

УДК 537.525:539.19

Л.В. Месарош, М.П. Чучман, О.К. Шуайбов

Ужгородський національний університет, вул. Підгірна, 46, Ужгород, 88000

e-mail: liviamesarosh@gmail.com

## СПЕКТРОСКОПІЧНА ДІАГНОСТИКА ТА ПАРАМЕТРИ ПЛАЗМИ ТЛІЮЧОГО РОЗРЯДУ НАД ПОВЕРХНЕЮ ВОДНОГО РОЗЧИНУ СУЛЬФАТУ АЛЮМІНІЮ

Показано, що з ростом концентрації розчину та струму розряду у випромінюванні з'являються алюміній та сірка, змінюється його просторовий розподіл. Ріст концентрації розчину при струмах розряду 12-32 мА призводить до зменшення розміру катодної плями, об'єму плазми, росту внесеної питомої потужності.

**Ключові слова:** тліючий розряд, водний розчин сульфату алюмінію, дистильована вода, спектри випромінювання, катодна пляма.

### Вступ

Нерівноважна газорозрядна плазма використовується для реалізації багатьох фізико-хімічних процесів, має високу хімічну активність при відносно невисоких температурах оброблюваних матеріалів [1]. Запалювання тліючого розряду атмосферного тиску між металевим анодом і розчином електроліту (катодом) призводить до появи у випромінюванні розряду не тільки смуг і ліній, пов'язаних з хімічним складом плазмоутворюючого газу, але і ліній, що належать продуктам перенесення компонентів розчину, зокрема атомам металу, розчини солей яких використовувалися як електролітні катоди [2, 3].

Метою роботи було вивчити емісійні, просторові та електричні характеристики розрядної плазми з рідким катодом на основі водного розчину сульфату алюмінію для кращого розуміння фізико-хімічних процесів під час виникнення та горіння розряду і подальшого використання результатів при вивченні розряду над водними розчинами різних солей.

### Техніка та методика експерименту

Тліючий розряд запалювався у кюветі, виготовленій з оргскла; одним електродом служила голка з міді, а другим – поверхня розчину  $Al_2(SO_4)_3$ . Контрольні експерименти були виконані над поверхнею дистильованої води. Дослідження про-

водилися при відстані між металевим електродом і поверхнею розчину 8 мм, товщина шару водного розчину сірчанокислого алюмінію становила 2 мм.

Для живлення розряду був використаний високовольтний випрямляч ( $U = 1-25$  кВ;  $I = 1-100$  мА). Відбір випромінювання здійснювався з просторових ділянок розряду товщиною 2 мм, розміщених паралельно до поверхні рідинного катода. Реєстрація спектрів здійснювалася в області 250-450 нм 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 [4]. Розшифровка спектрів проводилася за допомогою довідника [5]. Геометричні розміри плазми були визначені на основі виготовлених світлин розряду при різних значеннях струму розряду. Потужність, яка вкладалася в розряд, була визначена на основі вольт-амперних характеристик, отриманих за допомогою кіловольтметра типу С-196 та міліамперметра М906.

### Спектри випромінювання

У спектрах випромінювання розряду над поверхнею водного розчину сірчанокислого алюмінію при струмах розряду 12 мА та 32 мА домінує друга позитивна система смуг молекули нітрогену з максимумом 337,1 нм  $N_2$  на переході

$^3P \rightarrow ^3P (0;0)$  та випромінювання гідроксиду з максимумом 306,4 нм ОН на переході  $^2\Sigma \rightarrow ^2P (0;0)$ , також добре видно лінії міді 324,8 нм Cu I та 327,8 нм Cu I. З меншою інтенсивністю спостерігалось випромінювання смуг молекули NO з максимумом на переході NO 247,8 нм  $^2\Sigma \rightarrow ^2P (0;2)$ . У спектрах також було зафіксовано випромінювання атома водню 486,1 нм  $H_\beta$  та 656,3 нм  $H_\alpha$ . [6]. Аналізуючи свічення над поверхнею 10% розчину  $Al_2(SO_4)_3$  було виявлено малоінтенсивне випромінювання, яке належить AlO 302,8 нм  $^2\Sigma \rightarrow ^2\Sigma$  та дублет 394,4; 396,2 нм Al I [5].

На рис. 1-4 представлено спектри випромінювання для 1% та 10% розчину  $Al_2(SO_4)_3$  при струмах розряду 12 та 32 мА: а) центральна ділянка, б) верхня ділянка, в) нижня ділянка. На рис. 5 представлено інтенсивність випромінювання смуг ОН та  $N_2$  з різних просторових ділянок

плазми розряду над дистильованою водою та досліджуваними розчинами.

