

УДК 621.327

А.А. Генерал, Ю.В. Жменяк, В.А. Кельман, Ю.О. Шпеник

Інститут електронної фізики НАН України, 88017, Ужгород, вул. Університетська, 21  
e-mail: heneral-andrij@rambler.ru

## УФ ВИПРОМІНЮВАЧ НА СУМІШІ $\text{Ar}/\text{H}_2\text{O}$

Приведено результати експериментальних досліджень спектральних характеристик газорозрядного джерела ультрафіолетового випромінювання на суміші  $\text{Ar}/\text{H}_2\text{O}$  при збудженні бар'єрним розрядом. Порівнюються емісійні характеристики робочих середовищ на основі парів води та суміші  $\text{Ar}/\text{H}_2\text{O}$ .

**Ключові слова:** бар'єрний розряд, газорозрядна лампа, УФ випромінювач.

### Вступ

Сучасні технології значною мірою пов'язані з використанням джерел спонтанного ультрафіолетового (УФ) випромінювання. На практиці доки найбільш широко використовуються ртутні джерела. Але такі випромінювачі вимагають спеціальної утилізації, інакше можливе значне забруднення навколишнього середовища. Для заміни цих ламп на екологічно безпечніші актуальним є дослідження та розробка альтернативних джерел УФ випромінювання. Протягом останнього десятиліття такими джерелами випромінювання найкращим чином зарекомендували себе електророзрядні лампи на сумішах інертних газів зі сполуками галогенів. Проте використання робочих газових сумішей на основі агресивних робочих середовищ не дозволяє отримувати високі ресурсні характеристики ультрафіолетових джерел. Для збільшення ресурсу УФ випромінювачів ведуться пошукові роботи з використанням менш агресивних та екологічно безпечніших робочих середовищ, наприклад, на основі парів води [1-3] або водних розчинів з вмістом компонентів, що випромінюють в УФ області спектра [4]. Такі нові джерела спонтанного УФ випромінювання є менш токсичними за галоген- та ртуть- вмісні. Крім того, використання робочих середовищ на основі агресивних молекул не дозволяє отримувати ресурс роботи таких випромінювачів більше 1000 годин, тобто актуальною є розробка випромінювачів, у яких не буде таких недоліків.

На даному етапі створено чимало зразків різних ламп, які випромінюють в УФ-діапазоні спектра. Проте, задача пошуку оптимального хімічного складу екологічно чистих робочих сумішей та способів їх накачування для одержання максимальних ККД і потужності випромінювання продовжує залишатися актуальною.

В [5] показано, що при певних розрядних умовах світловіддача позитивного стовпа тліючого розряду в суміші інертного газу з джерелом гідроксилу наближається до світловіддачі ртутного розряду.

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 газостатичних умовах. Тому перспективним є застосування у випромінювачах на парі води бар'єрного розряду. Метою даної роботи було дослідження спектральних характеристик УФ випромінювача на парах води та суміші  $\text{Ar}/\text{H}_2\text{O}$ , які збуджувалися за допомогою бар'єрного розряду. Детально досліджено спектральний діапазон 250 - 1000 нм.

### Умови експерименту

Експерименти проводилися з плоским однобар'єрним розрядним джерелом, електродами в якому слугувала, з одного боку, поверхня конденсаторного діелектрика, а з другого – мідний опуклий електрод. Розрядний проміжок між

електродами становив 5 мм, а випромінювання розряду здійснювалось через бічну циліндричну кварцову стінку товщиною 2,5 мм. Дистильована вода знаходилася в приєднаному до джерела спеціальному відростку. Цей відросток попередньо відкачувався, чим досягалось знегаження робочої суміші. Для збудження однобар'єрної лампи використовувався генератор із перезарядом накопичувальної ємності 680 пФ та тиратроном ТГИ2-500/20 як комутатором. Частота повторення імпульсів складала 300 Гц, напруга на випрямлячі 1 – 3 кВ.

Для реєстрації спектральних характеристик лампи на парах води використовувались монохроматор MS 7504і фірми «SOLAR III» та CCD камера.

