

УДК 537.525:539.19

Я.Ю. Козак, О.К. Шуаїбов, М.П. Чучман

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

e-mail: jarynkad@ukr.net

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЛІЮЧОГО РОЗРЯДУ НАД ПОВЕРХНЕЮ РОЗЧИНУ НА ОСНОВІ СУЛЬФАТУ МІДІ

В роботі приведені результати дослідження просторових і електричних характеристик тліючого розряду атмосферного тиску в повітрі над поверхнею дистильованої води та 5%-20% розчинів сульфату міді в ній. Наведено вольт-амперні характеристики та величини катодних спадів напруг в розряді, а також світлини тліючого розряду при різних міжелектродних проміжках, а також спектри випромінювання розряду.

**Ключові слова:** тліючий розряд, розчин сульфату міді, спектри випромінювання, вольт-амперна характеристика, катодний спад напруги.

### Вступ

Значна зацікавленість у тліючих розрядах з рідинними електродами зумовлена їх широким використанням у технологіях нанесення теплозахисних, антифрикційних, діелектричних і протикорозійних покриттів та для нагрівання металів у електролітах [1, 2].

За останні роки визначились нові перспективні напрямки застосування розрядів з рідинними неметалічними електродами в плазмохімії, мікроелектроніці, зокрема – це синтез наноструктур металів [3, 4]. До переваг цього типу розряду належить і можливість запалювання його в повітрі при атмосферному тиску і невеликих робочих напругах.

Механізм запалювання тліючого розряду атмосферного тиску значною мірою визначається потоком додатних іонів середніх енергій (іони молекул кисню, протони тощо), які прискорюються у прикатодній частині тліючого розряду. Плазма таких тліючих розрядів атмосферного тиску є сильно нерівноважною і служить джерелом радикалів гідроксилу, озону та ультрафіолетового випромінювання. Ці чинники знаходять все ширше використання в екології, стерилізації медичних інструментів та фотохімії. Такий розряд може використовуватись і для синтезу наноструктур на основі оксидів металів, які важливі для використання в мікро-, наноелектроніці. Зокрема в розряді

над поверхнею розчину сульфату міді може проводитись синтез наноструктур міді та оксиду міді [5].

Метою нашої роботи було дослідити вольт-амперні характеристики та катодний спад напруги розряду при різних міжелектродних проміжках, а також світлини та спектри його випромінювання у дистильованій воді і розчинах на основі мідного купоросу.

### Техніка та методика експерименту

Тліючий розряд запалювався у кюветі, виготовленій із оргскла. Одним з електродів служила голка з алюмінію, а другим – поверхня розчину  $\text{CuSO}_4$ . Дослідження проводилось при відстані між металевим електродом і поверхнею розчину 7 мм, товщина шару водного розчину мідного купоросу становила – 2 мм. Для живлення розряду був використаний висковольтний випрямлювач ( $U = 1-25$  кВ,  $I = 1-100$  мА). Випромінювання розряду аналізувалося за допомогою монохроматора МДР-2, фотопомножувача ФЕУ-106, підсилювача У5-9 та системи для автоматичної реєстрації спектрів на базі аналогово-цифрового перетворювача та ЕОМ Pentium-2 [6]. Реєстрація спектрів розряду проводилась у діапазоні довжин хвиль 200-700 нм, а їх ототожнення – за допомогою довідника [7].

Електричні характеристики розряду були одержані за допомогою міліампер-

метра М906 та кіловольметра С-196. При фіксованому струмі розряду визначалось падіння потенціалу на проміжку «анод-електроліт» як функція відстані катод-анод. Екстраполяція отриманої залежності до нульової відстані давала величину катодного падіння потенціалу  $U_k$ , яка визначає енергію позитивних іонів розряду, що бомбардують поверхню рідинного катода [6].

### Спектри випромінювання розряду

На рис. 1 наведені спектри випромінювання тліючого розряду над поверхнею дистильованої води при струмах розряду 16,5 мА та 21,5 мА в діапазоні довжин хвиль 275-400 нм.

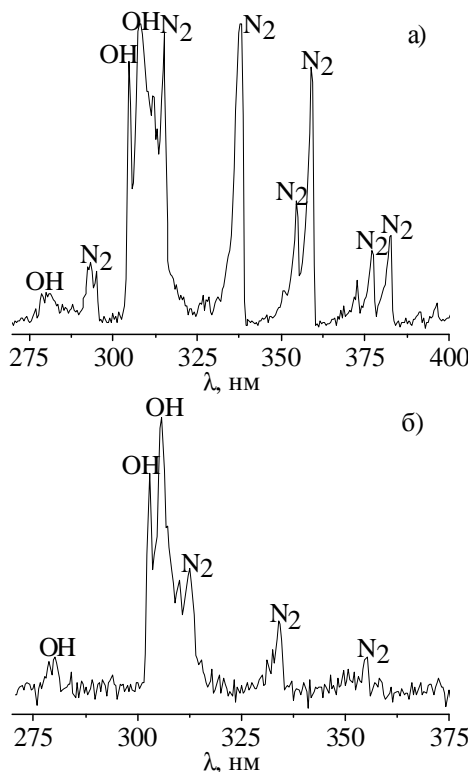


Рис. 1. Інтегральні спектри розряду над поверхнею дистильованої води при струмах 16,5 мА (а) та 21,5 мА (б).

