УДК 537.525:539.19

Л.В. Месарош, О.К. Шуаібов, М.П. Чучман
Ужгородський національний університет, вул. Підгірна, 46, Ужгород, 88000
e-mail: *liviamesarosh@gmail.com*

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЛІЮЧОГО РОЗРЯДУ НАД ПОВЕРХНЕЮ ДИСТИЛЬОВАНОЇ ВОДИ

Представлено результати дослідження емісійних характеристик розрядної плазми над поверхнею дистильованої води. Наведено світлини розряду при різних міжелектродних проміжках та рівнях води у кюветі і спектри випромінювання розряду.

Ключові слова: розряд, дистильована вода, спектри випромінювання.

Вступ

Фізика і техніка низькотемпературної плазми розвивається дуже динамічно. Постійно розширюється коло традиційних і виникають нові напрямки практичного використання плазми у сфері високих технологій, тому для роботи вчених необхідна сучасна достовірна інформація про властивості низькоенергетичної плазми при різних умовах [1].

На даний час можливості модифікації поверхні металів і сплавів із використанням традиційних методів обробки практично вичерпані, що призвело до появи нових перспективних методів, зокрема: лазерних, електронно-променевих, плазмових, плазмово-електролітних [2].

Електричний розряд широко використовується для одержання озону, в технологіях очистки води [3], а також може служити джерелом ряду короткоживучих частинок, таких як гідроксил (OH), атомарний кисень (O) та водень (H).

Перспективність використання генераторів нерівноважної газорозрядної плазми з рідинними електродами підтверджується результатами багатьох експериментальних досліджень [4].

На даний час відсутні систематичні експериментальні дослідження плазми газового розряду з рідинними електродами. Тому такі дослідження становлять інтерес для розширення застосувань нових плазмових технологій.

Актуальність досліджень у цьому напрямку зумовлена дешевизною рідинних електродів та високим ступенем екологічної чистоти технологічних процесів із застосуванням нерівноважної плазми газового розряду з рідинними електродами.

Метою роботи було систематичне дослідження стаціонарного тліючого розряду над поверхнею дистильованої води, як першого етапу дослідження умов синтезу наноструктур на основі оксидів металів при активації розчинів відповідних солей.

Техніка та методика експерименту

Тліючий розряд запалювався у кюветі, виготовленій із оргскла, одним електродом служила голка з міді, а другим – поверхня дистильованої води. Дослідження проводилось при відстані між металевим електродом і поверхнею води 8 мм. Для живлення розряду був використаний високовольтний випрямляч (U = 1- 25 кВ; I = 1-100 мА). Випромінювання розряду аналізувалося за допомогою монохроматора МДР-2 (1200 штр/мм), фотопомножувача (ФЕП) - ФЭУ-106, підсилювача - У5-9 та системи для автоматичної реєстрації спектрів на базі аналогово-цифрового перетворювача та ЕОМ Pentium-2. Схема експериментальної установки представлена на рис. 1. Реєстрація спектрів розряду проводилася в спектральному діапазоні 200-700 нм, а їх ототожнення - за допомогою довідника [5].

Аналіз світлин розряду

Завдяки своїм унікальним властивостям вода відіграє значну роль практично у всіх процесах і явищах в оточуючому нас матеріальному світі. Сучасна наука володіє величезним обсягом експериментального і

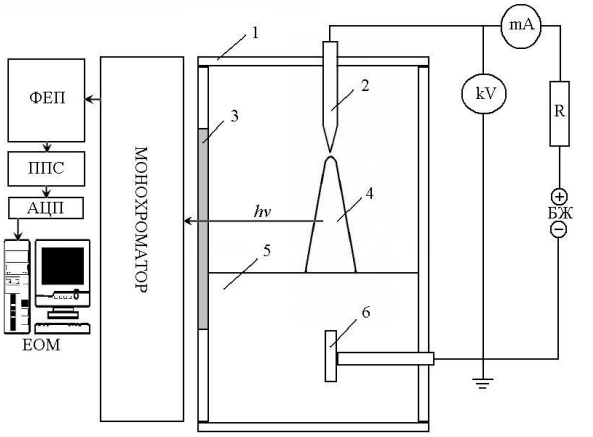


Рис. 1. Схема експериментальної установки: *1* – кювета з оргскла; *2* – металевий електрод (голка); *3* – кварцове вікно, *4* – плазма розряду; *5* – поверхня води; *6* – водяний катод.