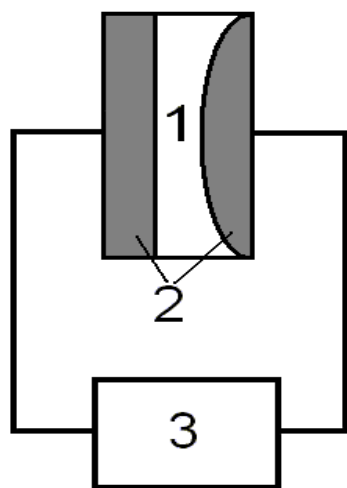


Рис. 1. Конструкція електророзрядної лампи бар'єрного розряду [6]. 1 – газорозрядний проміжок, 2 – електроди, 3 – блок живлення лампи.

Ультрафіолетова лампа бар'єрного розряду має циліндричний кварцовий корпус, бічні електроди - 2, один з яких відіграє роль діелектричного бар'єра (даний електрод виготовлений з кераміки, яка має не тільки високе значення відносної діелектричної проникності  $\epsilon \sim 1000$ , але й малі енергетичні втрати  $\text{tg}\delta \sim 0.002$ ), міжелектродну розрядну зону - 1, штуцери відкачки та напуску робочої суміші.

У відкачану однобар'єрну лампу напускають робочу суміш. На електроди подають імпульсну напругу за допомогою джерела живлення, в результаті чого в

трубці запалюється бар'єрний розряд високого тиску, при цьому струм в лампі обмежений діелектриком, з якого виготовлено електрод.

### Спектральні характеристики плазми розряду

Однією з особливостей лампи на парах води є наявність в її емісійному ультрафіолетовому (УФ) спектрі лише окремих вузьких смуг молекули  $\text{OH}^*$ . На рис. 2 наведено інтегрований в часі спектр випромінювання бар'єрного розряду в насиченій водянній парі з аргоном у спектральному діапазоні 300 - 500 нм.

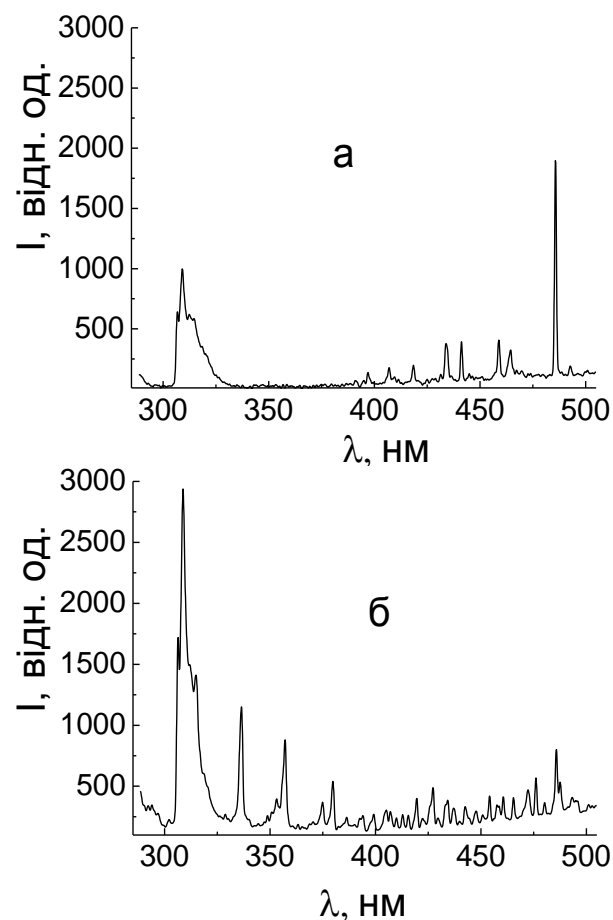


Рис. 2. Спектри випромінювання розряду в парі води (рис. а) та в суміші  $\text{Ar}(140 \text{ Тор})/\text{H}_2\text{O}(15 \text{ Тор})$  (рис. б) в інтервалі 300-500 нм.

Тиск пари за кімнатної температури  $18^\circ\text{C}$  становив близько 15 Тор. Тиск аргону змінювали від 0 до 750 Тор.

