

УДК: 621.373.826.038.823

PACS: 52-25, 52. 80 Yr

DOI: 10.24144/2415-8038.2018.44.154-164

О.К. Шуайбов, В.В. Данило, О.Й. Миня, А.О. Малініна, С.Ю. Неймет  
Ужгородський національний університет, вул. Волошина, 54, 88000, Ужгород,  
e-mail: alexsander.shuaibov@uzhnu.edu.ua

## НАНОСЕКУНДНИЙ РОЗРЯД В ПОВІТРІ АТМОСФЕРНОГО ТИСКУ З ЕКТОННИМ ВНЕСЕННЯМ ПАРІВ ЗАЛІЗА І МІДІ В ПЛАЗМУ ТА ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ В НАНОТЕХНОЛОГІЯХ

Наведено характеристики перенапруженого наносекундного розряду між електродами з нержавіючої сталі та електродом з міді і нержавіючої сталі в повітрі атмосферного тиску при міжелектродній віддалі  $d = 3$  мм. Показано, що плазма такого розряду є джерелом УФ-випромінювання в спектральному діапазоні 200-300 нм на переходах атомів та іонів Заліза і Міді. Енергетичний внесок в плазму розряду досягав 0,1 Дж. Синтезовано тонкі наноструктуровані плівки оксидів Заліза при асистуванні процесу напilenня ультрафіолетовим випромінюванням розряду.

**Ключові слова:** перенапружений наносекундний розряд, Залізо, Мідь, повітря, спектр випромінювання, ультрафіолет.

### Вступ

Наносекундний і субнаносекундний сильнотривовий розряди в повітрі атмосферного тиску між металевими електродами є джерелом УФ випромінювання на переходах атомів та іонів матеріалу електродів (Мідь, Цинк, Залізо, Вольфрам тощо) у вузькому спектральному інтервалі 200-300 нм [1-3]. Внесення парів матеріалу електродів в плазму в сильному електричному полі відбувається за рахунок мікробухів неоднорідностей на поверхні металевих електродів, що призводило до внесення пари матеріалу електродів в плазму і утворенню ектонів [4]. На відміну від УФ-ВУФ ламп з накачуванням тліючим [5] або бар'єрним розрядом [6], «точкові» УФ-лампи можуть мати дуже малі об'єми плазми на рівні 1-5 мм<sup>3</sup>, тому вони знаходять застосування для калібрування спектральних приладів і різних оптичних елементів в УФ діапазоні спектру. При застосуванні для збудження перенапруженого розряду генераторів високої напруги тривалістю 1-2 нс між електродами з Міді, Заліза, Ніобію і Вольфраму були досліджені емісійні

характеристики відповідних точкових ламп в спектральному діапазоні 200-300 нм [7]. Менш дослідженими залишаються характеристики перенапружених розрядів тривалістю 50-100 нс у повітрі атмосферного тиску між електродами з нержавіючої сталі. Дослідження подібних розрядів відкриває можливості розробки безвіконного реактора, який є одночасно джерелом селективного УФ випромінювання та магнітних наночастинок оксидів заліза. Такі пристрої перспективні для застосування в медицині і біології [8].

В праці [9] було показано, що при збудженні робочих середовищ ламп на хлоридах Криптоні і Ксеноні за допомогою поперечного об'ємного розряду з іскровою УФ передіонізацією тривалістю 50-150 нс в спектрах спонтанного випромінювання їх робочих сумішей спостерігались також інтенсивні спектральні лінії атомів Заліза: 270,8; 283,0; 292,9; 318,8 нм FeI. Всі спектральні лінії випромінювання атомів Заліза характеризувались однаковою часовою поведінкою. Корреляція в часі між випромінюванням атомів Заліза та ексиплексних смуг - молекул хлоридів

Ксенону і Криптону (308; 222 нм) вказує на важливість оптичного накачування парів заліза, які утворюються при розпорошенні електродів з нержавіючої сталі.

В плазмі наносекундного розряду у Гелії високого тиску ( $p = 1-5$  Атм) між нержавіючими електродами при перенапруженні в 100-300 % теж були виявлені в спектрах випромінювання спектральні лінії атомів Заліза (у діапазонах довжин хвиль 360-400 нм; 700-730 нм) [10]. Найбільш інтенсивним випромінювання атомів Заліза було в режимі сильнострумowego дифузного розряду, коли на поверхні катоду спостерігались яскраві катодні плями.

В даній статті приведені електричні та емісійні характеристики перенапруженого біполярного наносекундного розряду між електродами з нержавіючої сталі та нержавіючим і мідним електродами в повітрі атмосферного тиску та результати дослідження оптичних характеристик тонких плівок, осаджених на скляну підкладку з продуктів розпорошення металевих електродів в плазмі повітря.

### 1. Умови і техніка експерименту

Система електродів, між якими запалювався сильнострумовой наносекундний розряд в повітрі атмосферного тиску з малими домішками пари Заліза та Міді, була встановлена в герметичну розрядну комірку, виготовлену з діелектричної труби діаметром 120 мм і довжиною 150 мм. Досліджено характеристики розряду між електродами з нержавіючої сталі та розряду між електродом з міді і електродом з нержавіючої сталі. Характеристики подібного розряду між мідними електродами наведені в [11]. Віддаль між металевими електродами складала 3 мм, що приводило до перенапруження розрядного проміжку. В сильному і неоднорідному електричному полі відбуваються мікроривбухи неоднорідностей на поверхні металевих електродів (формування ектонів [4]), що провидить до внесення парів Заліза і Міді в розрядний проміжок. При атмосферному тиску повітря в сильно

неоднорідному полі причиною запалювання дифузного розряду є передіонізація розрядного проміжку від ультрафіолетового випромінювання ектонів і тормозного рентгенівського випромінювання, оскільки пучок втікаючих електронів в подібних розрядах формується лише при тиску азоту або повітря меншому за 100 Torr [12].

