



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 155421

(13) U

(51) МПК

H01S 1/06 (2006.01)

H01S 3/097 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

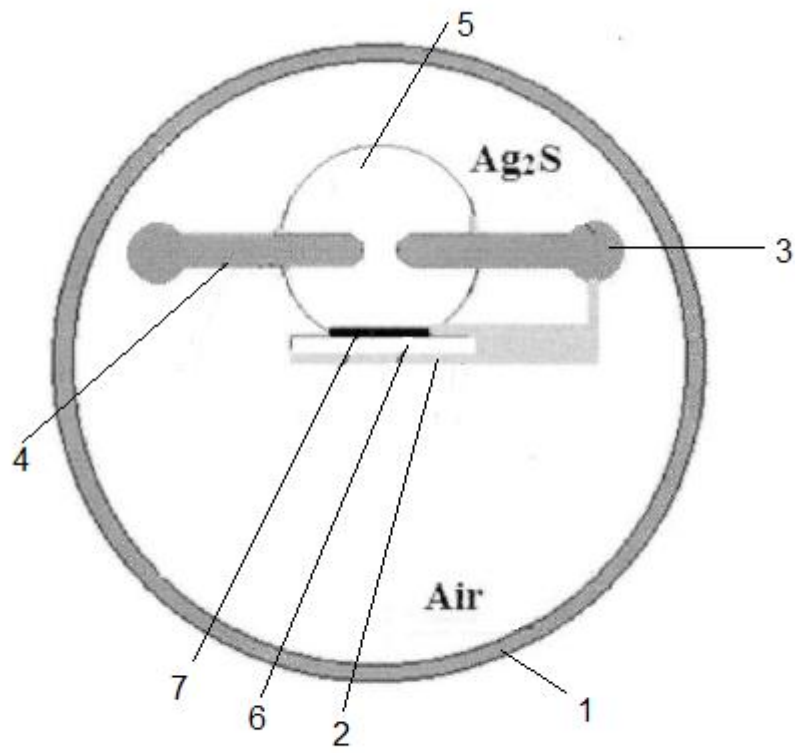
(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2023 02907	(72) Винахідник(и): Шуаїбов Олександр Камілович (UA), Миня Олександр Йосипович (UA), Грицак Роксолана Володимирівна (UA), Гомокі Золтан Тиберійович (UA)
(22) Дата подання заявки: 15.06.2023	
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 29.02.2024	
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 28.02.2024, Бюл.№ 9	(73) Володілець (володільці): ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД "УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ", вул. Підгірна, 46, м. Ужгород, 88000 (UA)

(54) ГАЗОРОЗРЯДНЕ ДЖЕРЕЛО ПОТОКІВ УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ І НАНОСТРУКТУР НА ГАЗОПАРОВІЙ СУМІШІ "ПОВІТРЯ - СУЛЬФІД СРІБЛА"**(57) Реферат:**

Газорозрядне джерело потоків ультрафіолетового випромінювання і наноструктур на газопаровій суміші "повітря - сульфід срібла", що містить систему електродів, корпус із кварцового скла, джерело високовольтних наносекундних імпульсів та робочу суміш повітря атмосферного тиску. Використовують перенапружений біполярний наносекундний розряд між двома електродами, виготовленими із сульфиду срібла, з малим радіусом заокруглення робочої частини, який запалюється при малій міжелектродній віддалі 2 мм. Джерело випромінює потік УФ-квантів в спектральному діапазоні 200-340 нм на переходах атомів та іонів срібла з максимальною густиною середньої потужності 70,1 мВт/см² при частоті повторення імпульсів накачування до 1000 Гц синхронно з потоком наночастинок сульфиду срібла з домішками сульфіту і сульфату срібла.

UA 155421 U



Фиг.1

Корисна модель належить до фізики газорозрядної низькотемпературної плазми, світлотехніки та нанотехнологій і може бути використана у фотохімії, мікробіології і вірусології.

