

Винахід належить до фізики газорозрядної плазми і світлотехніки і може бути використаний у наноелектроніці, фотохімії, фотобіології і фотомедицині.

Відома газорозрядна ультрафіолетова лампа на парах води з двома діелектричними бар'єрами, яка працює на сумішах аргону з парами води і випромінює на смугі радикалу гідроксилу (ОН) з максимумом при 309,2 нм [1]. Збудження розряду відбувалось імпульсами напруги у формі меандра з тривалістю 1,5 мкс, амплітудою до 5 кВ і частотою слідування імпульсів напруги в діапазоні 26-96 кГц. Оптимальний парціальний тиск парів води складав близько 1,3 мм рт. ст., а аргону - 200-350 мм рт. ст. Максимальна потужність ультрафіолетового випромінювання лампи досягала 1,1 Вт, а коефіцієнт корисної дії - 0,45 %.

Основними недоліками цієї лампи є велика тривалість імпульсів ультрафіолетового випромінювання (1-1,5 мкс), що не сприяє одержанню високої імпульсної потужності випромінювання, значні габарити випромінювача лампи (довжина $L=30$ см) і плазмового середовища, неузгодженість спектра випромінювання лампи з основними смугами поглинання молекул ДНК. До недоліків також можна віднести наявність кварцової трубки у випромінювача, яка може бути зруйнована при застосуванні в екстремальних польових умовах.

Найближчим аналогом за технічною суттю та ефектом, який досягається, є газорозрядна точкова лампа на парах заліза з плазмовим середовищем у вигляді циліндра з основою діаметром 1 мм та висотою 3 мм, яка працювала на суміші аргону з повітрям або азотом і випромінювала на смугах другої додатної системи молекули азоту в спектральній області 300-400 нм при міжелектродній віддалі 2-3 мм і системі спектральних ліній атома заліза в спектральному діапазоні 250-270 нм [2]. Лампа збуджувалась імпульсами напруги амплітудою 10-14 кВ і субнаносекундної тривалості, коли на передньому фронті імпульсу напруги формується пучок електронів-втікачів, який супроводжується рентгенівським випромінюванням. Тривалість імпульсів випромінювання не переважала 2-3 нс.

Основним недоліком цієї газорозрядної лампи є наявність кварцової оболонки з газовою сумішшю та неузгодженість спектра випромінювання атомів заліза та однозарядних іонів заліза з основним максимумом поглинання молекул ДНК (200-220 нм).

Задача винаходу полягає у створенні газорозрядної імпульсно-періодичної ультрафіолетової лампи на парах міді і цинку, випромінювання якої потрапляє в основний максимум поглинання молекули ДНК.

Поставлена задача вирішується таким чином, що запропонована газорозрядна імпульсно-періодична ультрафіолетова лампа на парах міді і цинку, що містить систему металевих електродів, діелектричний корпус, джерело високовольтичних наносекундних імпульсів, де згідно з винаходом, один електрод виконаний з міді, а інший - з цинку, робочі частини електродів мають радіус заокруглення 3 мм, відстань між електродами становить 2 мм, робочим середовищем є аргон під тиском 200 кПа, при цьому лампа забезпечує випромінювання у спектральному діапазоні 200-330 нм при частоті повторення імпульсів накачування до 1000 Гц, з формуванням випромінювання на переходах атомів та однозарядних іонів міді і цинку.

Перевагами даної газорозрядної імпульсно-періодичної ультрафіолетової лампи на парах цинку і міді є її екологічність, на відміну від ртутних люмінесцентних джерел світла, малий об'єм робочого середовища, недороге газове наповнення, яким є аргон і вузький спектр випромінювання в ультрафіолетовому діапазоні довжин хвиль, який зосереджений переважно в спектральному діапазоні 200-330 нм.

Тривалість імпульсів напруги складала 50-100 нс, а їх амплітуда досягала $\pm 20-40$ кВ. Комутатором в модуляторі служив водневий імпульсний тиратрон ТГІІ-1000-25. Імпульси напруги з модулятора підсилювались в чотири рази за допомогою імпульсного кабельного трансформатора.