Найбільш інтенсивними, як видно з рис. 1 є смуги ОН та  $N_2$ . Смуги ОН домінують в діапазоні 275-315 нм, а  $N_2$  в діапазоні 280-400 нм. Із збільшенням струму випромінювання азоту проявляється набагато менше. Запалювання розряду відбувається в повітрі, а основною складовою повітря є азот. Із збільшенням струму в розрядній плазмі все більшу роль відіграють продукти деструкції поверхні

електроліту. Ці контрольні експерименти служитимуть основою для наших подальших експериментів.

### Вольт-амперні характеристики та катодний спад потенціалу

На рис. 2 представлено катодний спад потенціалу для тліючого розряду 5% та 20% розчину  $CuSO_4$  та дистильованої води. Величини катодного падіння потенціалу (сотні вольт) вказують на те, що іонне бомбардування дійсно може приводити до результатів, аналогічних до тих, які спостерігались при радіаційній дії на воду (утворення сольватованих електронів, радикалів гідроксилу, атомів і від'ємних іонів водню тощо) [8].

Величина катодного падіння потенціалу в тліючому розряді зменшувалась при переході від катода на основі дистильованої води до електролітного катода. Із збільшенням концентрації розчинів від 5% до 20% катодне падіння потенціалу збільшується. Після неперервної роботи з розчином сульфату він втрачав прозорість і перетворювався у колоїдний, що пов'язано з утворенням мікро-, наночастинок міді і оксиду міді. З рис. 2 випливає, що катодне падіння потенціалу для розчинів, які використовувалися в даному випадку, мають мінімум при 22,5 – 25 мА. Величина катодного спаду напруги для 5% розчину мідного купоросу знаходиться в межах 201-101 В, 20% розчину 325-258 В і для дистильованої води 353-317 В в діапазоні струмів 15-35 мА.

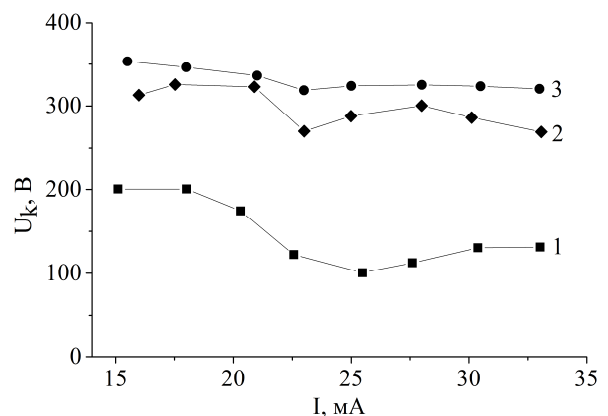


Рис. 2. Катодний спад потенціалу для тліючого розряду: (1) – 5% розчин  $CuSO_4$ , (2) – 20% розчин  $CuSO_4$  та (3) – дистильована вода.

На рис. 3 представлено вольт-амперні характеристики (ВАХ) для водних розчинів сульфату міді (5% та 20%) та дистильованої води.