теоретичного матеріалу про властивості та структуру води, які привертають увагу широкого кола дослідників [6].

На рис. 2 представлено світлини розряду над дистильованою водою при різних міжелектродних проміжках та різних кількостях дистильованої води над зануреним електродом та значеннях струму розряду в діапазоні 12-32 мА. Як показали наші експерименти, оптимальним був проміжок над поверхнею зануреного у воду електрода в діапазоні 1,5-2,5 мм та міжелектродна віддаль 6-8 мм. Висока яскравість та однорідність розряду спостерігалась уже при струмі I = 22 мА. При міжелектродній відстані d > 8 мм розряд починав горіти нестабільно. Яскравість свічення розряду була максимальною при d = 7 мм. При збільшенні величини струму форма розряду змінюється з конусоподібної до еліпсоподібної. Зі збільшенням кількості води над зануреним електродом яскравість розряду зменшувалась.

Перехід до конусоподібної форми відбувається при тим менших значеннях струму, чим менша відстань між електродами. Колір свічення розряду змінюється від синьо-білого до фіолетового. Зі збільшенням струму область свічення на поверхні води (катодна пляма) мала форму кола, радіус якого зменшується. Цю закономірність можна найкраще спостерігати при збільшенні міжелектродного проміжку.

На рис. 3 представлено світлини розряду над дистильованою водою з однаковим міжелектродним проміжком (8 мм) та різною кількістю води над зануреним електродом і при різних значеннях струму. З цього рисунку випливає, що зі збільшенням кількості води над електродом зменшується яскравість і об'єм розряду.

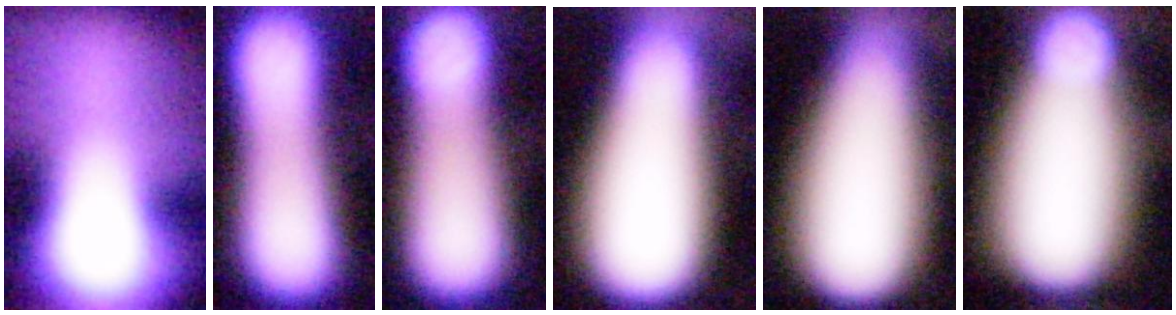
Дослідження спектрів випромінювання розряду

Досліджувались спектри випромінювання розряду з рідинним катодом над поверхнею дистильованої води при d = 8 мм та товщині шару води - 2 мм. Спектри наведені на рис. 4. З рис. 4 випливає, що у спектрах домінує друга позитивна система молекули азоту з максимумом на переході N_2 337,1 нм $^3\Pi\rightarrow{}^3\Pi$ (0;0) та спостерігається випромінювання гідроксилу з максимумом на переході ОН 306,4 нм $^2\Sigma\rightarrow{}^2\Pi$ (0;0) і її чотири канти. З меншою інтенсивністю спостерігалось випромінювання смуг молекули NO з максимумом на переході NO 247,8 нм $^2\Sigma\rightarrow{}^2\Pi$ $(0;{}^2P_1)$. У спектрах також було зафіксовано випромінювання атома водню 656 нм H_α.