Реєстрація світлин наносекундного розряду здійснювалась за допомогою цифрового фотоапарата. Спектри випромінювання лампи реєструвались з використанням монохроматора МДР-2 і фотопомножувача "ФЗУ-106". Спектрофотометр попередньо калібрувався за випромінюванням дейтерієвої і "банд" ламп, що дозволяло в спектральній області 200-650 нм реєструвати відносні інтенсивності спектральних ліній. Вимірювання абсолютної потужності випромінювання точкової лампи відбувалось за допомогою ультрафіолетового вимірювача абсолютної потужності випромінювання "ТКА-ПКМ".

На Фіг. 1 наведена будова газорозрядної імпульсно-періодичної ультрафіолетової лампи на парах цинку і міді. Розрядна комірка лампи (1) виготовлена з діелектрика. Електрод (2) виготовлено з міді, а електрод (3) виготовлено з цинку. Діаметр циліндричних мідних (2) і цинкових електродів (3) складає 5 мм, а радіус заокруглення робочої торцевої частини електродів рівний 3 мм.

Газорозрядна імпульсно-періодична ультрафіолетова лампа на парах цинку і міді працює наступним чином. При поданні на металеві електроди лампи наносекундних імпульсів напруги амплітудою $\pm(20-40)$ кВ, між кінчиками електродів запалюється просторово однорідний розряд короткої тривалості. При міжелектродній віддалі 2 мм розрядний проміжок сильно перенапружений, що створює сприятливі умови для формування пучка електронів високої енергії, які вступають в режим неперервного прискорення і залишають розрядний проміжок (так звані електрони-втікачі).

Явище "втечі" електронів із коротких розрядних проміжків приводить до розпорошення електродів, появи супутнього рентгенівського випромінювання, яке сприяє запалюванню просторово-однорідного розряду в аргоні високого тиску навіть у проміжках із нерівномірним розподілом напруженості електромагнітного поля. Розпилені атоми міді та цинку надходять в розрядний проміжок і збуджуються електронами розряду, що призводить до утворення збуджених атомів. Останні спонтанно розпадаються з випромінюванням в спектральному інтервалі 200-330 нм. Розміри плазми по горизонталі і вертикалі складають близько 0,5 мм. Розряд є досить однорідним, що зумовлено дією системи попередньої іонізації, роль якої в лампі виконує пучок електронів-втікачів, який формується на передньому фронті імпульсу струму, та супутнє йому рентгенівське випромінювання.

На Фіг. 2 приведені осцилограми імпульсів струму, напруги й імпульсна потужність перенапруженого наносекундного розряду в аргоні при тиску 200 кПа між електродом з міді та цинку і віддалі між ними 2 мм. При тиску аргону 200 кПа (Фіг. 2) перепад напруг різної полярності в початковій фазі розряду при тривалості 10-30 нс досягав 15 кВ, а струму ± 80 -100 А. Максимальна величина електричної імпульсної потужності досягала 2,5 МВт при тривалості 50 нс. Основний енергетичний внесок в плазму здійснювався протягом перших 100 нс з моменту запалювання перенапруженого наносекундного розряду. Енергія одного розрядного імпульсу досягала $\approx 373,8$ мДж (Фіг. 2).

На Фіг. 3 і 4 представлені спектри випромінювання лампи при тисках аргону - 50 і 200 кПа, відповідно. В таблиці приведені результати ідентифікації спектральних ліній, наведених в спектрах Фіг. 3 і 4. Основна інтенсивність випромінювання плазми була зосереджена в спектральному інтервалі 200-330 нм. В цій ділянці спектра основними були спектральні лінії атомів та однозарядних іонів міді і цинку. При збільшенні тиску аргону від 50 до 200 кПа інтенсивність всіх спектральних ліній міді та цинку з спектрального інтервалу 200-330 нм зростала. Тому оптимальним для лампи був тиск аргону рівний 150-200 кПа.