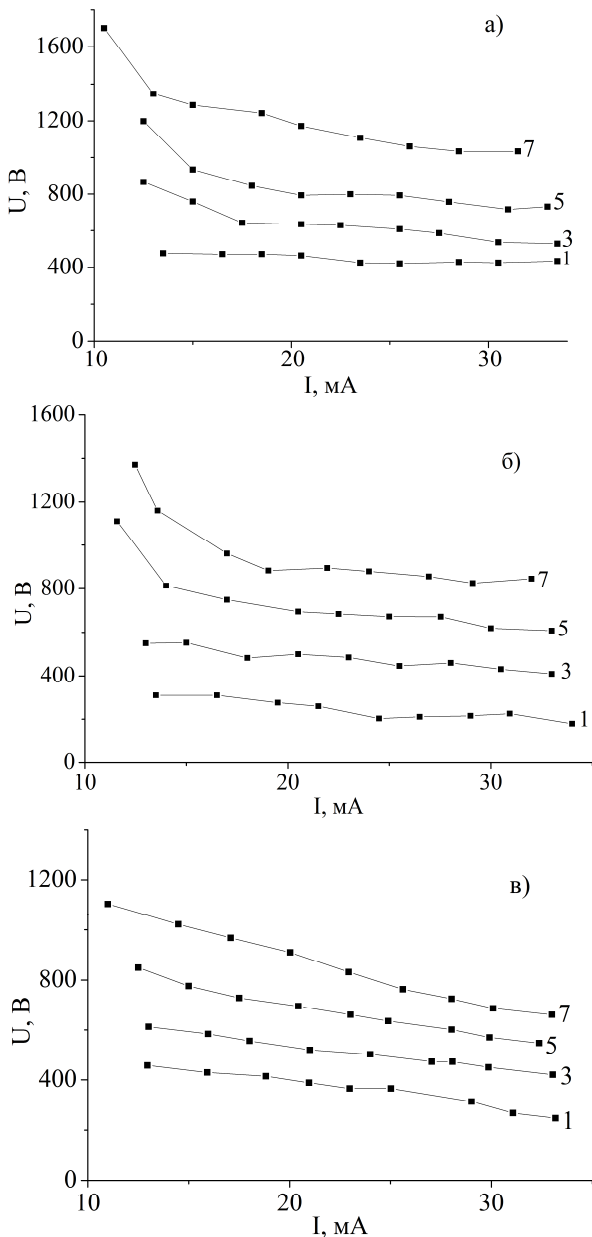


Рис. 3. Вольт-амперні характеристики тліючого розряду для: а) дистильованої води, б) 5% розчину  $\text{CuSO}_4$ , в) 20% розчину  $\text{CuSO}_4$  при різних міжелектродних відстанях:  $d = 1, 3, 5, 7$  мм.

Усі вольт-амперні характеристики (ВАХ) мають вигляд, типовий для піднормальної стадії тліючого розряду (при струмах менших 20 мА), яка переходить у нормальний режим горіння. Стабільний розряд високої яскравості запалювався при міжелектродних відстанях 1–8 мм і при рівнях дистильованої води над поверхнею зануреного електрода 2-3 мм [5].

Характерні для нормального режиму горіння розряду залежності напруги від струму при збільшенні концентрації розчинів зміщуються в область менших струмів, а значення напруги зменшується.

### Світлини розряду

На рис. 4 і 5 представлено світлини розряду для 5% та 20% розчинів мідного купоросу, отримані за допомогою цифрової фотокамери.

Дослідження характеристик розряду (рис. 4, 5) виявило, що розподіл інтенсивності випромінювання плазми в міжелектродному просторі сильно залежить від величини міжелектродної віддалі, роду рідини (її питомого опору) та рівня рідини над поверхнею електрода, зануреного в рідину.

Найбільш яскравим було свічення над поверхнею дистильованої води, що зумовлено більшою величиною катодного спаду напруги порівняно з розрядом над поверхнею електроліту [5].

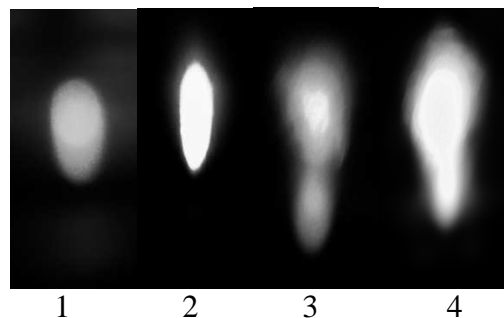


Рис. 4. Світлини розряду над поверхнею розчину ( $\text{CuSO}_4$  5%) при міжелектродній віддалі  $d = 1$  мм (1, 2) та 7 мм (3, 4), рівні рідини над електродом  $h=3$  мм; при струмах розряду -  $I = 13$  мА (1, 3) та 33 мА (2, 4).

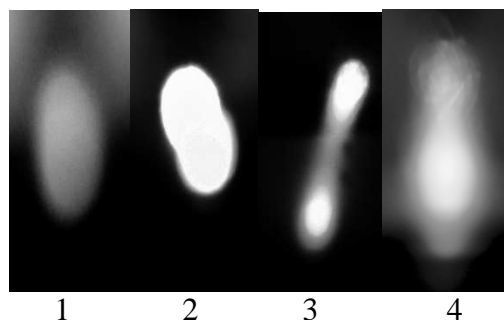


Рис. 5. Світлини розряду над поверхнею розчину ( $\text{CuSO}_4$  20%) при міжелектродній віддалі  $d = 1$  мм (1, 2) та 7 мм (3, 4), рівні рідини над електродом  $h=3$  мм; при струмах розряду -  $I = 12$  мА (1, 3) та 33 мА (2, 4).