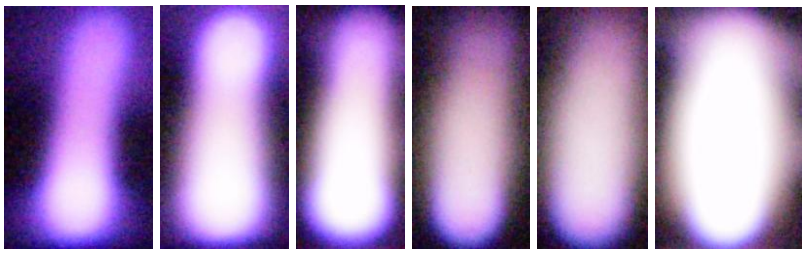
У праці [8] при d = 5 мм та струмі 30,9 мА теж видно домінування системи смуг молекули N_2 в області спектру 230-800 нм і випромінювання смуг радикала ОН до 273 нм.

Найбільш інтенсивна смуга ОН знаходиться в області довжин хвиль 303-316 нм, але з ростом струму розряду максимум інтенсивності випромінювання у смузі зміщується у сторону менших довжин хвиль. Випромінювання гідроксилу з набагато меншою інтенсивністю спостерігалось також в області 275-290 нм і відповідає переходу $^2\Sigma\rightarrow{}^2\Pi$ (1;0).

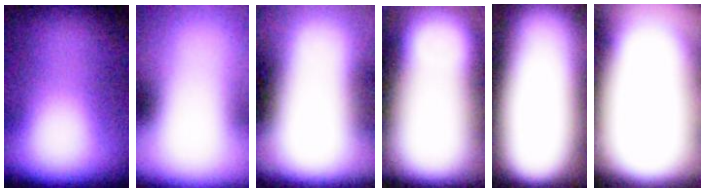
Для молекули азоту випромінювання другої позитивної системи представлено, в основному, трьома інтенсивними смугами. Крім найінтенсивнішої, з максимумом при переході N_2 337,1 нм (0;0), також спостерігались менш інтенсивні з максимумами при довжинах хвиль 357,7 нм (0;1), 375,5 нм (1;3), 380,5 нм (0;2) з максимумом на переході N_2 337,1 нм $C^3\Pi\rightarrow B^3\Pi$ (0;0).



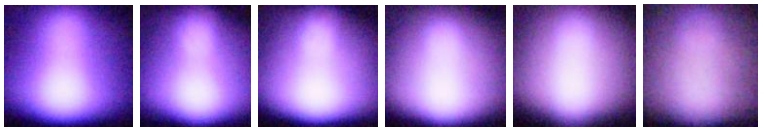
а)



б)



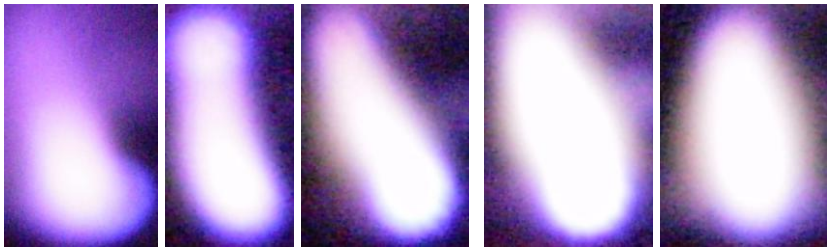
в)



г)

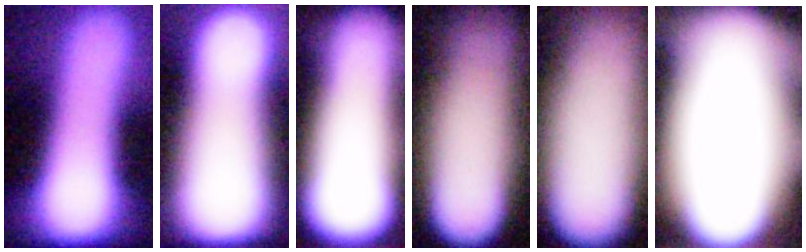
Рис. 2. Світлини розряду над поверхнею дистильованої води (величина струму змінювалась в порядку 12, 16, 22, 28, 32, 34 мА):