Таблица

Результати ідентифікації спектрів випромінювання плазми перенапруженого наносекундного розряду між електродом з міді і електродом з цинку при $p(\text{Ar})=150$ кПа і віддалі між електродами - 2 мм

№	$\lambda_{\text{табл.}}, \text{ нм}$	$I_{\text{експ.}} \text{ відн. од.}$	Об'єкт	$E_{\text{нижн.}}, \text{ еВ}$	$E_{\text{верх.}}, \text{ еВ}$	Терм _{нижн.}	Терм _{верх.}
1	214,89	2,27	Cu II	1,39	7,18	4s ² 2D	5f 2F°
2	216,50	2,50	Cu I	0,00	5,72	4s 2S	4p' 2D°
3	217,49	3,59	Cu II	8,92	14,61	4p 1F°	4d 1G
4	220,05	3,92	Cu II	9,06	14,70	4p 3D°	4d 3F
5	221,45	5,03	Cu I	1,39	6,98	4s ² 2D	4p'' 2P°
6	223,84	3,32	Cu I	1,64	7,18	4s ² 2D	5f 2F°
7	224,70	4,69	Cu II	2,72	8,23	4s 3D	4p 3P°
8	226,30	5,04	Cu I	1,64	7,12	4s ² 2D	7p 2P°
9	227,62	5,05	Cu II	2,98	8,42	4s 3D	4p 3P°
10	229,43	2,88	Cu II	2,83	8,23	4s 3D	4p 3P°
11	230,31	3,65	Cu I	1,64	7,02	4s ² 2D	4p'' 2D°
12	236,98	3,58	Cu II	3,26	8,49	4s 1D	4p 3F°
13	239,26	2,57	Cu I	1,64	6,82	4s ² 2D	6p 2P°
14	244,16	3,67	Cu I	0,00	5,08	4s 2S	4p' 4P°
15	249,21	3,25	Cu I	0,00	4,97	4s 2S	4p' 4P°
16	254,48	3,21	Cu II	8,52	13,39	4p 3F°	5s 3D
17	261,83	3,57	Cu I	1,39	6,12	4s ² 2D	5p 2P°
18	279,17	4,4	Cu II	14,33	18,77	4d 3G	6f 3H°
19	282,43	4,3	Cu I	1,39	5,78	4s ² 2D	4p' 2D°
20	306,34	4,72	Cu I	1,64	5,68	4s ² 2D	4p' 2P°
21	324,75	14,89	Cu I	0	3,82	4s 2S	4p 2P°
22	327,39	12,08	Cu I	0	3,39	4s 2S	4p 2P°
23	350,05	6,76	N ₂	Друга додатна система C ³ Π _u ⁺ -B ³ Π _g ⁺ (2;3)			
24	357,69	7,64	N ₂	Друга додатна система C ³ Π _u ⁺ -B ³ Π _g ⁺ (0;1)			
25	420,06	4,11	Ar I	11,55	14,50	4s [1/2]°	5p [2 1/2]
26	425,93	4,32	Ar I	11,83	14,74	4s' [1/2]°	5p' [1/2]
27	430,01	3,89	Ar I	11,62	14,51	4s [1 1/2]°	5p [1 1/2]
28	433,35	3,36	Ar I	11,83	14,69	4s' [1/2]	5p' [1 1/2]