З метою зменшення впливу електромагнітних завад на систему реєстрації характеристик розряду, розрядна комірка була поміщена в екран з металеві сітки. Діаметр циліндричних електродів з нержавіючої сталі складав 5 мм, а радіус заокруглення робочої торцевої частини електродів був рівним 3 мм. Для локалізації розряду між кінчиками металевих електродів вони встановлювались всередині діелектричних трубок з фторопласту. В розрядну комірку на віддалі 2-3 см від плазмового каналу встановлювалась підкладка з скла, на яку проводилось осадження продуктів розпилення електродів в плазмі повітря.

Система живлення розряду та реєстрації його характеристик описана в статті [3]. Просторові характеристики розряду були близькими до відповідних характеристик такого розряду між електродами з цинку або міді [3].

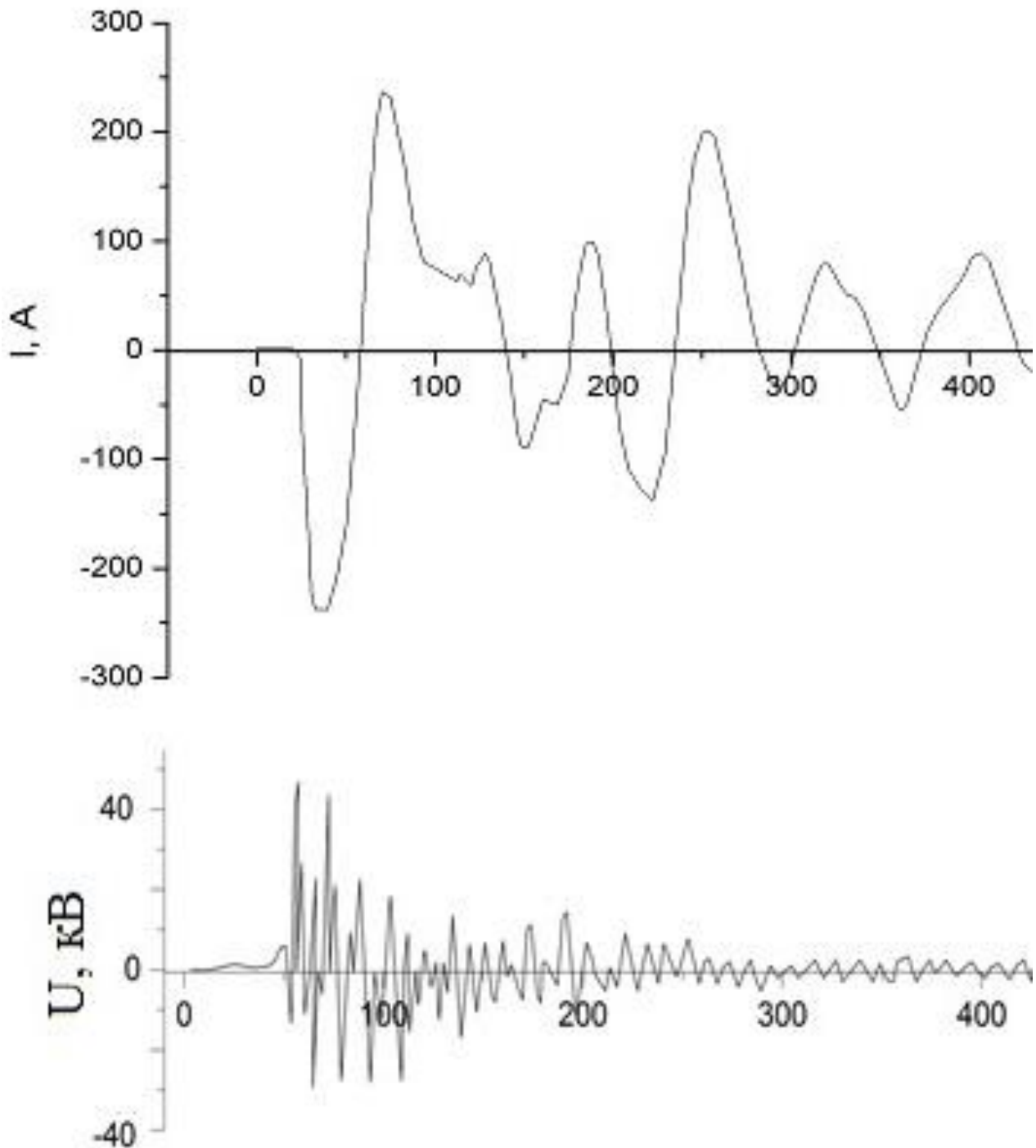
### 2. Електричні та емісійні характеристики

Електричні характеристики розряду приведені на рис. 1. Через неузгодженість вихідного опору високовольного модулятора з плазмою розряду і наявності відбитих імпульсів від розрядного проміжку з плазмою, імпульс напруги складався з окремих піків тривалістю приблизно 5-10 нс. Аналогічна картина мала місце також у роботі [13]. Такий вигляд осцилограм напруги є сприятливим для розпилення матеріалу електродів в послідовності коротких імпульсів напруги між електродами.