В результаті порівняння спектрів випромінювання розряду в парі води (рис. 2а) та в суміші  $\text{Ar}(140 \text{ Тор})/\text{H}_2\text{O}$

(15 Тор) (рис. 2б) показано, що потужність УФ випромінювання лампи ( $A \rightarrow X$  перехід радикалу  $OH$ , 309 нм) з аргонем значно ( $\sim$  в 3 рази) зростає. Вочевидь, це є наслідком того, що не тільки прямий електронний удар, як в першому випадку, але й дисоціативне збудження молекул води метастабільними атомами аргону призводить до утворення збуджених радикалів гідроксилу.

Смуга в УФ області спектра належить електронному  $A \rightarrow X$  переходу молекули  $OH^*$ , максимум інтенсивності якої сконцентрований в області 300 – 330 нм. У видимій області спектра у випромінюванні лампи були зареєстровані спектральні лінії з максимумами при 589,0 і 589,6 нм, які належать резонансному дублету  $2p^6 3s^2 S_{1/2} - 2p^6 3p^2 P_{3/2,1/2}$  атома натрію. Також в спектрах були наявні й переходи атомів водню (лінії серії Бальмера:  $H_\alpha$ ,  $H_\beta$ ,  $H_\gamma$  та  $H_\delta$ ), аргону (найінтенсивніші на: 750 нм, перехід  $3s^2 3p^5 (2P^{\circ}_{1/2}) 4s^2 [1/2]^{\circ} - 3s^2 3p^5 (2P^{\circ}_{1/2}) 4p^2_{1/2}$  та 763 нм, перехід  $3s^2 3p^5 (2P^{\circ}_{3/2}) 4s^2 [3/2]^{\circ} - 3s^2 3p^5 (2P^{\circ}_{3/2}) 4p^2_{3/2}$ ) та кисню (777 нм, перехід  $2s^2 2p^3 (4S^{\circ}) 3s 5S^{\circ}_2 - 2s^2 2p^3 (4S^{\circ}) 3p 5P_3$  та 844 нм, перехід  $2s^2 2p^3 (4S^{\circ}) 3s 3S^{\circ}_1 - 2s^2 2p^3 (4S^{\circ}) 3p 3P_2$ ).

На рис. 3 наведено часові форми імпульсів струму  $I(t)$  та спонтанної емісії  $J(t)$  для найбільш інтенсивного максимуму при 309 нм (криві відповідають робочій напрузі на випрямлячі 2,5 кВ).

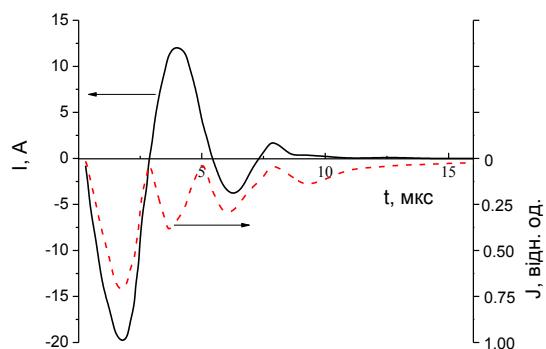


Рис. 3. Часові форми імпульсів струму  $I(t)$  і спонтанної емісії  $J(t)$  для найбільш інтенсивного максимуму при 309 нм, суміш  $Ar/H_2O$ , тиск аргону 140 Тор, парів води 15 Тор.

В роботі [7] зверталась увага на повне співпадіння тривалості імпульсів струму й УФ випромінювання, що могло свідчити про те, що молекули  $OH$  утворюються і збуджуються в розряді на парі води, в основному, під впливом електронних зіткнень з молекулами води. Згідно [8] збуджена молекула води  $H_2O^*$ , знаходячись в верхніх електронних станах, дисоціює через електронний стан  $V$ . У процесі дисоціації молекули води утворюється збуджений стан молекули гідроксилу  $OH^*(A)$ .

## Висновки

У даній роботі наведено результати експериментальних досліджень джерела УФ випромінювання на суміші  $Ar/H_2O$ . Для збудження робочої суміші використовувався бар'єрний розряд.

Ультрафіолетовий спектр лампи утворюється в результаті випромінювання молекул гідроксилу  $OH^*$ . Основною в УФ спектрі випромінювання є смуга, яка належить електронному переходу  $A \rightarrow X$  молекули  $OH$  в області 300 - 330 нм.