Відома ультрафіолетова лампа на парах води з двома діелектричними бар'єрами, яка працює на сумішах аргону з парами води і випромінює на смузі 309,2 нм радикала гідроксилу (ОН) [1]. Збудження розряду відбувалось імпульсами напруги у формі меандра з тривалістю 1,5 мкс, амплітудою до 5 кВ і частотою проходження імпульсів напруги в діапазоні 26-96 кГц. Оптимальний парціальний тиск парів води складав 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.

Найближчим аналогом корисної моделі 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 субнаносекундної тривалості, коли на передньому фронті імпульсу напруги формується пучок електронів-втікачів, який супроводжується рентгенівським випромінюванням. Тривалість імпульсів випромінювання не переважала 2-3 нс.

Основними недоліками цієї газорозрядної лампи є низька інтенсивність випромінювання в бактерицидній ділянці спектра ($\Delta\lambda=200-280$ нм) та неузгодженість спектра випромінювання атомів заліза з основним максимумом поглинання молекул ДНК (200-220 нм).

В основу корисної моделі поставлена задача створити газорозрядне джерело потоків ультрафіолетового випромінювання і наноструктур на газопаровій суміші "повітря - сульфід срібла", випромінювання якої потрапляє в основний максимум поглинання молекули ДНК і, яка є більш економічно вигідною, ніж дороговартісна ексімерна лампа, що випромінює на довжині хвилі 222 нм KrCl(X-B).

Поставлена задача вирішується тим, що у газорозрядному джерелі потоків ультрафіолетового випромінювання і наноструктур на газопаровій суміші "повітря - сульфід срібла", що містить систему електродів, корпус із кварцового скла, джерело високовольтних наносекундних імпульсів та робочу суміш повітря атмосферного тиску, згідно з корисною моделлю використовують перенапружений біполярний наносекундний розряд між двома електродами, виготовленими з сульфиду срібла, з малим радіусом заокруглення робочої частини, який запалюється при малій міжелектродній віддалі 2 мм, при цьому джерело випромінює потік УФ квантів в спектральному діапазоні 200-340 нм на переходах атомів та іонів срібла з максимальною густиною середньої потужності $70,1 \text{ мВт/см}^2$ при частоті повторення імпульсів накачування до 1000 Гц синхронно з потоком наночастинок сульфиду срібла з домішками сульфиту і сульфату срібла.

Перевагами даного газорозрядного джерела потоків ультрафіолетового випромінювання і наноструктур на газопаровій суміші "повітря - сульфід срібла" є її екологічність, на відміну від ртутних люмінесцентних джерел світла, малий об'єм робочого середовища, недороге газове наповнення, а також можливість роботи в безвіконному режимі при прокачуванні повітря атмосферного тиску з дозвуковими швидкостями через міжелектродний проміжок.

Комутатором в модуляторі служив водневий імпульсний тиратрон ТГІІ-1000-25. Імпульси напруги з модулятора підсилювались в чотири рази за допомогою імпульсного кабельного трансформатора при зміні частоти повторення імпульсів у діапазоні 35-1000 Гц.

Реєстрація світлин наносекундного розряду здійснювалась за допомогою цифрового фотоапарата. Для реєстрації спектрів випромінювання плазми використовувався цифровий двоканальний спектрометр з компенсацією астигматизму "SL-40-2-1024USB". Вимірювання абсолютної потужності випромінювання точкової лампи відбувалось за допомогою ультрафіолетового вимірювача абсолютної потужності випромінювання "ТКА-ПКМ". Реєстрація спектрів раманівського розсіювання тонких плівок проводилась з використанням раманівського спектрометра Renishaw InVia™ confocal Raman microscope (UK).

Суть корисної моделі пояснюють креслення, де на Фіг. 1 наведена будова газорозрядного джерела ультрафіолетового випромінювання і потоку наноструктур на основі сульфиду срібла, яке працює на газопаровій суміші "повітря - сульфід срібла", де: 1 - корпус розрядної камери, 2 -

кріплення підкладки для напilenня, 3 - система регулювання віддалі між електродами, 4 - електроди, виготовлені зі сполуки Ag_2S , 5 - газова ділянка, в якій відбувається розпорошення, 6 - скляна підкладка для напilenня тонких плівок, 7 - шар напленої речовини на основі матеріалу електродів.