Тривалість основної частини цуга імпульсів напруги досягала 50-100 нс. Біполярні піки імпульсу напруги мали амплітуду позитивної та негативної

складових до 30-40 кВ. Імпульси струму наносекундного розряду представляли собою послідовність біполярних імпульсів струму з амплітудою позитивних і негативних імпульсів 100-250 А. Загальна довжина послідовності імпульсів струму зі спадаючої за часом амплітудою досягала 150-200 нс. Величина імпульсної потужності розряду досягала 4 МВт, а

енергія, що вносилась в плазму за один імпульс не переважала 0,1 Дж. Біполярні імпульси напруги і струму сприяють більш рівномірному вигорянню матеріалу електродів, ніж у системі електродів «голка – площа», яка живиться від модулятора монополярних імпульсів напруги субнаносекундної тривалості [14].



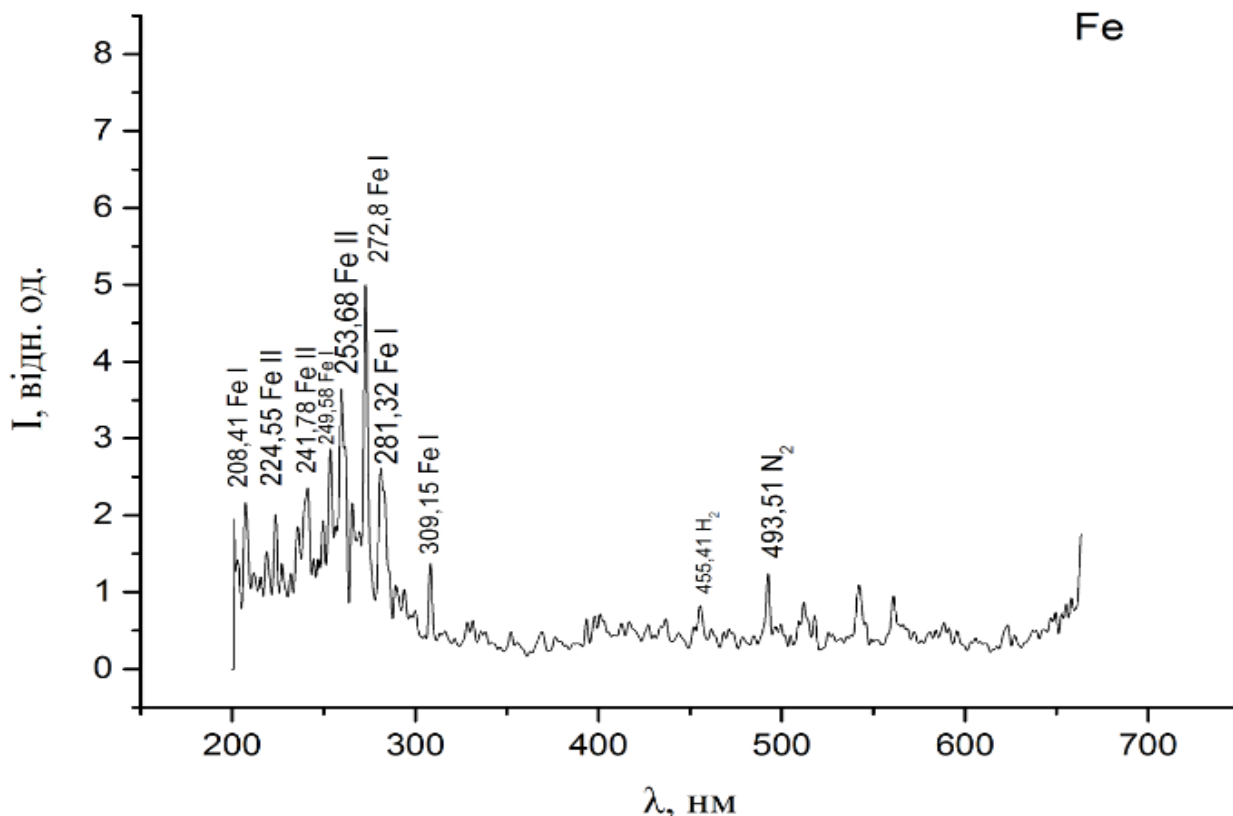
**Рис. 1.** Осцилограми струму і напруги наносекундного розряду в повітрі між електродами з міді та нержавіючої сталі при віддалі між ними  $d = 3$  мм.

На рис. 2 і 3 представлені ділянки спектрів випромінювання з найбільш інтенсивними спектральними лініями для плазми наносекундного розряду між електродами з нержавіючими електродами та між мідним і нержавіючим електродом.

Ідентифікація спектральних ліній випромінювання проводилась за допомогою довідника [15]. В таблицях 1 і 2 наведено результати ідентифікації найбільш інтенсивних спектральних ліній для цих ділянок спектру.

Розшифровка спектрів показала, що при розряді між електродами з нержавіючої сталі домінують спектральні лінії атомів та однозарядних іонів Заліза, а найбільш інтенсивною є лінія 249.6 нм FeI. Наші

результати добре корелюються з відповідними спектрами випромінювання високовольтного субнаносекундного розряду у повітрі атмосферного тиску для системи електродів типу «голка-площина», в якому значну роль відіграють втікаючі електрони [16]. В спектрі випромінювання розряду між мідним та нержавіючим електродами, як і для розряду між двома мідними електродами, найбільш інтенсивним було випромінювання на переходах однозарядних іонів міді в спектральному інтервалі 210-220 нм, а спектральні лінії Заліза лише доповнювали цей спектр в діапазоні 250-300 нм. Найбільш інтенсивною з ліній Заліза була спектральна лінія 271 нм FeI.