29	440,09	5,03	Ar II	16,44	19,26	3d ⁴ D	4p ⁴ P°
30	442,39	3,99	Ar I	11,72	14,52	4s' [¹ / ₂] ^o	5p' [¹ / ₂]
31	447,47	4,77	Ar II	18,66	21,43	3d ² D	4p' ² P°
32	451,07	3,55	Ar	11,83	14,58	4s' [¹ / ₂] ^o	5p [¹ / ₂]
33	459,60	3,08	Ar	11,83	14,52	4s' [¹ / ₂] ^o	5p' [¹ / ₂]
34	462,84	3,42	Ar	11,83	14,51	4s' [¹ / ₂] ^o	5p [² / ₂]
35	470,23	2,94	Ar	11,83	14,46	4s' [¹ / ₂] ^o	5p' [¹ / ₂]
36	476,86	3,23	Ar	12,91	15,51	4p [¹ / ₂]	6d' [¹ / ₂] ^o
37	483,66	3,28	Ar	12,91	15,47	4p [¹ / ₂]	9s [¹ / ₂]
38	487,62	2,83	Ar	12,91	15,45	4p [¹ / ₂]	7d [¹ / ₂]
39	492,10	3	Ar	13,09	15,61	4p [² / ₂]	10d [³ / ₂]
40	511,82	2,37	Ar I	13,09	15,52	4p [² / ₂]	6d' [² / ₂] ^o
41	516,22	2,89	Ar I	12,91	15,31	4p [¹ / ₂]	6d [¹ / ₂]
42	518,77	2,91	Ar I	12,91	15,30	4p [¹ / ₂]	5d' [¹ / ₂] ^o
43	521,82	2,59	Cu I	3,82	6,19	4p ² P°	4d ² D
44	525,27	3,07	Ar I	13,09	15,45	4p [² / ₂]	7d [³ / ₂]
45	570,02	2,08	Cu I	1,64	3,82	4s ² ² D	4p ² P°
46	601,36	1,98	Ar I	13,08	15,14	4p [² / ₂]	5d [¹ / ₂] ^o
47	617,01	1,92	Ar I	13,17	15,18	4p [¹ / ₂]	7s [¹ / ₂] ^o
48	653,81	2,3	Ar I	13,08	14,95	4p [² / ₂]	4d' [¹ / ₂] ^o
49	656,29	2,14	H _α	13,08	14,95	4p [² / ₂]	4d' [¹ / ₂] ^o

Максимальна густина потужності УФ-випромінювання лампи в бактерицидній ділянці спектра ($\Delta\lambda=200-280$ нм) досягала 12 мВт/м² при тиску аргону рівному 200 кПа, величині напруги на аноді тиратрона високовольтного модулятора - 20 кВ, та частоті слідування розрядних імпульсів - 80 Гц.

Газорозрядна імпульсно-періодична ультрафіолетова лампа на парах цинку і міді, яка випромінює в спектральному діапазоні 200-330 нм, може використовуватись для очистки повітря від бактерій, стерилізації продовольчих матеріалів в консервному виробництві, стерилізації медичних інструментів і матеріалів та у фотобіології і фотомедицині.

Джерела інформації:

1. Соснин Э.А., Ерофеев М.В., Авдеев С.М., Панченко А.Н. и др. Ультрафиолетовая лампа барьерного разряда на молекулах ОН // Квантовая электроника. - 2006. Т. 36, № 10. - С. 981-983. - Аналог.

2. Бакшт Е.Х., Тарасенко В.Ф., Шутько Ю.В., Ерофеев М.В. Точечный источник УФ - излучения с частотой 1 кГц и короткой длительностью импульсов // Известия ВУЗов. Физика. - 2011. № 11. - С. 91-94. - Найближчий аналог.

