

УДК 533.9

PACS 52.80.-s, 51.50.+v, 52.80.Tn

DOI: <https://doi.org/10.24144/2415-8038.2016.39.100-105>

В.В. Данило, І.В. Шевера, О.Й. Миня, З.Т. Гомокі, Д.А. Калімуллїна, О.К. Шуаїбов, М.М. Чаварга.

Ужгородський національний університет, 88000, Ужгород, вул. Волошина, 54

e-mail: igor.shevera@uzhnu.edu.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ІМПУЛЬСНОГО РОЗРЯДУ НАД ПОВЕРХНЕЮ ВОДНОГО РОЗЧИНУ ХЛОРИСТОГО ЦИНКУ

Досліджено просторові, спектральні та електричні характеристики наносекундного розряду над поверхнею дистильованої води та водяного розчину хлористого цинку. В спектрі випромінювання плазми спостерігалось випромінювання другої позитивної системи молекул азоту та випромінювання радикалів OH^* . Імпульс струму амплітудою 170 А, тривалістю 60 нс формувався імпульсом напруги амплітудою близько 30 кВ та забезпечував пікове значення потужності на рівні 4 МВт та енергетичний внесок за імпульс $\sim 0,13$ Дж.

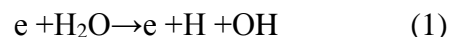
Ключові слова: наносекундний розряд, дистильована вода, водяний розчин хлористого цинку.

Вступ

Серед нових ефективних способів синтезу наноструктур важливе місце належить методу, заснованому на електричному розряді в рідинах. До переваг цього методу слід віднести можливість регулювання параметрів синтезованих часток шляхом варіації режимів розряду, досить висока продуктивність з можливістю масштабування процесу синтезу, порівняно проста конструкція реактора та нескладний процес підготовки вихідних матеріалів [1]. Недоліком таких реакторів є швидке розпорощення електродів і некерована зміна віддалі між електродами. Тому більш перспективним є використання наносекундного розряду над поверхнею води і розчинів солей металів у воді [2]. Високі показники очищення води наносекундним коронним розрядом обумовлені, в першу чергу, наявністю в розрядному проміжку сильного електричного поля, напруженість якого значно перевищує порогове значення при якому починає протікати більшість корисних для

очищення води плазмохімічних реакцій в повітрі.

Також відомо, що при наносекундному розряді з рідинним електродом виникають хімічно активні частки, що володіють більшим окислювальним потенціалом, ніж озон який утворюється при очищенні води методом озонування. До хімічно більш активних частинок ніж озон, відносяться радикал OH і атомарний кисень. Радикал OH ефективно утворюється, наприклад, при протіканні імпульсних коронного або бар'єрного розрядів у вологому повітрі [3,4]:



Перші результати дослідження наносекундного розряду над поверхнею електроліту нами приведені в праці [5].

В даній статті наведені результати розробки вдосконаленого газорозрядного плазмохімічного реактора з електролітичним електродом підвищеної площі, який призначений для синтезу наноструктур оксидів металів в повітрі атмосферного тиску.

1. Техніка та умови експерименту

Одним з елементів експериментальної установки є розрядна комірка, схема якої наведена на рис. 1. В комірці запалювався імпульсно-періодичний наносекундний розряд над поверхнею водяного розчину хлористого цинку, що відбувався між системою електродів: «лезо-лезо».

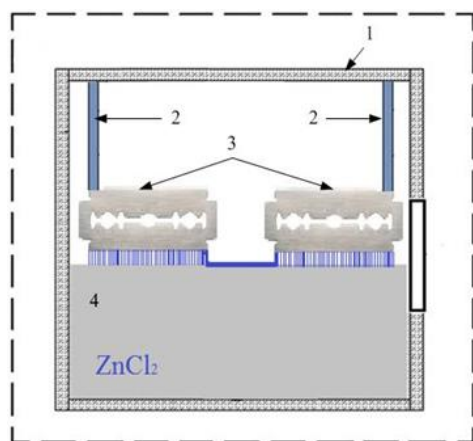


Рис.1. Будова розрядної комірки з поворотними електродами: 1 – кювета з органічного скла; 2 – регулювальні електродні гвинти; 3 – леза; 4 – водний розчин хлористого цинку.