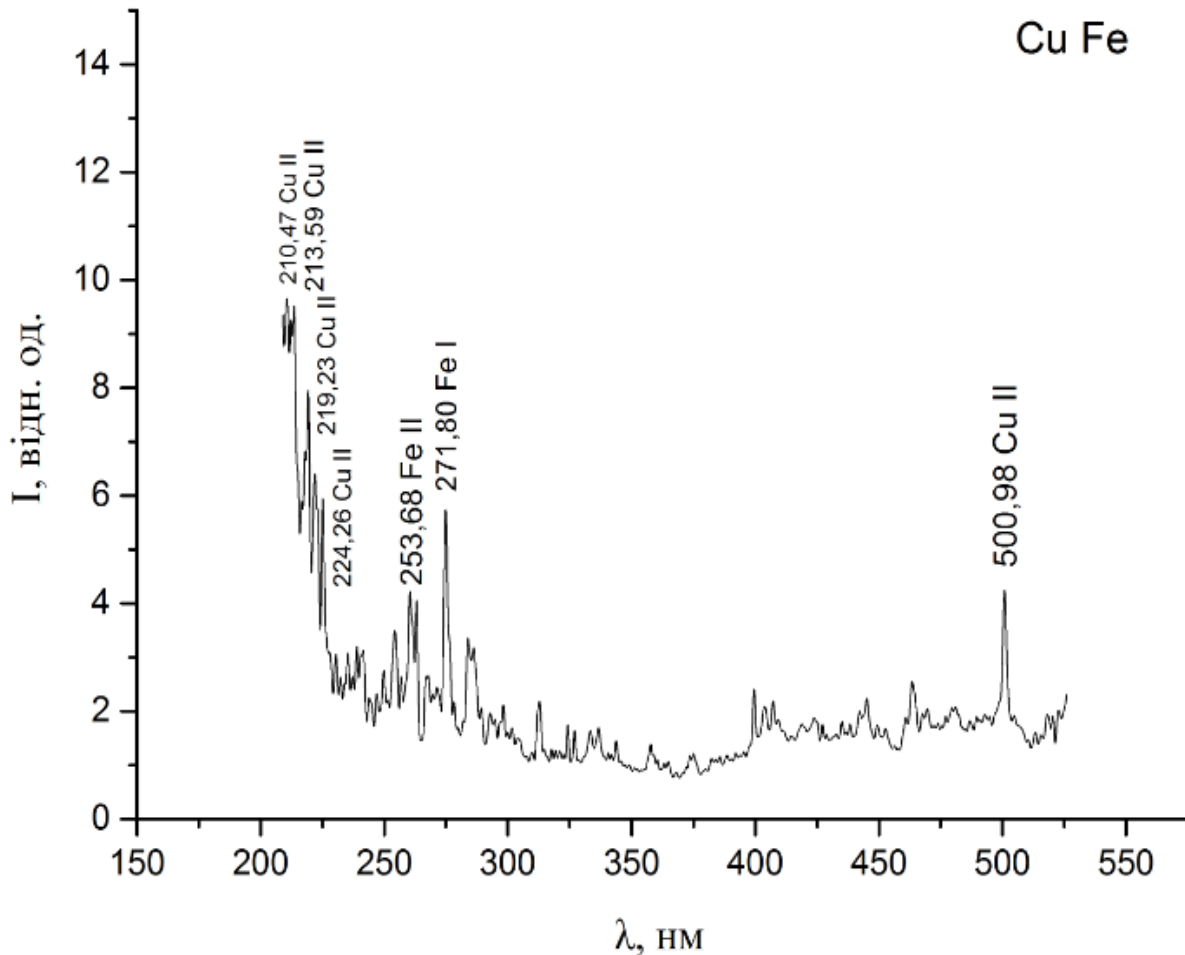


**Рис. 2.** Спектр випромінювання плазми наносекундного розряду між електродами з нержавіючої сталі (при  $f = 40$  Гц).

**Таблиця 1.** Результати ідентифікації спектру випромінювання розряду в повітрі між електродами з нержавіючої сталі.

$\lambda$ , нм	Об'єкт	I в.о таблиця	Нижній рівень	Верхній рівень
208,41	Fe I	100	$3d^6 4s^2$	$3d^5(^6S)4s^2 4p$
224,55	Fe II	300	$3d^6(^3H)4p$	$3d^6(^3H)4d$

241,78	Fe II	60	$3d^6(^3F2)4s$	$3d^6(^3F2)4p$
249,58	Fe I	10000	$3d^7(^4F)4s$	$3d^6(^3H)4s4p(^3P^o)$
253,68	Fe II	2000	$3d^6(^3H)4s$	$3d^6(^3H)4p$
272,80	Fe I	4000	$3d^7(^4F)4s$	$3d^6(^3F2)4s4p(^3P^o)$
309,15	Fe I	120	$3d^7(^4F)4s$	$3d^6(^5D)4s4p(^1P^o)$



**Рис. 3.** Спектр випромінювання плазми наносекундного розряду між електродами з міді та нержавіючої сталі ( $f = 40$  Гц).