З рис. 5а видно, що при відборі випромінювання з нижніх ділянок плазми при обох значеннях струму інтенсивність випромінювання смуги ОН висока, хоча з 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.

В розряді над розчинами інтенсивність азоту спадає від верхнього до нижнього електрода, в той час як над водою зростає. Випромінювання смуг ОН при струмі 32 мА в центральній частині найбільш інтенсивне. При збільшенні концентрації розчину та струмі 12 мА поблизу поверхні розчину інтенсивність випромінювання азоту та гідроксиду спадає.

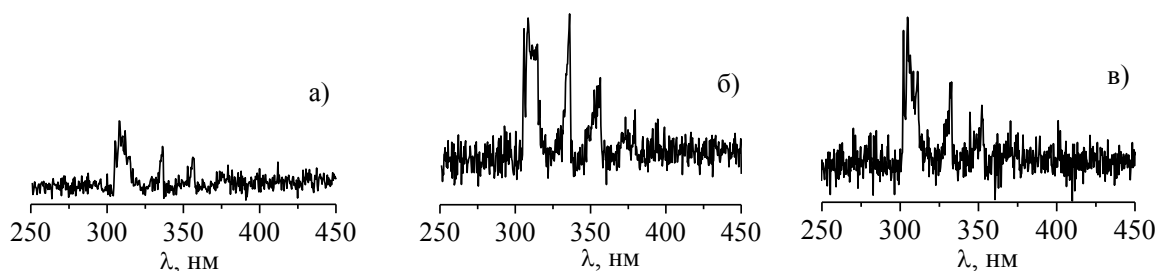


Рис. 1. Відбір випромінювання для 1% розчину  $Al_2(SO_4)_3$  при струмі розряду 12 мА: а) центральна ділянка, б) верхня ділянка, в) нижня ділянка.

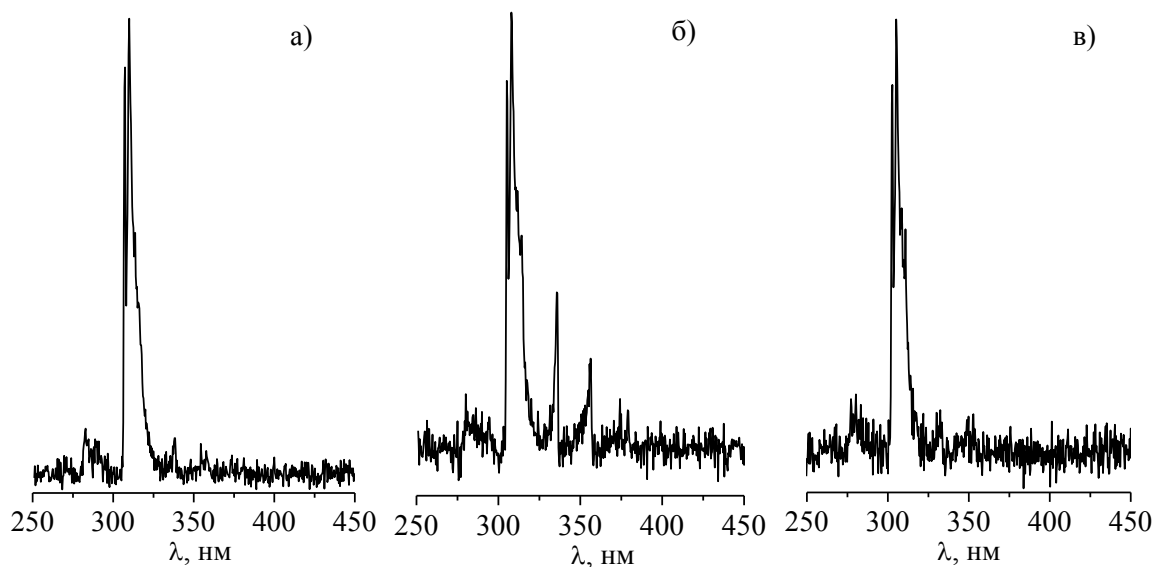


Рис. 2. Відбір випромінювання для 1% розчину  $Al_2(SO_4)_3$  при струмі розряду 32 мА: а) центральна ділянка, б) верхня ділянка, в) нижня ділянка.