На верхньому фланці комірки змонтована електродна система типу «лезо-лезо». Відстань між електродами можна було варіювати за допомогою поворотних кріплень електродів.

В експерименті віддаль між лезами та поверхнею розчину варіювалась в межах 0...5 мм. Рівень робочої рідини підтримувався за допомогою крапельної системи. Робочою рідиною був водяний розчин хлористого цинку. Для збудження розряду використовувався наносекундний блок живлення з частотою слідування імпульсів 35...1000 Гц та напругою 25...40 кВ. За рахунок повороту лез навколо осі кріплення відстань між ними змінювалась в межах 3...80 мм.

Іншими не менш важливими елементами експериментальної установки є високовольтне імпульсно-періодичне джерело живлення, що живило розрядку комірку. Також для реєстрації оптичного випромінювання та електричних характеристик (сили струму та напруги) використовувався спектральний прилад

ДФС-12 та МДР-2 та багатоканальний наносекундний осцилограф 6-ЛОР. На рис. 2 наведено схему експериментальної установки.

Випромінювання плазми, що реєструвалося у спектральному діапазоні $\lambda=196-663$ нм надходило через входну щілину спектрометра з дифракційною решіткою 1200 штрихів/мм. На виході спектрометра для детектування випромінювання використовувався фотоелектронний помножувач ФЕП-106, підключений до підсилювача постійного струму. Сигнал з останнього надходив на аналого-цифровий перетворювач і далі подавався для обробки на персональний комп'ютер.

Осцилограми струму фіксувалися на фотокамеру, а вже пізніше були оцифровані за допомогою відповідного програмного забезпечення.

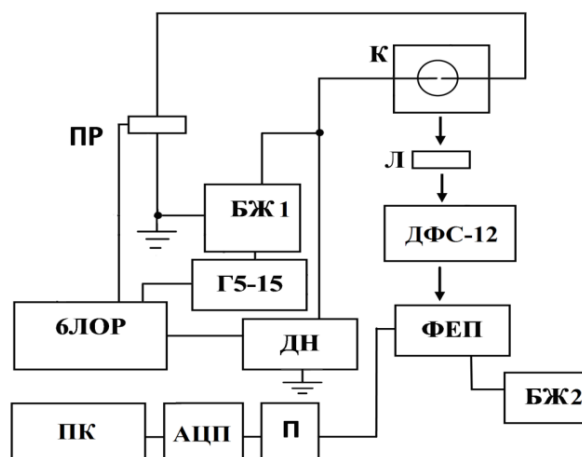


Рис.2. Блок-схема експериментальної установки: БЖ1 – блок живлення розряду; К – розрядна комірка; Л – збиральна лінза; ДФС-12 – спектрометр; ФЕП – фотоелектричний помножувач; БЖ2 – блок живлення ФЕП; П – підсилювач; АЦП – аналого-цифровий перетворювач сигналу; ПК – персональний комп'ютер; ПР – пояс Роговського; ДН – дільник напруги для визначення спаду напруги в колі; Г5-15 – генератор імпульсів; 6ЛОР – осцилограф.

Дослідження розряду (з різним розміщенням електродів, а саме з міжелектродною віддаллю 3, 10, 25 та 80 мм) над поверхнею дистильованої води та водного (10 % та 20 %) розчину солі хлористого цинку. Схеми розміщення електродів наведено на рис. 3.

