состава газовых смесей проведена оптимизация параметров лампы барьерного разряда на основе радикалов гидроксидов.

**Ключевые слова:** барьерный разряд, молекула OD, плазма, пары воды.