Газорозрядне джерело потоків ультрафіолетового випромінювання і наноструктур на газопаровій суміші "повітря - сульфід срібла" працює наступним чином. При поданні на електроди джерела наносекундних імпульсів напруги амплітудою $\pm(20-40)$ кВ, між кінчиками електродів, виготовленими з полікристалічної сполуки Ag_2S , запалюється просторово однорідний розряд наносекундної тривалості. При міжелектродній віддалі 2 мм розрядний проміжок 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 повітрі атмосферного тиску навіть у проміжках із нерівномірним розподілом напруженості електромагнітного поля в міжелектродному проміжку. Розпилені молекули сульфиду срібла надходять в розрядний проміжок, де вони дисоціюють на атоми срібла і сірки та збуджуються електронами розряду, що приводить до утворення збуджених атомів та іонів срібла. Останні спонтанно розпадаються з випромінюванням у спектральному інтервалі 200-330 нм. Після виходу з плазми, ці атоми формують потік наноструктур на основі сульфиду срібла, який конденсується у вигляді тонкої плівки на поверхні скляної підкладки, встановленої біля системи електродів.

На Фіг. 2 приведено світлину перенапруженого наносекундного розряду в повітрі при тиску 101 кПа. Як впливає з цієї світлини, розряд є однорідним, що зумовлено дією системи попередньої іонізації, роль якої в джерелі виконує пучок "електронів-втікачів" і супутнє йому рентгенівське випромінювання.

На Фіг. 3 приведені осцилограми імпульсів струму, напруги, імпульсна потужність і електрична енергія в імпульсі для перенапруженого наносекундного розряду між двома електродами з сульфиду срібла при тиску повітря 101 кПа, віддалі між електродами - 2 мм і частоті 1000 Гц. Осцилограми напруги і струму були в формі затухаючих в часі осциляцій, що зумовлено неузгодженістю вихідного опору високовольтного модулятора з опором навантаження. Повна тривалість осциляцій напруги на проміжку та розрядного струму досягала 450 нс при тривалості окремих осциляцій напруги 7-10 нс, а осциляції струму мали тривалість ≈ 70 нс. Короткотривалі осциляції найкраще проявлялись на осцилограмах напруги.

Для розряду в повітрі атмосферного тиску при $d=2$ мм амплітуда найбільшого спаду напруги на електродах досягала в початковій стадії розряду і складала $\approx \pm 25-30$ кВ, струму ± 150 А, а імпульсної потужності - 2,7 МВт, що забезпечувало енергетичний внесок за один розрядний імпульс в плазму близько ≈ 77 мДж (Фіг. 3).

На Фіг. 4 приведений ультрафіолетовий спектр випромінювання джерела. В таблиці 1 представлені результати ідентифікації спектра випромінювання розряду, який наведений на Фіг. 4.

Таблиця 1

Результати ідентифікації спектра випромінювання плазми перенапруженого наносекундного розряду між електродами з сульфиду срібла при $p(\text{повітря})=101$ кПа, віддалі між електродами $d=2$ мм, частоті $f=1000$ Гц