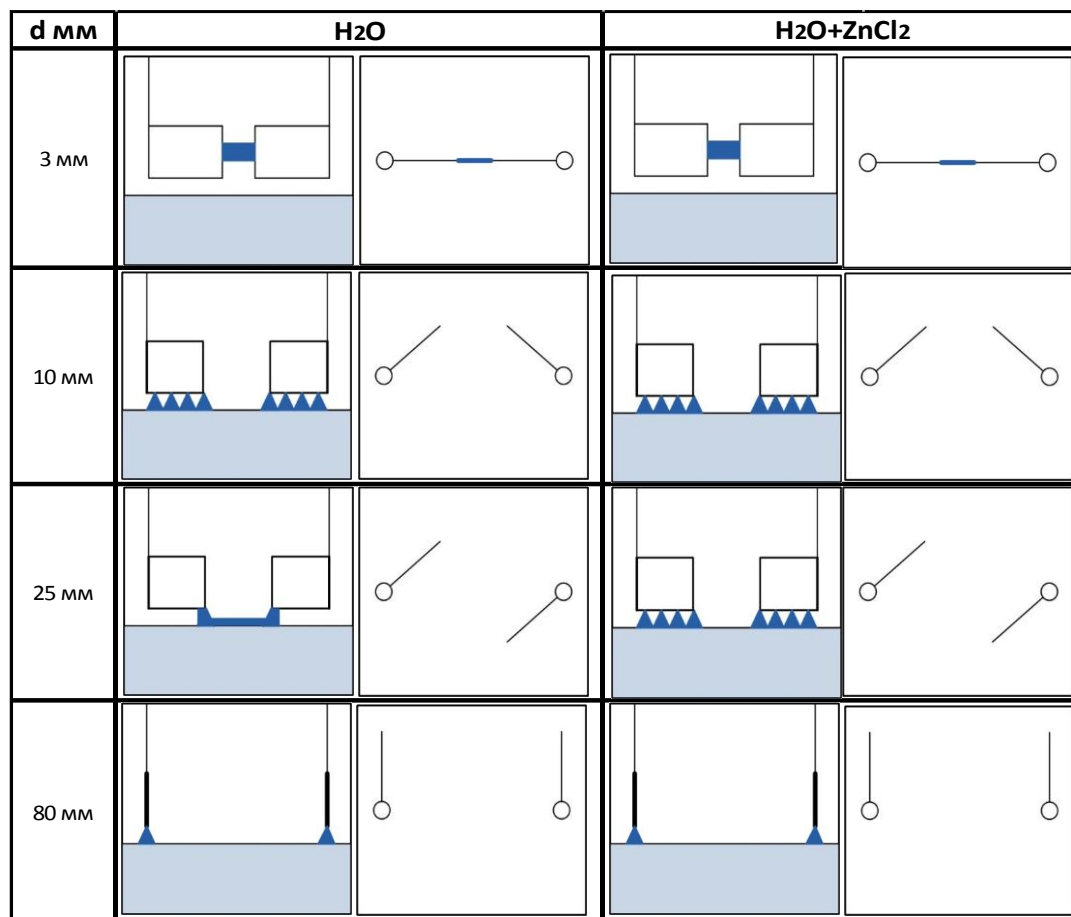


Рис. 3. Схеми електродних систем розрядної комірки.

2. Характеристики розряду

При міжелектродній віддалі в 3 мм реалізовувався іскровий розряд між лезами в повітряному проміжку. Вигляди розрядів над дистильованою водою та водним розчином солі практично не відрізнялися. При міжелектродній віддалі в 10 мм розряд над дистильованою водою поширювався у вигляді іскри по поверхні води, тоді як над водним розчином солі іскра не спостерігалася, а мали місце тоненькі стрімери між лезами та поверхнею розчину по всій довжині лез. Схожий стрімерний вигляд мав місце при міжелектродній віддалі в 80 мм над поверхнями як дистильованої води, так і над поверхнею розчину солі. Свічення розряду мало синьо-фіолетовий відтінок і заповнювало майже весь проміжок між лезами та поверхнею рідин. У цьому випадку проходження електричного струму відбувалося наступним шляхом: від леза на рідину через приповерхневий повітряний шар (3 мм), далі в рідині та знову через приповерхневий повітряний

шар на лезо.

Кожний окремий експеримент з дослідження спектральних характеристик тривав від 30 до 60 хвилин. Дослідження спектрів проводилось системою реєстрації МДР-2 з ФЕП-106 в області 196...663 нм.