Показано, що потужність УФ випромінювання лампи ( $A \rightarrow X$  перехід молекули  $OH$ , з максимумом на 309 нм) зростає в 3 рази для суміші  $Ar/H_2O$  у порівнянні з парами звичайної води.

Результати експериментів свідчать про перспективність даного джерела випромінювання з недорогим і екологічно безпечним робочим середовищем. Такий випромінювач може знайти застосування в медицині, мікроелектроніці, фотохімії, а також для очищення питної води. Також випромінювачі на основі пари води представляють інтерес для створення альтернативних джерел енергії з використанням відновлюваного палива [9].

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

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

Короткохвильовий випромінювач емнісного розряду на парі води //

- Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Фізика. - 2010. - № 28. - С 135 - 139.
2. 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.
  3. Шуайбов А.К., Генерал А.А., Кельман В.А., Шевера И.В. Эмиссионные характеристики газоразрядного ультрафиолетового излучателя низкого давления на парах воды // Письма в ЖТФ. - 2008. - Т.34, - Вып.14. - С. 6-11.
  4. Авдеев С.М., Соснин Э.А., Смирнов А.А., Генерал А.А., Кельман В.А., Автаева С.В., Тарасенко В.Ф. Исследование спектральных, временных и энергетических характеристик газоразрядной плазмы на основе паров воды и водного аммиака // Оптика атмосферы и океана. - 2009. - Т. 22, - №8. - С. 818 – 822.
  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. Генерал А.А., Кельман В.А., Жменяк Ю.В., Шпенник Ю.О. Ультрафиолетовая лампа бар'єрного розряду // Патент України на корисну модель № 56973. Бюл. 3. Зареєстровано 10.02.2011.
  7. Генерал А.А., Рійвес Р.Б., Кельман В.А., Жменяк Ю.В., Шпенник Ю.О., Улусова С.П. Електро-розрядна лампа на парі води // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Фізика. - 2006. - №19. - С 194 - 196.
  8. Kanaev A., Museur L., Ebery F., Laarmann T., Möller T. Photoexcitation of rare-gas neon and argon clusters doped with  $H_2O$  // Eur. Phys. J. D. - 2002. - V. 20. - P. 261 - 268.
  9. Щедрин А.И., Левко Д.С., Черняк В.В., Юхименко В.В., Наумов В.В. Влияние воздуха на концентрацию молекулярного водорода при конверсии этанола посредством неравновесной плазмы газового разряда // Письма в ЖЭТФ. - 2008. - Т. 88, - Вып. 2. - С. 107 - 110.

Стаття надійшла до редакції 27.05.2011

A.A. General, Yu.V. Zhmenyak, V.A. Kelman, Yu.O. Shpenik

Institute of Electron Physics NAS of Ukraine

Str. Universitetskaya, 21, Uzhhorod, Ukraine, 88017

e-mail: heneral-andrij@rambler.ru

## UV EMITTERS TO MIXTURES $Ar/H_2O$

The results of experimental studies of spectral characteristics of gas-discharge source of UV radiation on a mixture of  $Ar/H_2O$  excited by a barrier discharge. A comparison of the spectral characteristics for the working media to water vapor and a mixture of  $Ar/H_2O$  was done.

**Key words:** barrier discharge, discharge lamp, UV emitter.

А.А. Генерал, Ю.В. Жменяк, В.А. Кельман, Ю.О. Шпеник  
Институт электронной физики НАН Украины  
ул. Университетская, 21, Ужгород, Украина, 88017  
e-mail: heneral-andrij@rambler.ru

## УФ ИЗЛУЧАТЕЛЬ НА СМЕСИ Ar/H<sub>2</sub>O

Приводятся результаты экспериментальных исследований спектральных характеристик газоразрядного источника ультрафиолетового излучения на смеси Ar/H<sub>2</sub>O при возбуждении барьерным разрядом. Сравниваются спектральные характеристики рабочих сред на парах воды и на смеси Ar/H<sub>2</sub>O.

**Ключевые слова:** барьерный разряд, газоразрядная лампа, УФ излучатель.