№	$\lambda_{\text{табл}}$, нм	$I_{\text{експ}}$ Відн. од.	Об'єкт	$E_{\text{нижн.}}$, еВ	$E_{\text{верх.}}$, еВ	Терм _{нижн}	Терм _{верх}
1	206,59	893	Ag II	5,05	11,05	$4d^9(^2D_{5/2})5s^2[5/2]_2$	$4d^9(^2D_{3/2})5p^2[5/2]^\circ_3$
2	211,38	2635	Ag II	4,85	10,71	$4d^9(^2D_{5/2})5s^2[5/2]_3$	$4d^9(^2D_{5/2})5p^2[5/2]^\circ_3$
3	214,56	1541	Ag II	5,42	11,20	$4d^9(^2D_{3/2})5s^2[3/2]_1$	$4d^9(^2D_{3/2})5p^2[1/2]^\circ_1$
4	218,67	1402	Ag II	5,05	10,71	$4d^9(^2D_{5/2})5s^2[5/2]_2$	$4d^9(^2D_{5/2})5p^2[5/2]^\circ_3$
5	224,64	13390	Ag II	4,85	10,37	$4d^9(^2D_{5/2})5s^2[5/2]_3$	$4d^9(^2D_{5/2})5p^2[7/2]^\circ_4$
6	227,99	6214	Ag II	5,70	11,14	$4d^9(^2D_{3/2})5s^2[3/2]_2$	$4d^9(^2D_{3/2})5p^2[3/2]^\circ_1$
7	232,02	15196	Ag II	5,70	11,05	$4d^9(^2D_{3/2})5s^2[3/2]_2$	$4d^9(^2D_{3/2})5p^2[5/2]^\circ_3$
8	233,13	15196	Ag II	5,05	10,36	$4d^9(^2D_{5/2})5s^2[5/2]_2$	$4d^9(^2D_{5/2})5p^2[3/2]^\circ_1$
9	241,13	11011	Ag II	5,42	10,56	$4d^9(^2D_{3/2})5s^2[3/2]_1$	$4d^9(^2D_{5/2})5p^2[5/2]^\circ_2$

10	243,77	12223	Ag II	4,85	9,94	$4d^9(^2D_{5/2})5s^2[^5/2]_3$	$4d^9(^2D_{5/2})5p^2[^3/2]_2$
11	244,78	12223	Ag II	5,70	10,77	$4d^9(^2D_{3/2})5s^2[^3/2]_2$	$4d^9(^2D_{3/2})5p^2[^5/2]_2$
12	260,59	2214	Ag II	10,18	14,94	$4d^9(^2D_{5/2})5p^2[^7/2]_3$	$4d^9(^2D_{5/2})6s^2[^5/2]_3$
13	261,43	1959	Ag II	10,77	15,51	$4d^9(^2D_{3/2})5p^2[^5/2]_2$	$4d^9(^2D_{3/2})6s^2[^3/2]_1$
14	271,18	2144	Ag II	10,37	14,94	$4d^9(^2D_{5/2})5p^2[^7/2]_4$	$4d^9(^2D_{5/2})6s^2[^5/2]_3$
15	276,75	1830	Ag II	5,70	10,18	$4d^9(^2D_{3/2})5s^2[^3/2]_2$	$4d^9(^2D_{5/2})5p^2[^7/2]_3$
16	293,83	2799	Ag II	10,77	14,99	$4d^9(^2D_{3/2})5p^2[^5/2]_2$	$4d^9(^2D_{5/2})6s^2[^5/2]_2$
17	328,06	15995	Ag I	0,00	3,77	$4d^{10}5s^2S_{1/2}$	$4d^{10}5p^2P^{\circ}_{3/2}$
18	333,13	2630	N II	20,65	24,37	$2s^22p3^2D_2$	$2s^22p4s^3P_1$
19	338,28	8339	Ag I	0,00	3,66	$4d^{10}5s^2S_{1/2}$	$4d^{10}5p^2P^{\circ}_{1/2}$

В ультрафіолетовому спектрі випромінювання розряду (Фіг. 4.) на суміші повітря з парами сульфиду срібла у спектральному інтервалі 200-405 нм спостерігались виключно лінії атома й однозарядного іона срібла (лінії 1-17; табл. 1). Найбільш інтенсивними ультрафіолетовими спектральними лініями атома срібла були резонансні лінії з $\lambda=328,06$; 338,28 нм Ag I, а найбільш інтенсивною іонною спектральною лінією срібла була лінія з $\lambda=233,13$ нм Ag II.

Основна частина енергії перенапруженого наносекундного розряду вноситься на плазмовій фазі спочатку в електронну складову, а після цього енергія передається від електронів до атомів в збуджених енергетичних станах та до іонів. Тому, найбільш імовірні механізми утворення збуджених атомів і іонів срібла в даному розряді можуть визначатися процесами їх збудження і іонізації електронами з метастабільних рівнів, з основного стану відповідного іона та процесами діелектронної рекомбінації.