а) рівень води над електродом - 1,5 мм, міжелектродний проміжок - 10 мм.;
б) рівень води над електродом - 3,5 мм, міжелектродний проміжок - 8 мм;
в) рівень води над електродом - 5,5 мм, міжелектродний проміжок - 6 мм;
г) рівень води над електродом - 7,5 мм, міжелектродний проміжок - 4 мм.



а)

12 мА 16 мА 22 мА 28 мА 32 мА



б)

12 мА 16 мА 22 мА 28 мА 32 мА 34 мА

Рис. 3. Світлини розряду над поверхнею дистильованої води при d = 8 мм:

а) рівень води над електродом – 2 мм;
б) рівень води над електродом - 3,5 мм.

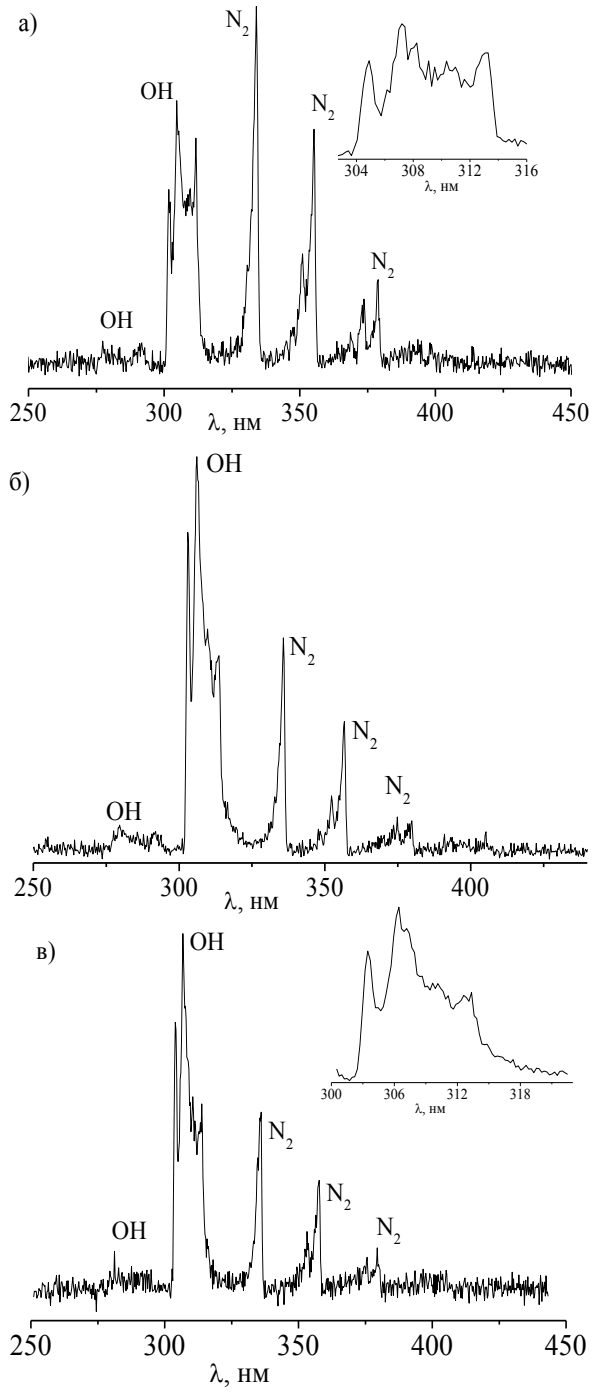


Рис. 4. Інтегральні спектри розряду при різних значеннях струму а) 12 мА, б) 20 мА, в) 32 мА.

