

УДК 537.52:621.327

Г.Е. Ласлов, М.П. Чучман, Я.Ю. Козак, О.К. Шуаїбов

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

e-mail: shuaibov@univ.uzhgorod.ua, lgeza@ukr.net

## ОПТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ІСКРОВОГО РОЗРЯДУ З КОМПОЗИЦІЙНИМИ ТА МЕТАЛЕВИМИ ЕЛЕКТРОДАМИ

Досліджено випромінювання плазми на основі іскрового розряду з мідними та композиційними електродами (сполука  $\text{CuInSe}_2$ ). Виникнення іскрового розряду спричинено дією високовольтного наносекундного імпульсу напруги на відповідні електроди. Отримані емісійні характеристики плазми іскрового розряду при різних міжелектродних відстанях (0,5 мм мідні та 3 мм композиційні електроди). Встановлено, що випромінювання плазми іскрового розряду визначалося спектральними лініями елементів, що входять до складу відповідних електродів.

**Ключові слова:** іскровий розряд, плазма, спектральна лінія, електрод, мідь, сполука  $\text{CuInSe}_2$ .

### Вступ

Однією з перспективних і відносно дешевих технологій отримання наночастинок на основі оксидів металів є іскровий розряд у повітрі чи кисні [1]. Цей метод дозволяє отримати наночастинок різних розмірів у діапазоні 5-100 нм. Розмір і концентрацію наночастинок можна контролювати енергією і тривалістю імпульсів іскрового розряду. Електричні параметри розряду значною мірою визначають ерозію електродів матеріалу [2-4]. Імпульсний режим дає можливість з високою точністю керувати процесом розпилення металевих або композиційних електродів.

Основними параметрами, які безпосередньо впливають на розміри наночастинок та швидкість розпилення матеріалу електрода, є електронна температура і концентрація електронів. Отже, для встановлення умов синтезу наночастинок необхідно контролювати вище зазначені параметри.

Метою даної роботи є дослідження оптичних характеристик іскрового наносекундного розряду для вибору придатних спектральних ліній, на основі яких можна визначити електронну температуру плазми при різних відстанях між електродами.

### Методика і техніка експерименту

Експерименти проводились з використанням імпульсно-періодичного високовольтного блоку живлення на основі гідрогенного тиратрона та імпульсного кабельного трансформатора. Тривалість генерації імпульсів складала 10 нс, частоту повторення імпульсів можна змінювати в межах 10-100 Гц. Як електроди використовували мідь і полікристал  $\text{CuInSe}_2$ , які були розміщені у розрядній камері. Тиск повітря у камері складав 1 атм. Аналіз випромінювання здійснювався за допомогою монохроматора МДР-2 з дифракційною решіткою (1200 штр/мм) в спектральній області 210-600 нм.

Усереднені за часом спектри випромінювання реєструвалися з використанням фотоелектронного помножувача ФЭУ-106 і самописця КСП-4. Систему ФЭУ-106 і МДР-2 калібрували за випромінюванням гідрогенної та вольфрамової ламп. Це дозволило виміряти відносні інтенсивності спектральних ліній випромінювання ( $I/k_\lambda$ , де  $k_\lambda$  – відносна спектральна чутливість системи реєстрації). Ототожнення спектрів здійснювалось з використанням довідників [5-7].

## Результати та їх обговорення

В результаті експериментів отримано спектр випромінювання іскрового розряду з мідними електродами в повітрі при відстані між електродами 0,5 мм і при частоті слідування імпульсів 25 Гц. На рисунку 1 представлено спектр випромінювання іскрового розряду, який містить спектральні лінії атомів міді: 324,3; 324,7; 327,4; 515,32; 521,82 нм.

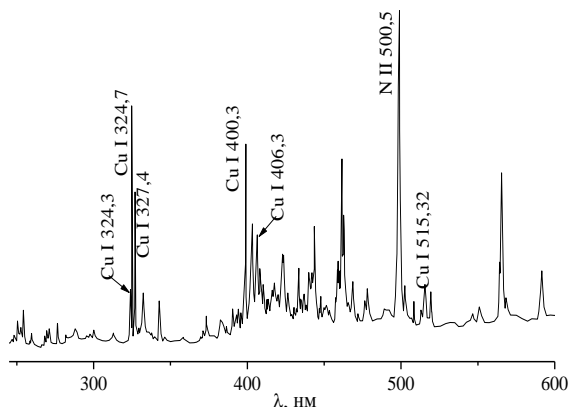


Рис. 1. Спектр випромінювання іскрового розряду з мідними електродами в повітрі при атмосферному тиску.

Найбільш інтенсивними були наступні лінії: 500,5 нм N II, 324,7; 327,4; 400,3 нм Cu I. Реєструвались також слабкі смуги випромінювання  $2^+$  системи молекули азоту та j - системи NO.

Емісійний спектр плазми іскрового розряду з композиційними електродами на основі сполуки  $\text{CuInSe}_2$  (відстань між електродами 3 мм) приведено на рис. 2.