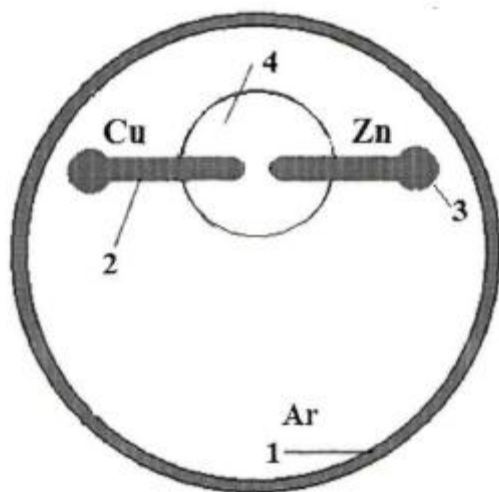
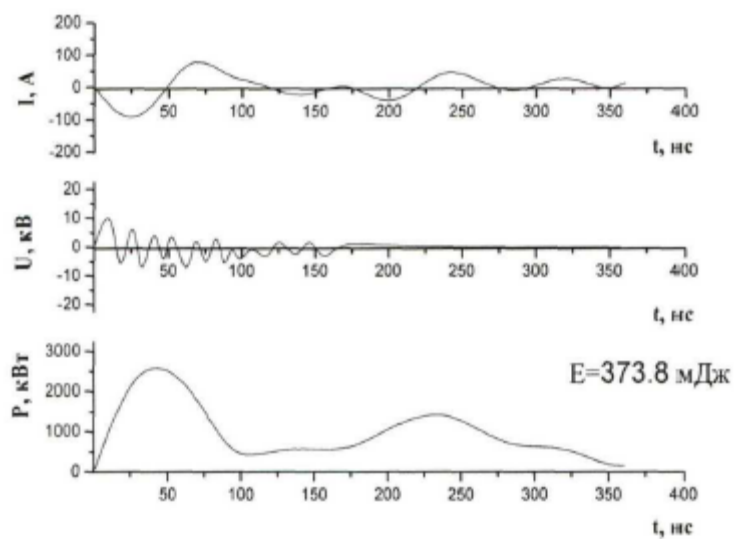
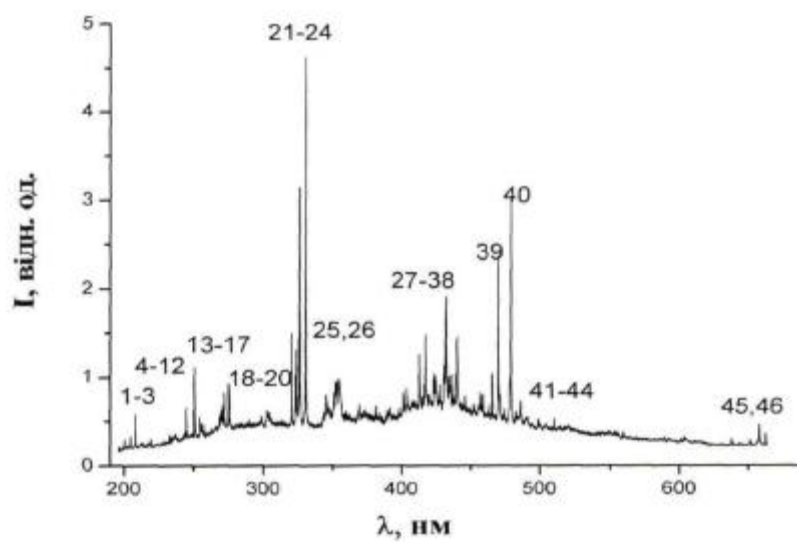


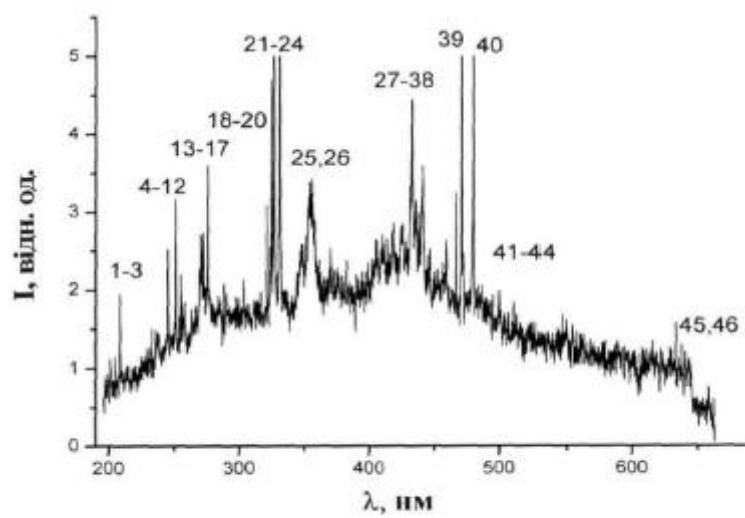
Fig. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фіг. 4