З рис. 4 та рис. 5 видно, що при збільшенні струму розряду інтенсивність смуги OH зростає, а N_2 зменшується. Детальніше аналізуючи зміну інтенсивності смуги OH від сили струму в розряді бачимо, що характер цієї залежності змінюється при струмі 26 мА: інтенсивність починає зростати швидше. При малих струмах розряду інтенсивність випромінювання азоту переважала інтенсивність випромінювання OH. Проте з ростом струму до 19 мА інтенсивність випромінювання молекул азоту різко спадає, після чого змінюється мало. Ймовірно, що у розрядній плазмі відбуваються фізико-хімічні процеси, які призводять до гасіння випромінювання молекул азоту. Збудження молекули N_2 може передаватися молекулам з меншими енергіями дисоціації, а також можливий розпад даної молекули з утворенням молекули NO. Як випливає з рис. 5;б, при I > 24 мА інтенсивність випромінювання молекули NO різко зростає. Подібний характер зміни випромінювання OH та H_α вказує на те, що атоми водню утворюються внаслідок розпаду OH, або при одному і тому самому процесі – взаємодії плазми з поверхнею води, руйнування якої може призвести до утворення атома водню і радикала OH.

У роботі [7] це пояснюється розпорошенням та випаровуванням води з катодної плями. Інтенсивність смуги 337,1 нм N_2 більша інтенсивності смуги 308,9 нм OH і її фіолетовий кант перекриває червоний.

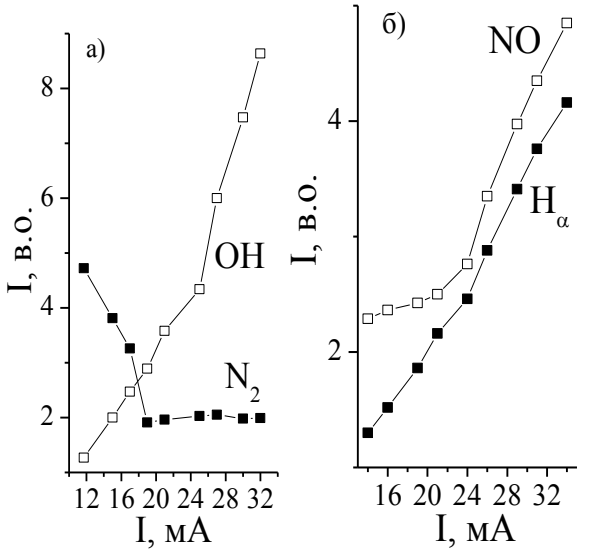


Рис. 5. Залежність інтенсивності випромінювання розряду від сили струму:
а) OH 306,4 нм $^2\Sigma\rightarrow{}^2\Pi$ (0;0) та N_2 337,1 нм $^3\Pi\rightarrow{}^3\Pi$ (0;0) (при напрузі ФЕП 700 В);
б) NO 247,8 нм $^2\Sigma\rightarrow{}^2\Pi$ (0;$^2P_1$) та H_α 656,2 нм (при напрузі ФЕП 1060 В).

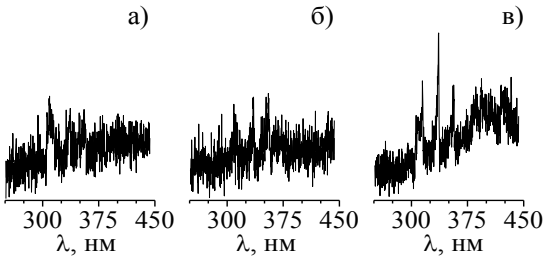


Рис. 6. Відбір випромінювання плазми розряду над поверхнею дистильованої води (12 мА)
а) центральна ділянка,
б) верхня ділянка,
в) нижня ділянка.