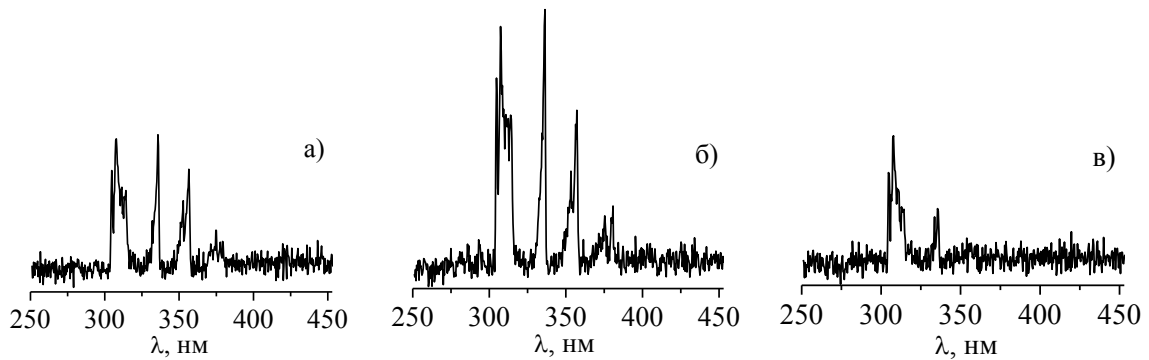


Рис. 3. Відбір випромінювання для 10% розчину  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  при струмі розряду 12 мА: а) центральна ділянка, б) верхня ділянка, в) нижня ділянка.

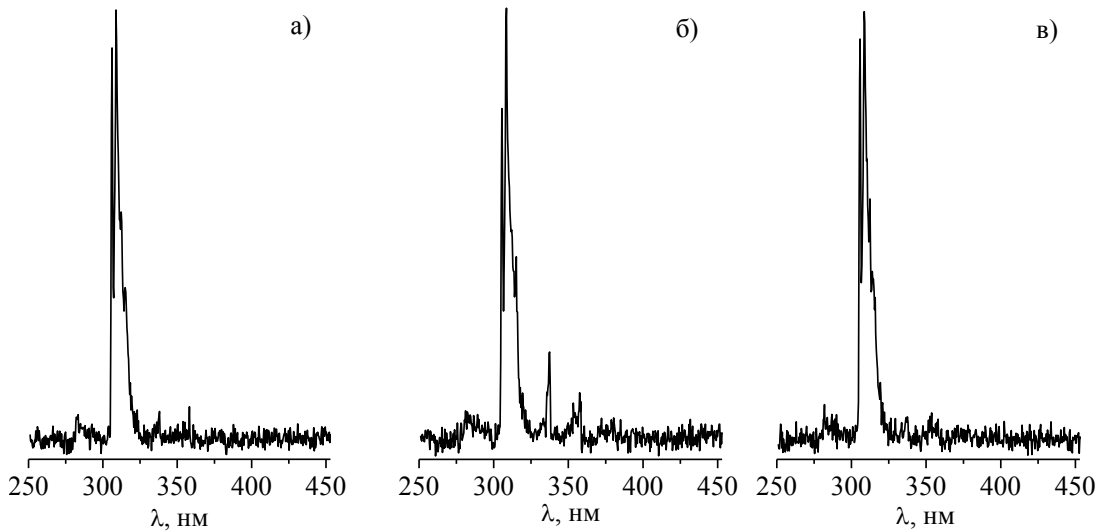


Рис. 4. Відбір випромінювання для 10% розчину  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  при струмі розряду 32 мА: а) центральна ділянка, б) верхня ділянка, в) нижня ділянка.