Спектр випромінювання іскрового розряду через повітряний проміжок (3 мм) був майже ідентичним для випадків з дистильованою водою та розчином солі хлористого цинку. Спостережуваний континуум пов'язаний з іскровим режимом протікання розряду (рис.4).

На рис. 5. представлено спектр випромінювання розряду, який представляв собою набір тоненьких стрімерів вздовж обох лез. На відміну від іскрового режиму інтенсивність смуг у спектрі була меншою. Аналогічно у спектрі домінували смуги випромінювання молекули азоту.

Використовуваний наносекундний імпульсний блок живлення розряду дозволяв фіксовано змінювати частоту слідування імпульсів розряду зі значеннями 35, 80, 150, 350, 1000 Гц.

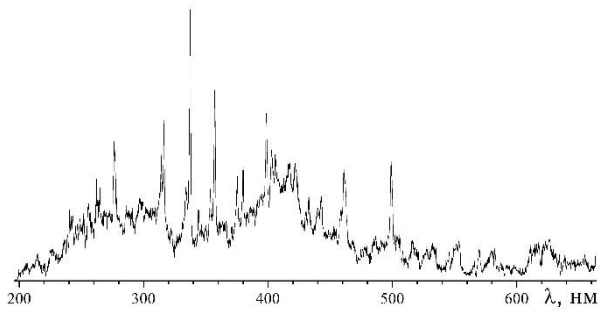


Рис. 4. Спектр випромінювання іскрового розряду при міжелектродній віддалі 3 мм через повітряний проміжок.

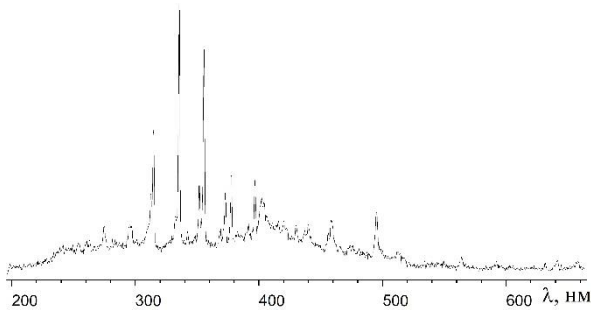


Рис. 5. Спектр випромінювання стрімерного розряду над поверхнею водного розчину хлористого цинку при міжелектродній віддалі 80 мм.

За допомогою багатоканального осцилографа проводився запис часових залежностей струму розряду і напруги на розрядному проміжку. Запис залежностей здійснювався для випадків з дистильованою водою (рис.6) та водним розчином хлористого цинку (рис.7) при різних між-електродних віддальх (рис.8) і, як наслідок, різних режимах протікання розряду. За осцилограмами струму та напруги розраховувались часові залежності потужності та величина вкладуваної в розряд енергії.

Амплітуда першого імпульсу напруги визначається початковим опором розрядного проміжку, який складається з шару повітря та рідини. Збільшення величини повітряного шару викликало зниження амплітуди струму. Початок імпульсу струму починався на спаді першого імпульсу напруги. Наявність

різких спадів на імпульсі напруги можна пояснити присутністю стрімерів – іскрових каналців у розряді, які виникають внаслідок іонізації розрядного проміжку упродовж першого імпульсу.

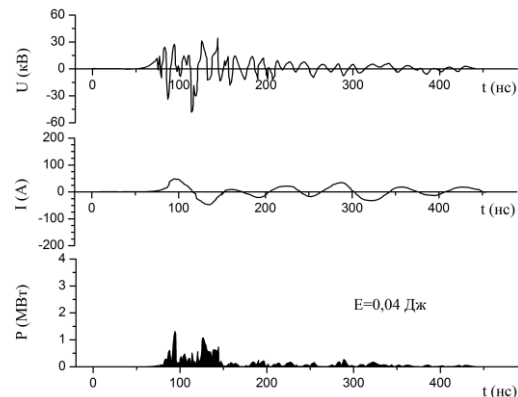


Рис. 6. Часові залежності напруги, сили струму та потужності розряду (іскровий режим в повітрі) над поверхнею дистильованої води при відстані між лезами 10 мм.