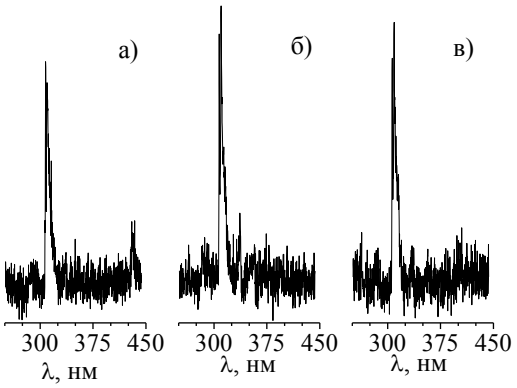


Рис. 7. Відбір випромінювання плазми розряду над поверхнею дистильованої води (32 мА):
а) центральна ділянка,
б) верхня ділянка,
в) нижня ділянка.

Для аналізу емісійних спектрів у різних просторових ділянках між електродами за допомогою щілини здійснювався відбір випромінювання з області шириною 2 мм біля електродів та по центру розряду. Таким чином, при значеннях струму 12 мА (рис. 6) та 32 мА (рис. 7) зафіксовано ви промінювання з нижньої, центральної та верхньої ділянки свічення розряду. Інтенсивність випромінювання гідроксилу над поверхнею дистильованої води з ростом сили струму зросла більше, ніж у два рази, а випромінювання азоту навпаки – зменшилася. Інтенсивне випромінювання смуги ОН спостерігається у всій області розряду.

Зафіксовано спектри при струмі розряду 32 мА та температурах води в кюветі 30 і 65 ^{0}С. Аналізуючи рис. 8 видно, що зі збільшенням температури води інтенсивність смуги ОН зменшується, а NO проявляється інтенсивніше. Разом з тим відбувається перерозподіл інтенсивності випромінювання між смугами N_2. Кисень і ОН також повинні збиратися в цій області, так як у них низька електронегативність вони будуть брати участь у перенесенні негативного заряду до анода. В таких умовах синтез NO буде проходити ефективніше при вищих температурах.

З рис. 8 в) видно, що при відборі випромінювання з нижніх ділянок плазми при обох значеннях струму інтенсивність випромінювання смуги ОН висока, хоча зі збільшенням струму максимум інтенсивності знаходиться у центральній ділянці розряду. Інтенсивність випромінювання азоту при низьких струмах зростає при наближенні до рідинного електрода, а при збільшенні струму розряду лише в центральній області залишається високою.

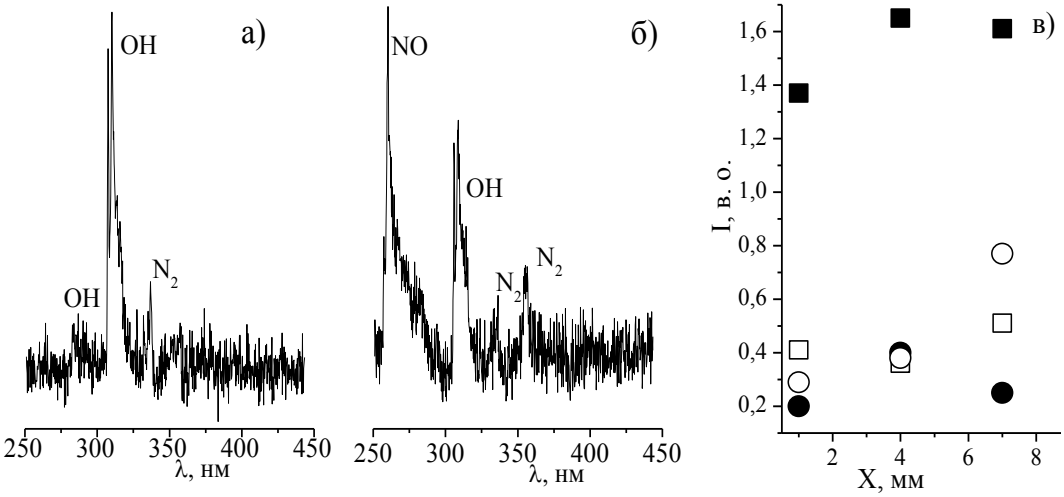


Рис. 8. Інтегральні спектри випромінювання розряду відібрані з області плазми на 2 мм нижче металевого електрода при струмі 32 мА а) температура води 300 С, б) температура води 600 С, в) інтенсивність випромінювання смуг ОН (■□) та N2 (○●) з різних просторових ділянок плазми при струмах 12 (□○) та 32 (■●) мА.