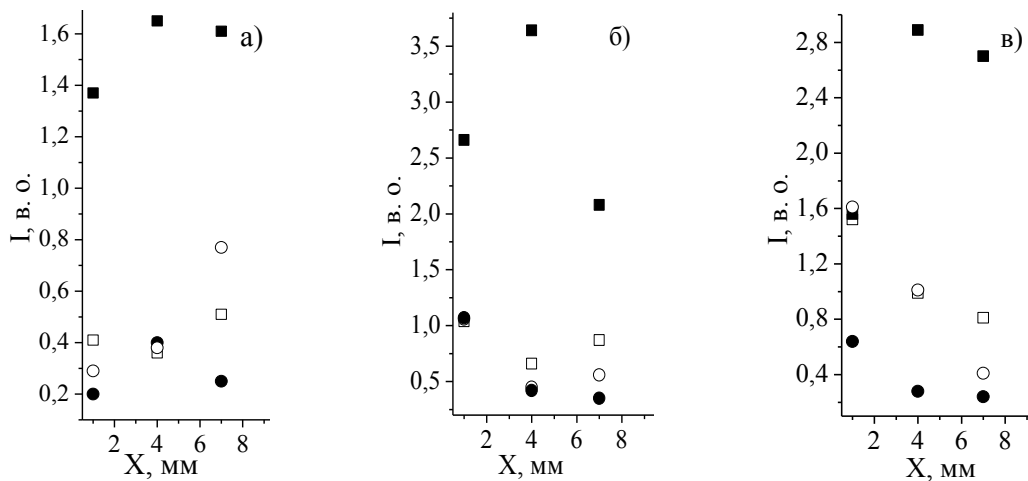


Рис. 5. Інтенсивність випромінювання смуг  $\text{OH}$  (■□) та  $\text{N}_2$  (○●) з різних просторових ділянок плазми при струмах 12 (□○) та 32 (■●) мА: а) дистильована вода; б) 1% розчин  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ; в) 10% розчин  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ .

Перерозподіл інтенсивності, ймовірно, зумовлений процесами в розчині: електролітична дисоціація  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 = 2\text{Al}^{3+} + 3\text{SO}_4^{2-}$ ; тепловий розклад  $2\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 = 2\text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{SO}_2 + 3\text{O}_2$ ; гідроліз  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 +$

$6\text{H}_2\text{O} = 2\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4$  [7]. Це призводить до росту концентрації газу з сіркою та киснем над поверхнею, а при збільшенні струму - до зміни кольору свічення на жовтий.

### Параметри розряду

Випромінювання катодної плями просторово відділено від випромінювання позитивного стовпа, займає область простору товщиною  $\sim 0,1$  мм та відрізняється характерним свіченням [8]. Згідно теорії нормального тліючого розряду густина струму є постійною. На рис. 6 показано залежність діаметра катодної плями від струму розряду.

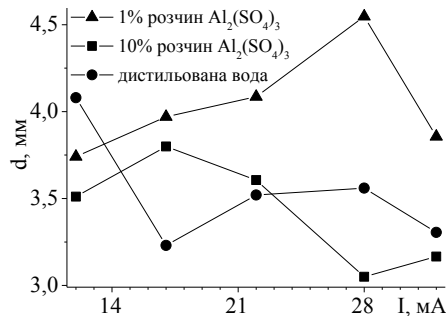


Рис. 6. Залежність діаметра катодної плями від струму розряду.

Видно, що у випадку дистильованої води при збагаченні суміші газу в області розряду гідроксидом діаметр катодної плями зменшується. Таким чином, струмовий канал розряду звужується зі зменшенням енергії іонізації молекул та чутливий до змін складу газу. Зі збільшенням концентрації розчину зменшення катодної плями спостерігається при менших струмах. Діаметр катодної плями для всіх вимірювань знаходився в межах 3–4,5 мм.

Потужність, яка вкладається у розряд, представлена на рис. 7.

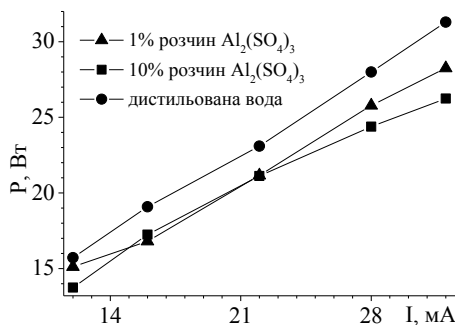


Рис. 7. Залежність потужності, яка вкладається в розряд, від струму розряду.

З ростом концентрації розчину в розряд вкладається менша потужність, а та-

кож зменшується його об'єм. Зі збільшенням струму 12–32 мА потужність, яка вкладається в розряд, зростає в межах 16–31 Вт та 14–26 Вт для катоду на основі води та 10% розчину Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>. В той же час об'єм розряду знаходиться в межах 64–80 мм<sup>3</sup> та 49–63 мм<sup>3</sup> відповідно.

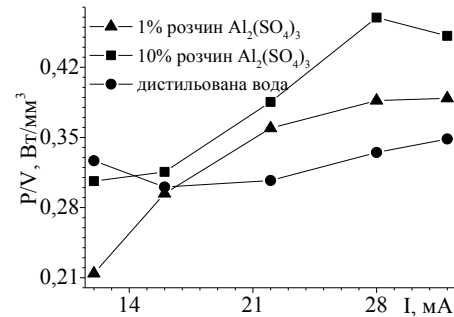


Рис. 8. Залежність питомої потужності від струму розряду.