### Висновки

Дослідження емісійних характеристик тліючого розряду над поверхнею розчину сульфату міді та дистильованої води показало, що в його плазмі найбільш ефективно випромінюють радикали ОН та молекули  $N_2$ . Із збільшенням струму випромінювання азоту проявляється набагато менше.

Видно, що катодне падіння потенціалу для розчинів, які використовувалися в даному випадку, має мінімум при 22,5 – 25 мА. Величина катодного спаду напруги для 5% розчину мідного купоросу знаходиться в межах 201-101 В, для 20% розчину – 325-258 В, для дистильованої води – 353-317 В у діапазоні струмів 15-35 мА.

Вольт-амперні характеристики (ВАХ) мають вигляд, типовий для піднормальної стадії тліючого розряду (при струмах менших 20 мА), яка переходить у нормальний режим горіння. Характерні для нормального режиму горіння розряду залежності напруги від струму при збільшенні концентрації розчинів зміщуються в область менших струмів, а значення напруги зменшується.

При збільшенні струму більше 25 мА колір свічення катодної області змінюється з синьо-фіолетового до жовто-оранжевого кольору. Також видно, що поступово збільшується об'єм розряду в досліджуваному діапазоні струмів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гайсин Ф.М., Сон Э.Е. Электрические разряды в парогазовой среде с нетрадиционными электродами с электролита // Энциклопедия низкотемпературной плазмы. Под редакцией Фортова В.Е. – М.: Наука, 2000. – С. 241-246.
2. Гайсин М.Ф., Сон Э.Е. Электрофизические процессы в разрядах с твердыми и жидкими электродами. – Свердловск: Изд. Урал ун-та, 1989. – 432 с.
3. Richmonds C., Sankaran R.M. Plasma-liquid electrochemistry: Rapid synthesis of colloidal metal nanoparticles by microplasma reduction of aqueous cations // Appl. Phys. Lett. – 2008. – V.93. – 131501. (3).
4. Chen Q., Kaneko T. and Hatakeyama R. Effects of ionic liquid electrode on pulse discharge plasma in the wide range of gas pressure // Journal of Appl. Phys. – 2010. V.108. – 103301. (6 pp).
5. Kozak Y.Yu., Chuchman M.P., Shuabov A.K. Characteristics of glow discharge with the cathode on based of solution copper sulfate ( $CuSO_4$ ) in water // XIII International young scientists conference on applied physics. 12-15 June, 2013. Kyiv. Ukraine, 2013. P.88-89.
6. Месарош Л.В., Шуаібов О.К., Чучман М.П. Дослідження тліючого розряду над поверхнею дистильованої води // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Фізика. – 2012. – № 32. – С. 82-88.
7. Пирс Р., Гейдон А. Отождествление молекулярных спектров. М.: Изд. иностранной литературы, – 1949. – 248 с.
8. Чумадова Е.С., Шикова Т.Г., Рыбкин В.В., Титов В.А. Образование и гибель активных частиц в жидком катоде под действием разряда атмосферного давления // Химия и химическая технология. – 2008. – Т. 51, вып.11. – С. 29-32.

Стаття надійшла до редакції 04.12.2013

Ya.Yu. Kozak, A.K. Shuaibov, M.P. Chuchman  
Uzhhorod National University, 088000, Uzhhorod, Voloshin Str., 54

## CHARACTERISTICS OF GLOW DISCHARGE ABOVE THE SURFACE OF COPPER SULFATE BASED SOLUTION

This paper presents results of a study of space and electrical characteristics of atmospheric pressure glow discharge in air above the surface of distilled water and 5%-20% aqueous solution of copper sulfate. The current-voltage characteristics and the value of cathode voltage drop in the discharge, the photographs of the glow discharge at different interelectrode distances and the emission spectra of the discharge have been obtained.

**Keywords:** glow discharge, copper sulfate solution, emission spectra, current-voltage characteristics, cathode voltage drop.

Я.Ю. Козак, А.К. Шуайбов, М.П. Чучман  
Ужгородский национальный университет, 88000, Ужгород, ул. Волошина, 54

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА НАД ПОВЕРХНОСТЬЮ РАСТВОРА НА ОСНОВЕ СУЛЬФАТА МЕДИ

В работе приведены результаты исследования пространственных и электрических характеристик тлеющего разряда атмосферного давления в воздухе над поверхностью дистиллированной воды и 5%-20 % растворов сульфата меди в ней. Приведены вольт-амперные характеристики и величины катодных спадов напряжений в разряде, а также фотографии тлеющего разряда при различных межэлектродных промежутках, а также спектры излучения разряда.

**Ключевые слова:** тлеющий разряд, раствор сульфата меди, спектры излучения, вольт-амперная характеристика, катодный спад напряжения.