Висновки

Використовуючи світлини розряду охарактеризовано геометричні характеристики та визначено оптимальні умови його свічення. Дослідження емісійних характеристик тліючого розряду над поверхнею дистильованої води показало, що в його плазмі ефективно утворюються збуджені радикали гідроксилу та атомарного водню, а також окис азоту та молекули азоту у збуджених станах.

У проміжку струму розряду 20-26 мА змінюється хід залежностей інтенсивності випромінювання молекул складових розряду, для яких характерний перерозподіл інтенсивності випромінювання по його об'єму зі збільшенням струму.

За розподілом інтенсивності смуг другої позитивної системи молекули азоту і радикалів ОН(С→А) можливо встановити коливальну температуру молекул азоту та гідроксилу, а за шириною спектральної лінії H_α. – концентрацію електронів у різних просторових ділянках розряду.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Энциклопедия низкотемпературной плазмы. Под ред В.Е. Фортова. Москва. Наука. – 2000. – 633 с.
2. Гайсин А.Ф., Абдуллин И.Ш., Гайсин Ф.М. Струйный многоканальный разряд с электролитическими электродами в процессах обработки твердых тел. – Казань: Изд-во Каз. гос. техн. ун-та. – 2006. – 446 с.
3. Eliasson B., Kogelschatz U. Non–equilibrium volume plasma chemical processing // IEEE Trans. on Plasma Science.- 1991.– V. 19, N. 6. P. 1063–1077.
4. Гайсин М.Ф., Сон Э.Е. Электрофизические процессы в разрядах с твердыми и жидкими электродами. Свердловск: Изд. Урал ун-та. – 1989. – 432 с.
5. Пирс Р., Гейдон А. Отождествление молекулярных спектров. Изд. иностранной литературы. Москва.- 1949. – 248 с.
6. Кесслер Ю.М., Петренко В.Е., Ляшенко А.К. Вода: структура, состояние, сольватация. – М.: Наука, 2003. – 404 с.
7. Соскида М.-Т.І. Дослідження випромінювання постійного розряду над поверхнею води // Науковий Вісник Ужгор. ун-ту. Серія Фізика. Випуск 16. – 2004. – С. 54-58.
8. Bruggeman P., Liu J., Degroote J., Kong M.G., Vierendeels J., Leys C. Dc excited glow discharges in atmospheric pressure air in pin-to-water electrode systems // J. Phys. D: Appl. Phys. 41.– 2008. – 215201 (11pp).

Стаття надійшла до редакції 10.07.2012

L.V. Mesarosh, A.K. Shuaibov, M.P. Chuchman
Uzhhorod National University, 88000, Uzhhorod, Voloshin Str., 54
e-mail: *liviamesarosh@gmail.com*

RESEARCH OF GLOW-DISCHARGE ABOVE SURFACE OF THE DISTILLED WATER

The results of research of emission characteristics of discharge plasma above the distilled water are presented. The photoes of disharge at different distances between the electrodes and water levels in a cuvette and the spectrums of radiation of the disharge are presented.

Key words: disharge, distilled water, emission spectra.

Л.В. Месарош, А.К. Шуаибов, М.П. Чучман
Ужгородский национальный университет, 88000, Ужгород, ул. Волошина, 54
e-mail: *liviamesarosh@gmail.com*

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА НАД ПОВЕРХНОСТЬЮ ДИСТИЛЛИРОВАННОЙ ВОДЫ

Представлены результаты исследования эмиссионных характеристик разрядной плазмы над дистиллированной водой. Приведены фотографии разряда при разных междуэлектродных промежутках и уровнях воды в кювете и спектры излучения разряда.

Ключевые слова: разряд, дистиллированная вода, спектры излучения.