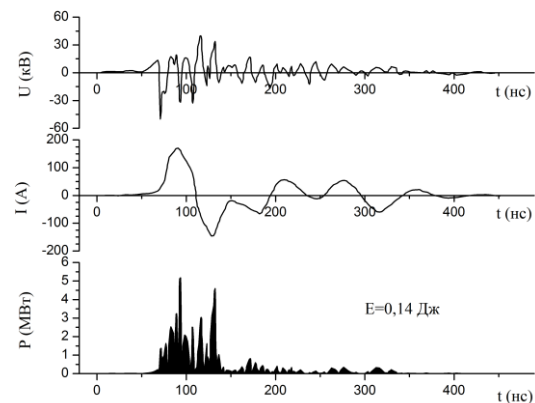


Рис. 7. Часові залежності напруги, сили струму та потужності розряду (стрімерний режим) над поверхнею водного розчину хлористого цинку при відстані між електродами 10 мм.

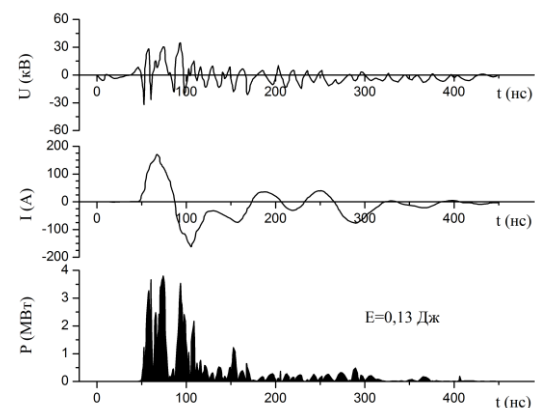


Рис. 8. Часові залежності напруги, сили струму та потужності розряду (стрімерний режим) над поверхнею водного розчину хлористого цинку при відстані між електродами 80 мм.

Аналіз струму та напруги для розряду над поверхнею водного розчину хлористого цинку в стрімерному режимі при між електродній віддалі 80 мм виявив, що струм амплітудою 170 А, тривалістю першого півімпульсу близько 40 нс і повною тривалістю близько 60 нс формувався імпульсом напруги амплітудою біля 30 кВ та забезпечував

пікове значення потужності в основній частині імпульсів напруги і струму на рівні 4 МВт, а енерговклад за імпульс сягав $\sim 0,13$ Дж. Аналіз осцилограм струму в дистильованій воді та на водному розчині хлористого цинку показав, що сила струму в розряді над поверхнею останнього зростає, що пов'язане з утворенням носіїв заряду у рідині.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ротберг Ф.Г., Гусаров В.В., Коликов В.А., Воскресенская И.П, и др Исследование физико-химических свойств наночастиц, полученных с помощью импульсных электрических разрядов в воде // ЖТФ. 2012. Т.82, вып.12. С. 33-36.
2. Божко И.В., Фальковский Н.И. Коронный разряд на поверхность электропроводящей жидкости и его использование для обработки воды. //Технічна електродинаміка. 2007. №2. С. 9-14.
3. Pokryvailo A., Wolf M., Jankelevich J. High – power pulsed corona for treatment of pollutants in heterogenous media //IEEE transactions plasma science. – 2006. – V.34. – № 5. – PP. 1731–1743.
4. Ono R., Oda T. Dynamics of ozone and OH radicals generated by pulsed corona discharge in humid-air flow reactor measured by laser spectroscopy // J. Appl. Phys. – 2003. – V. 93. – № 10. – PP. 5876–5882.
5. A.K.Shuaibov, I.V.Shevera, Ya.Yu.Kozak, G.V.Kentesh. Characteristics of a nanosecond discharge in atmospheric air with a liquid electrolytic electrode. /Technical Physics. 2014, Volume 59, Issue 6, PP 928-931.

Стаття надійшла до редакції 31.05.2016.