Як і очікувалося, спектр випромінювання складався з спектральних ліній атомів міді та індію: 324,7; 327,4; 400,3; 407,3; 464,3; 510,6; 521,8; 570,0; 573,2 нм Cu I і 283,7; 293,3; 303,9; 325,6; 410,2; 451,1 нм

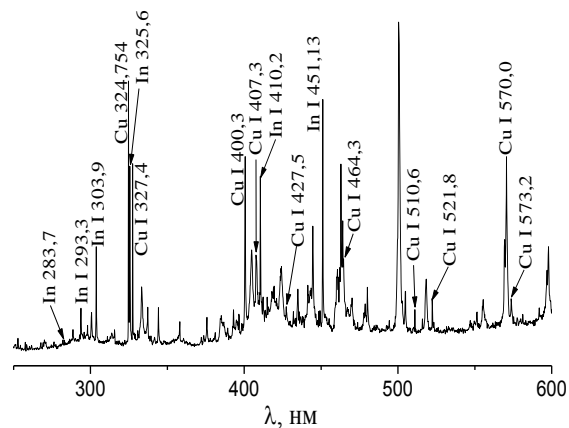


Рис. 2. Емісійний спектр іскрового розряду з електродами на основі сполуки  $\text{CuInSe}_2$  в повітрі атмосферного тиску.

In I. Спектральні лінії атома селену не спостерігались.

У випадку плазми іскрового розряду на основі композиційних електродів найбільш інтенсивними були резонансні спектральні лінії атома міді та наступні лінії збуджених атома індію: 303,9; 410,2; 451,1 нм In I.

## Висновки

Отже, методом оптичної емісійної спектроскопії досліджено емісійні характеристики іскрового розряду з мідними та композиційними електродами при різних міжелектродних відстанях. Найбільш придатними спектральними лініями для діагностики плазми є атомарні лінії міді у видимій області спектру в обох випадках.

Ці результати можуть бути використані для глибшого розуміння процесів у іскровому розряді та для вибору оптимальних умов синтезу наночастинок різних розмірів на основі халькопіриту та оксиду міді методом імпульсного наносекундного розряду.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Tabrizi N.S., Xu Q., van der Pers N.M., Lafont U., Schmidt-Ott A. Synthesis of mixed metallic nanoparticles by spark discharge // Journ. Nanopart. Research – 2009. – Vol.11. – P. 1209-1218.
2. Burakov V.S., Butsen A.V., Brüser V., Harnish F., Misakov P.Y., Nevar E.A., Rosenbaum M., Savastenko N.A., Tarasenko N.V. Synthesis of tungsten carbide nanopowder via submerged discharge method // Journ. Nanopart.

- Research – 2008. – Vol.10. – P. 881-886.
3. Parkansky N., Frenkel G., Alterkop B., Beilis I., Boxman R.L., Barkay Z., Rosenberg Yu. Ni-C powder synthesis by a submerged pulsed arc in breakdown mode // Journ. Alloys and Compounds. – 2008. – Vol. 464. – P. 483-487.
  4. Методы исследования плазмы / Под ред. В. Лохте-Хольтгревена. М.: Мир, 1971. - 552 с.
  5. Smith P.L., Heise C., Esmond J.R., and Kurucz R.L. Atomic spectral line database from CD-ROM 23 of R.L. Kurucz (Smithsonian astrophysical observatory, Cambridge, 1995); <http://cfa-www.harvard.edu/amp>.
  6. Sansonetti J.E., Martin W.C. Handbook of basic atomic spectroscopic data // J. Phys. Chem. Ref. Data. – 2005 – 34. - P. 1559.
  7. NIST 2011 National Institute of Standard and Tehnologies <http://www.nist.gov>.

Стаття надійшла до редакції 30.05.2013

G.E. Laslov, M.P. Chuchman, Ya.Yu. Kozak, A.K. Shuaibov  
Uzhhorod National University,  
Pidgirna Str., 46, Uzhhorod, 88000

## OPTICAL CHARACTERISTICS OF SPARK DISCHARGE WITH COMPOSITE AND METAL ELECTRODES

The plasma radiation of spark discharge with copper and composite electrodes (CuInSe<sub>2</sub> compound) has been investigated. The plasma was formed by the action of high voltage nanosecond pulse voltage to the corresponding electrodes. The emission characteristics have been obtained for the spark discharge plasma at various interelectrode distances (0.5 mm for copper and 3 mm for composite electrodes). It established that the spark discharge plasma radiation was determined by atomic spectral lines of corresponding electrodes.

**Keywords:** spark discharge, plasma, spectral line, electrode, copper, CuInSe<sub>2</sub> compound.

Г.Е. Ласлов, М.П. Чучман, Я.Ю. Козак, А.К. Шуайбов  
Ужгородский национальный университет, ул. Пидгирна, 46, Ужгород, 88000

## ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСКРОВОГО РАЗРЯДА С КОМПОЗИЦИОННЫМИ И МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

Исследовано излучение плазмы на основе искрового разряда с медными и композиционными электродами (соединение CuInSe<sub>2</sub>). Возникновение искрового разряда вызвано действием высоковольтного импульса напряжения на соответствующие электроды. Получены эмиссионные характеристики плазмы искрового разряда при различных межэлектродных расстояниях (0,5 мм медные и 3 мм композиционные электроды). Установлено, что излучение плазмы искрового разряда определялось спектральными линиями атомов элементов, входящих в состав соответствующих электродов.

**Ключевые слова:** искровой разряд, плазма, спектральная линия, электрод, медь, соединение CuInSe<sub>2</sub>.