Як показано на рис. 8, після струму 16 мА, коли у випромінюванні розряду домінує гідроксид, вкладається енергія на об'єм найбільша для більш концентрованого розчину Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, але незважаючи на найбільший об'єм плазми у випадку водяного катоду, питома потужність найменша.

### Висновки

Спектр випромінювання розряду з рідким катодом на основі водного розчину сульфату алюмінію показав, що з ростом концентрації розчину та струму розряду (12–32 мА) у випромінюванні крім N<sub>2</sub>, OH, NO, H проявляються алюміній та сірка. Просторовий розподіл випромінювання вказує на зменшення інтенсивності смуг OH та N<sub>2</sub> над поверхнею розчину на відміну від дистильованої води.

Ріст концентрації розчину призводить до зменшення розміру катодної плями, об'єму плазми, росту внесеної питомої потужності.

Для всіх вимірювань діаметр катодної плями знаходився в межах 3–4,5 мм; вкладається потужність 14–31 Вт; об'єм плазми 40–80 мм<sup>3</sup>, питома потужність 0,21–0,47 Вт/мм<sup>3</sup>.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Захаров А.Г., Максимов А.И., Титова Ю.В. Физико-химические свойства

плазменно-растворных систем и возможности их технологических применений //

- Успехи химии. – 2007. – 76, 3. – С. 260-270.
2. Максимов А.И., Наумова И.К., Хлюстова А.В. Влияние свойств раствора на перенос компонентов раствора в зону плазмы и их излучение в тлеющем разряде с электролитным катодом // Химия высоких энергий. – 2008. – 42, 6. – С. 540-543.
  3. Bruggeman P., Ribezi E., Maslani A., Degroote J., Malesevic A., Rego R., Vierendeels J., Leys Ch. Characteristics of atmospheric pressure air discharges with a liquid cathode and a metal anode // Plasma Sources Sci. Technol. – 2008. – Vol. 17. – P. 025012 (11pp).
  4. Месарош Л.В., Чучман М.П., Шуаибов О.К. Вивчення розряду над поверхнею води // ІЕФ Тез. допов. Міжн. конф. Новітні напрями в атомній фізиці та спектроскопії. Ужгород. – 2012. – С. 70-71.
  5. Пирс Р., Гейдон А. Отождествление молекулярных спектров. – М.: Изд. иностранной литературы. – 1949. – 248 с.
  6. Месарош Л.В., Шуаибов О.К., Чучман М.П. Дослідження тліючого розряду над поверхнею дистильованої води // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Фізика. – 2012. – 32. – С. 82-88.
  7. Шелковников В.В. Расчеты ионных равновесий в химии. – Томск: Изд-во Том. ун-та. – 2006. – 70 с.
  8. Коробейников С.М., Мелехов А.В., Посух В.Г. Электрооптические измерения напряженности электрического поля в воде с приэлектродными проводящими слоями // ДАН. – 2010. – 433, 6. – С. 753-755.

Стаття надійшла до редакції 30.05.2013

L.V. Mesarosh, M.P. Chuchman, A.K. Shuaibov  
Uzhhorod National University, 088000, Uzhhorod, Voloshin Str., 54

## **SPECTROSCOPIC DIAGNOSTICS AND PARAMETERS OF A GLOW DISCHARGE PLASMA ABOVE SURFACE OF THE ALUMINIUM SULFATE AQUEOUS SOLUTION**

It is shown that with increasing of the solution concentration and the discharge current in the radiation appear aluminum and sulfur, the spatial distribution of radiation is changed. The increasing concentration of the solution at 12-32 mA discharge current reduces the size of the cathode spot, the plasma volume and increases the included power density.

**Keywords:** glow discharge, aqueous solution of aluminium sulfate, distilled water, emission spectra, cathode spot.

Л.В. Месарош, М.П. Чучман, А.К. Шуаибов  
Ужгородский национальный университет, 88000, Ужгород, ул. Волошина, 54

## **СПЕКТРОСКОПИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА И ПАРАМЕТРЫ ПЛАЗМЫ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА НАД ПОВЕРХНОСТЬЮ ВОДНОГО РАСТВОРА СУЛЬФАТА АЛЮМИНИЯ**

Показано, что с ростом концентрации раствора и тока разряда в излучении появляются алюминий и сера, изменяется пространственное распределение излучения. Рост концентрации раствора при токах разряда 12-32 мА приводит к уменьшению размера катодного пятна, объема плазмы, роста внесенной удельной мощности.

**Ключевые слова:** тлеющий разряд, водный раствор сульфата алюминия, дистиллированная вода, спектры излучения, катодное пятно.