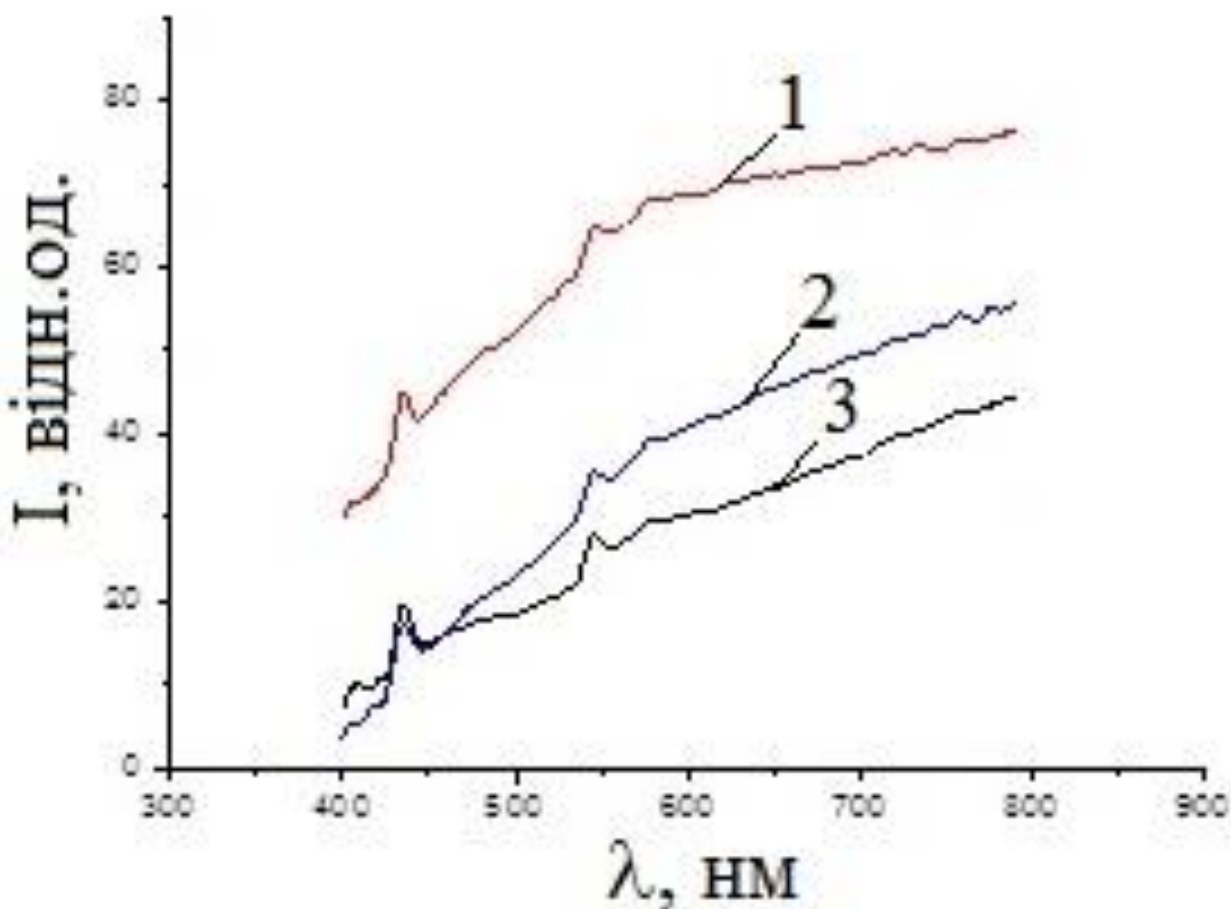
**Таблиця 2.** Результати ідентифікації спектру випромінювання розряду в повітрі між електродами з міді і нержавіючої сталі.

$\lambda$ , нм (табличне)	Об'єкт	I в.о таблиця	Нижній рівень	Верхній рівень
210,47	Cu II	320	$3d^9 4s^2$	$3d^{10} 11p$
213,59	Cu II	900	$3d^9 4s^2$	$3d^{10} 9p$
219,23	Cu II	900	$3d^9 4s^2$	$3d^{10} 4s$
224,26	Cu II	900	$3d^{10} 4s$	$3d^9(^2D)4s4p(^3P^o)$
253,68	Fe II	2000	$3d^6(^3H)4s$	$3d^6(^3H)4p$
271,80	Fe I	4000	$3d^7(^4F)4s$	$3d^6(^3F2)4s4p(^3P^o)$
500,98	Cu II	350	$3d^{10} 4p$	$3d^9(^2D)4s4p(^3P^o)$

Боротися з різними формами вірусу грипу, можливо знезаражуючи приміщення і транспорт УФ-випромінюванням ламп на основі атомів Меркурію (переважно на довжині хвилі 254 нм). Вони досить ефективні, але мають суттєвий недолік - вони вбивають не лише мікроби і віруси, але і клітини тіла людини, викликаючи рак шкіри і катаракту рогівки ока. Група Девіда Бреннера (David Brenner) з Колумбійського університету в Нью-Йорку запропонувала використовувати ексиплексну лампу на хлориді криптону, яка випромінює на довжині хвилі 222 нанометра, в якості знезаражувальних світильників [17]. Це УФ-випромінювання дозволяє знищувати 99% вірусних частинок в повітрі, при цьому не вбиваючи клітини людини. Ці лампи на даний час, коли відсутній цикл серійного виробництва, коштують біля 1000 доларів США. Але при їх встановленні в лікарнях, громадських місцях та в транспорті, вони здатні ефективно протидіяти епідеміями

грипу, туберкульозу та ряду інших, збудники яких поширюються повітряно-крапельним шляхом [17]. Розроблена нами безвіконна УФ-лампа працює на звичайному атмосферному повітрі і випромінює в спектральному діапазоні 200-220 нм, вона не потребує використання коштовних газів типу криптону, агресивних газів типу хлору, та кварцових віконць чи оболонки. Тому вона, крім боротьби з вірусними інфекціями, може бути рекомендована для застосування в медицині катастроф і військовій медицині (стерилізація медичних матеріалів і інструментів тощо).