В.В. Данило, И.В. Шевера, А.И. Миня, З.Т. Гомоки,
Д.А. Калимуллина, А.К. Шуаибов, М.М. Чаварга
Ужгородский национальный университет, 88000, Ужгород, ул. Волошина, 54

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИМПУЛЬСНОГО РАЗРЯДА НАД ПОВЕРХНОСТЬЮ ВОДНОГО РАСТВОРА ХЛОРИСТОГО ЦИНКА

Исследованы пространственные, спектральные и электрические характеристики наносекундного разряда над поверхностью дистиллированной воды и водного раствора хлористого цинка. В спектре излучения плазмы разряда наблюдалось излучение второй положительной системы молекул азота и излучения радикалов OH^* . Импульс тока (170 А, 60 нс) формировался импульсом напряжения (~ 30 кВ) и обеспечивал пиковое значение мощности на уровне 4 МВт и энерговклад за импульс $\sim 0,13$ Дж.

Ключевые слова: наносекундный разряд, дистиллированная вода, водный раствор хлористого цинка.

PACS 52.80.-s, 51.50.+v, 52.80.Tn

V.V. Danylo, I.V. Shevera, O.Y. Minya, Z.T. Homoki, D.A. Kalimullina,
O.K. Shuaibov, M.M. Chavarga,

Uzhhorod National University, 88000, Uzhhorod, Voloshin Str., 54

INVESTIGATION OF CHARACTERISTICS OF PULSE DISCHARGE ABOUT SURFACE WATER SOLUTION OF ZINC CHLORIDE

Introduction: Among the new effective methods of synthesis of nanostructures important place belongs method based on electric discharge in liquids. The advantages of this method include the ability to adjust the parameters of the synthesized particles by variations in discharge mode, high performance, simple design of the reactor, the process of preparation of raw materials.

Purpose: This article presents the results of the development of gas-discharge plasma chemical reactor with electrolytic electrode is designed for the synthesis of nanoparticles of metal oxides.

Methods: Investigated spatial, spectral and power characteristics nanosecond discharge about surface of distilled water and solution of zinc chloride.

Results: In the emission spectrum of plasma emission observed the second positive system of nitrogen molecules and radiation radical OH^* . Current pulse amplitude of 170 A, a duration of 60 ns shaped pulse voltage amplitude of about 30 kV and provide peak power of 4 MW and an energy payment for pulse ~ 0.13 J.

Conclusion: In the spectrums dominated by emission band of nitrogen molecules. Analysis of current oscillograms in distilled water and solution showed that the increase of current in the discharge above the surface of solution of zinc chloride associated with the formation of the charge carriers in the liquid.

Keywords: nanosecond discharge, distilled water, a water solution of zinc chloride.

PACS NUMBER: 52.80.-s, 51.50.+v, 52.80.Tn

REFERENCES

1. Rotberh F.H. (2012), “analysis of physicochemical properties of nanoparticles obtained by pulsed electric discharges in water”, J. JTF. No. 12, pp. 33-36.
2. Bozhko I.V., (2007), “Corona discharge on the surface of conductive liquids and its use for the treatment of water.” [“Koronnyi razriad na poverkhnost elektroprovodiashchei zhidkosti i eho ispolzovanie dlia obrabotky vody.”], J. Tekhnichna elektrodynamika. No.2, pp. 9-14.
3. Pokryvailo A., Wolf M., Jankelevich J. (2006), “High – power pulsed corona for treatment of pollutants in heterogenous media”, IEEE transactions plasma science. Volume.34. No 5. pp. 1731–1743.
4. Ono R., Oda T. (2003), “Dynamics of ozone and OH radicals generated by pulsed corona discharge in humid-air flow reactor measured by laser spectroscopy”, J. Appl. Phys. Volume. 93. No. 10. – pp. 5876–5882.
5. A.K.Shuaibov, I.V.Shevera, Ya.Yu.Kozak, G.V.Kentesh. (2014), “Characteristics of a nanosecond discharge in atmospheric air with a liquid electrolytic electrode”. Technical Physics., Volume 59, Issue 6, pp 928-931.

© Ужгородський національний університет