На рис.4. наведено спектри пропускання тонких наноструктурованих плівок, синтезованих на підкладці з скла, що встановлювалась біля розрядного проміжку. Характер спектру пропускання відповідає спектрам пропускання наноструктур оксидів Заліза або їх водних диспесій [18].



**Рис.4.** Спектри поглинання плівкових наноструктур оксидів заліза в центрі (1), на половині радіуса (2) і на краю підкладки (3).

Неоднорідність плівки за радіусом подкладки зумовлена використанням точкового джерела парів матеріалу електродів і може бути подолана при перемещінні подкладки відносно розряду з деякою невеликою швидкістю. Вузькі смуги пропускання в синій області спектру (при довжинах хвиль 420 и 450 нм, найбільш імовірно, пов'язані з дією ультрафіолетового випромінювання в спектральному діапазоні 200-300 нм на плівку, яке може приводити до різних радіаційним дефектам в наноструктурах на основі оксидів Заліза.

В праці [19] проведені дослідження синтезу нановіскерів оксиду цинку при асистуванні УФ випромінюванням ртутної лампи. Ці експерименти виявили покращення їх електричних характеристик за рахунок генерування додаткових донорних центрів та зменшення розсіювання носіїв заряду на міжзеренних границях наноструктур. В нашому випадку відпадає необхідність у використанні зовнішнього джерела ультрафіолетового випромінювання, оскільки досліджувана плазма сама є селективним випромінювачем у спектральному інтервалі 200-230 нм.

## Висновки

Аналіз електричних характеристик перенапруженого наносекундного розряду в повітрі атмосферного тиску показав, що максимальна амплітуда струму може досягати 250 А, а амплітуда напруги - 40 кВ; максимальне значення імпульсної потужності розряду в основній частині імпульсів напруги і струму знаходиться на рівні 4 МВт, а енергетичний внесок в плазму досягає  $\sim 0,1$  Дж. Дослідження емісійних характеристик наносекундного розряду в повітрі між електродами з нержавіючої сталі та між електродами з міді та нержавіючої сталі в повітрі атмосферного тиску виявило, що плазма характеризується випромінюванням в спектральному діапазоні 200-300 нм. Розроблене точкове джерело УФ-випромінювання на основі розряду між мідним і нержавіючим електродом є перспективним для застосувань в медицині і санітарії. Встановлено, що при асистуванні процесу наплення УФ-випромінюванням розробленого точкового джерела в наноструктурах оксидів заліза виникають смуги просвітлення у видимій області довжин хвиль.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Shuaibov A.K., Laslov G.E., and Kozak Ya. Yu. Emission Characteristics of the Cathode Region of Nanosecond Discharge in Atmospheric-Pressure Air // *Optics and Spektroskopy*. – 2014, – V.116, – N 4, – P.552-556.
2. Bakst E.Kh., Tarasenko V.F., Shut'ko Yu. V., Erofeev M.V. Point-like pulse-periodic UV radiation Source wick short pulse duration // *Quantum Electronics*. – 2012, – V.42, – N 2, – P.153-156.
3. Миня О.Й., Шуайбов О.К., Гомоки З.Т, Данило В.В., Чаварга М.М. Кукрі Л.Е. Оптичні характеристики наносекундного розряду на суміші повітря з парами цинку // *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія фізика*. – 2016, – Вип.39, – С.93-99.
4. Mesyats G.A. Ecton – Electron Avalanche from metal // *Usp. Fizich. Nauk*. – 1995, – V.165, – N 6, – P. 601-626.
5. Шуайбов А.К., Шимон Л.Л., Дащенко А.Й., Шевера И.В. Эксимерный излучатель низкого давления для спектральной области 170-310 нм. // *Приборы и техника эксперимента*. – 2002, – № 1, – С.104-106.
6. Dmitry Levko, Alexander Shuaibov, Alexander Minya, Roksolana Gritzak, Zoltan Gomoki Physical Processes in Barrier Discharge Lamp Working in He/D<sub>2</sub>O Mixture // *High Voltage Engineering*. – 2013, – V.39, – № 9, – P.30505-30312.
7. Avtaeva S.V., Zhdanova O.S., Pikulev A.A., Sosnin E.A., Tarasenko V.F. New Direction in Scientific Research and Application of Excilams, STT, Publishing Tomsk, 2013, – 246 p.

8. Затонский В.Д., Мошкин А.С. Влияние водных дисперсий оксидных наноструктур металлов на течение гнойных ран // Вестник экспериментальной и клинической хирургии. – 2010, – Т.3, – № 1, – С.44-51.
9. Шуайбов А.К., Миня А.И. Спектры излучения плазмы рабочих сред электроразрядных лазеров на хлоридах криптона и ксенона // Журнал прикладной спектроскопии. – 1997, – Т.64, – №4, – С.524-527.
10. Курбанисмаилов В.С., Омаров О.А., Рахимханов Г.Б., Арсланбеков М.А., Абакарова Х.М., Али Рашид Аббс Али Оптическое излучение импульсного объемного разряда в He высокого давления // Успехи прикладной физики. – 2014, – Т.2, – №3, – С.234-242.
11. Шуайбов А.К., Миня А.И., Гомоки З.Т., Данило В.В., Пинзеник Р.В. Характеристики сильноточного импульсного разряда в воздухе с эктонным механизмом инжекции паров меди в разрядный промежуток // Электронная обработка материалов. – 2018, – Т.54, – № 1, – С.46-50.
12. Бакшт Е.Х., Бураченко А.Г., Ломаев М.И., Панченко А.Н., Тарасенко В.Ф. Источник импульсно-периодического УФ излучения на основе объемного разряда, инициируемого в азоте пучком электронных лавин. Квантовая электроника. – 2015, – Т.45, – №4, – С.366-370.
13. Palomares J.M., Kohut A., Galbacs G., Engeln R., and Geretovszky Zs. A time – resolved imaging and electrical study on a high current atmospheric pressure spark discharge // Journal of Applied Physics. – 2015, – V.118, – P. 233305.
14. Tarasenko V.F., Beloplotov D.V., Lomaev M.I. Colored diffuse mini jets in runaway electrons preionized diffuse discharge // IEEE Transactions on Plasma Science. – 2016, – V.44, – N 4, – P.386-392.
15. Smith, P. L.; Heise, C.; Esmond, J. R.; 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>.
16. Бакшт Е.Х., Тарасенко В.Ф., Шутько Ю.В., Ерофеев М.В. Точечный источник УФ-излучения с частотой 1 кГц и короткой длительностью импульса // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2011, – №11, – С.91-94.
17. <https://news.rambler.ru/tech/39106666> – sozdana – bezvrednay – ultrafioletovaya – lampu – protiv-grippa/
18. Рутберг Ф.Г., Гусаров В.В., Коликов В.А., Воскресенская И.П., Снегов В.Н., Стогов А.Ю., Черепкова И.А. Исследование физико-химических свойств наночастиц, полученных с помощью импульсных электрических разрядов в воде // Журнал технической физики. – 2012, – Т.82, – вып.126 – С.33-36.
19. Абдуев А.Х., Асваров А.Ш., Ахметов А.К., Эмиров Р.М., Беляев В.В. УФ-ассистирование процесса роста прозрачных проводящих слоев на основе оксида цинка // Письма в ЖТФ. – 2017, – Т.43, – вып.22, – С.40-47.

Стаття надійшла до редакції 17.11.2018.



А.К. Шуаибов, В.В. Данило, О.Й. Миня, А.А. Малинина,  
С.Ю. Неймет

Ужгородский национальный университет, вул. Волошина, 54, Ужгород, 88000,  
e-mail: alexsander.shuaibov@uzhnu.edu.ua

## НАНОСЕКУНДНЫЙ РАЗРЯД В ВОЗДУХЕ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ С ЭКТОННЫМ ВВОДОМ ПАРОВ ЖЕЛЕЗА И МЕДИ В ПЛАЗМУ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ В НАНОТЕХНОЛОГИЯХ

Приведены характеристики перенапряженного наносекундного разряда между электродами из нержавеющей стали и электродом из меди и нержавеющей стали в воздухе атмосферного давления при межэлектродном расстоянии  $d = 3$  мм. Показано, что плазма такого разряда является источником УФ-излучения в спектральном диапазоне 200-300 нм на переходах атомов и ионов Железа и Меди. Энерговклад в плазму разряда достигал 0,1 Дж. Синтезировано тонкие наноструктурированные пленки оксидов Железа при асисстировании процесса напыления ультрафиолетовым излучением разряда.

**Ключевые слова:** перенапряженный наносекундный разряд, Железо, Медь, воздух, спектр излучения, ультрафиолет.

O.K. Shuaibov, V.V. Danylo, O. Y. Minya, A.A. Malinina,  
S. Yu. Neymet

Uzhhorod National University, 88000, Uzhhorod, Voloshin Str., 54  
e-mail: alexsander.shuaibov@uzhnu.edu.ua

## NANOSECOND DISCHARGE IN ATMOSPHERIC PRESSURE AIR WITH ECTONIC INTRODUCTION OF IRON AND COPPER VAPOR IN PLASMA AND ITS APPLICATION IN NANOTECHNOLOGY

**Introduction:** Nanosecond discharges in high-pressure gases between metal electrodes are promising for applications in selective "point" UV lamps. The most investigated working media of such lamps are copper and iron vapors in the air, which are excited by a high-voltage discharge of subnanosecond duration. The use of various metal electrodes in one discharge gap and discharge excitation pulses with an amplitude of 20–40 kV and a duration of 50–100 ns is little studied, which is important for controlling the spectral characteristics of the lamp and producing complex oxide nanostructures based on two different metals. Also important is the use of such discharges for the synthesis of nanostructures of transition metal oxides in assisting the deposition process with hard UV radiation, which allows to improve some of their characteristics.

**Purpose:** The aim of the work is to study the electrical and emission characteristics of a bipolar overstressed nanosecond discharge between stainless steel and copper electrodes in atmospheric pressure and to synthesize and study the optical characteristics of thin films deposited on a glass substrate from the sputtered products of metal electrodes in an air plasma.

**Methods:** We used an optical spectroscopic method for studying the discharge plasma.

**Results:** The results of a study of the electrical characteristics of overstressed nanosecond discharge in air at atmospheric pressure between stainless steel electrodes

and copper and stainless electrodes found that it is a source of UV radiation from atoms and iron and copper ions in the spectral range 200-300 nm. The peak value of the electric power of the discharge is  $\sim 4$  MW, and the energy contribution to the plasma per pulse was  $\sim 0.1$  J. The developed point source of UV radiation based on the discharge between the copper and stainless electrode is promising for applications in medicine and sanitation. It has been established that under the assistance by UV-radiation the developed "point" source in the nanostructures of iron oxides, enlightenment bands appear in the visible region of the spectrum.

**Conclusion:** Experiments revealed the suitability of this discharge for use in a selective "point" UV lamp on iron and copper vapor and deposition of nanostructured films based on iron oxides while assisting the process of deposition by UV radiation.

**Keywords:** overstressed nanosecond discharge, Iron, Copper, air, radiation spectrum, ultraviolet.

**PACS:** 52-25, 52. 80 Yr

## REFERENCES

1. Shuaibov, A.K., Laslov, G.E. and Kozak, Ya. Yu. (2014), "Emission Characteristics of the Cathode Region of Nanosecond Discharge in Atmospheric-Pressure Air", *Optics and Spektroskopy*, V.116, No 4, pp. 552-556.
2. Bakst, E.Kh., Tarasenko, V.F., Shut'ko, Yu. V., Erofeev, M.V. (2012), "Point-like pulse-periodic UV radiation Source with short pulse duration", *Quantum Electronics*, V.42, No 2, pp.153-156.
3. Minya, O.Ya., Shuaibov, O.K., Gomoki, Z.T., Danylo, V.V., Chavarga, M.M., Kukri L.E. (2016), "Optical characteristics of nanosecond discharge on a mixture of air with zinc vapor", *Scientific Bulletin of Uzhgorod University. Series Physics*, Issue 39, pp. P.93-99.
4. Mesyats, G.A. (1995), "Ecton – Electron Avalanche from metal", *Usp. Fizich. Nauk*, V.165, No 6, pp. 601-626.
5. Shuaibov, A.K., Shimon, L.L., Dashchenko, A.Y., Shevera, I.V. (2002), "Excimer low pressure radiator for the spectral region of 170-310 nm", *Instruments and technique of the experiment*, № 1, pp.104-106.
6. Levko, Dmitry, Shuaibov, Alexander, Minya, Alexander, Gritzak, Roksolana, Gomoki, Zoltan. (2013), "Physical Processes in Barrier Discharge Lamp Working in He/D<sub>2</sub>O Mixture", *High Voltage Engineering*, V.39, № 9, pp. 30505-30312.
7. Avtaeva, S.V., Zhdanova, O.S., Pikulev, A.A., Sosnin, E.A., Tarasenko, V.F. (2013), "New Direction in Scientific Research and Application of Excilams", STT, Publishing Tomsk, 246 p.
8. Zatonsky, V.D., Moshkin, A.S. (2010), "Influence of aqueous dispersions of oxide nanostructures of metals on the course of purulent wounds", *Bulletin of Experimental and Clinical Surgery*, V. 3, No 1, pp. 44-51.
9. Shuaibov A.K., Minya A.I. (1997), "Plasma emission spectra of working media of KrCl and XeCl electric-discharge lasers", *Journal of Applied Spectroscopy*, V. 64, No 4, pp. 539–543.
10. Kurbanismailov, V.S., Omarov, O.A., Ragimkhanov, G.B., Arslanbekov, M.A., Abakarova, Kh. M., Abbas Ali, A.R. (2014), "Optical radiation of a pulsed volume discharge in high-pressure He", *Scientific and Technical Journal*, V. 2, No. 3, pp.234-242.
11. Shuaibov, A.K., Minya, A.Y., Gomoki, Z.T., Danilo, V.V., Pinzenik, R.V. (2018), "Characteristics of a high-current pulse discharge in air with an ecton mechanism for the injection of copper vapor into the discharge gap", *Electronic Processing of Materials*, V. 54, No 1, pp. 46-50.
12. Baksht, E.Kh., Burachenko, A.G., Lomaev, M.I., Panchenko, A.N., Tarasenko, V.F. (2015), "Repetitively pulsed UV radiation source based on a run-away electron preionised diffuse discharge in nitrogen", *Quantum electronics*, V.45, No 4, pp. 366-370.
13. Palomares, J.M., Kohut, A., Galbacs, G., Engeln, R., and Geretovszky, Zs. (2015), "A time – resolved imaging and electrical study on a high current atmospheric

- pressure spark discharge”, *Journal of Applied Physics*, V.118, pp. 233305.
14. Tarasenko, V.F., Beloplotov, D.V., Lomaev, M.I. (2016), “Colored diffuse mini jets in runaway electrons preionized diffuse discharge”, *IEEE Transactions on Plasma Science*, V.44, No 4, pp. 386-392.
  15. Smith, P. L. Heise, C. Esmond, J. R. Kurucz, R. L. (1995). *Atomic Spectral Line Database from CD-ROM 23 of R.L. Kurucz* (Smithsonian Astrophysical Observatory, Cambridge), <http://cfa-www.harvard.edu/amp>.
  16. Baksht, E.Kh., Tarasenko, V.F., Shutko, Yu.V., Erofeev, M.V. (2011), “Point source of UV radiation with a frequency of 1 kHz and a short pulse duration”, *News of higher educational institutions. Physics*, No 11, pp.91-94.
  17. [https:// news.rambler.ru/tech/39106666](https://news.rambler.ru/tech/39106666) – sozdana – bezvrednaya – ultrafioletovaya – lampu – protiv-grippa/
  18. Rutberg, F.G., Gusarov, V.V., Kolikov, V.A., Voskresenskaya, I.P., Snegov, V.N., Stogov, A.Yu., Cherepkova, I.A. (2012), “ Analysis of Physicochemical Properties of Nanoparticles Obtained by Pulsed Electric Discharges in Water”, *Technical Physics*, V. 57, No 12, pp. 1641.
  19. Abduev, A.Kh., Asvarov, A.Sh., Akhmetov, A.K., Emirov, R.M., Belyaev, V.V. (2017), “UV-assisted growth of transparent conducting layers based on zinc oxide”, *Letters in Technical Physics*, V. 43, No.11, pp.1016-1019.