На Фіг. 5 приведені залежності густини інтенсивності УФ-випромінювання УФ-С, УФ-В, УФ-А діапазонів перенапруженого наносекундного розряду між електродами з сульфиду срібла в повітрі від частоти повторення імпульсів напруги при зарядній напрузі $U=13$ кВ ($p(\text{повітря})=101$ кПа, $d=2$ мм).

Збільшення частоти з 350 до 1000 Гц приводило до значного збільшення густини інтенсивності УФ-випромінювання у всіх діапазонах. Максимальним був ріст інтенсивності УФ-випромінювання в спектральному діапазоні ДА, $\lambda=315-400$ нм (Фіг. 5.).

На Фіг.6. приведені залежності густини інтенсивності УФ-випромінювання УФ-С, УФ-В, УФ-А діапазонів перенапруженого наносекундного розряду між електродами з сульфиду срібла в повітрі від напруги на аноді тиратрона високовольтного модулятора біполярних імпульсів напруги (при $f=80$ Гц). При збільшенні напруги з 12 до 20 кВ відмічено збільшення густини інтенсивності УФ-випромінювання розряду у всіх діапазонах. Проте, порівняно із збільшенням частоти, зростання напруги приводить до меншого збільшення інтенсивності УФ-випромінювання.

В таблиці 2 приведено питомі густини інтенсивності УФ-випромінювання розряду при різних тисках повітря. Сумарна густина потужності УФ - випромінювання розряду в спектральних діапазонах УФ-А, УФ-В і УФ-С досягала 71 мВт/см².

Таблиця 2

Максимальні значення питомої інтенсивності УФ-випромінювання розряду при різних тисках повітря ($U=20$ кВ, $f=1000$ Гц, $d=2$ мм)

Спектральний діапазон	$p(\text{повітря})=13.3$ кПа	$p(\text{повітря})=101$ кПа
	W , мВт/см ²	W , мВт/см ²
УФ-С (200-280 нм)	6.7	32.1
УФ-В (280-315 нм)	2.5	11.3
УФ-А (315-400 нм)	7.6	27.7

На фіг. 7 наведено спектри раманівського розсіяння світла осажденою з потоку наноструктур плівкою. Порівняння цих спектрів з літературними даними [3] показало, що потік наноструктур складають переважно наноструктури сульфиду срібла з домішками сульфїту (Ag_2SO_3) і сульфату срібла (Ag_2SO_4).

Газорозрядне джерело потоків ультрафіолетового випромінювання і наноструктур на газопаровій суміші "повітря - сульфід срібла" може використовуватись для очистки повітря від бактерій і вірусів, в тому числі і від коронавірусів, забруднених різними біологічними сполуками

твердих поверхонь, стерилізації продовольчих матеріалів в консервному виробництві, стерилізації медичних інструментів і матеріалів та у фотобіології.

Джерела інформації:

1. Соснин Э.А., Ерофеев М.В., Авдеев СМ., 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.
3. Martina, I., Wiesinger, R., Jembrih-Simburger, D., Schreiner, M., Micro-raman characterisation of silver corrosion products: instrumental set up and reference database. e-PS, 2012, Vol. 9, p.1

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Газорозрядне джерело потоків ультрафіолетового випромінювання і наноструктур на газопаровій суміші "повітря - сульфід срібла", що містить систему електродів, корпус із кварцового скла, джерело високовольтичних наносекундних імпульсів та робочу суміш повітря атмосферного тиску, яке **відрізняється** тим, що використовують перенапружений біполярний наносекундний розряд між двома електродами, виготовленими із сульфиду срібла, з малим радіусом заокруглення робочої частини, який запалюється при малій міжелектродній віддалі 2 мм, при цьому джерело випромінює потік УФ-квантів в спектральному діапазоні 200-340 нм на переходах атомів та іонів срібла з максимальною густиною середньої потужності 70,1 мВт/см² при частоті повторення імпульсів накачування до 1000 Гц синхронно з потоком наночастинок сульфиду срібла з домішками сульфиту і сульфату срібла.

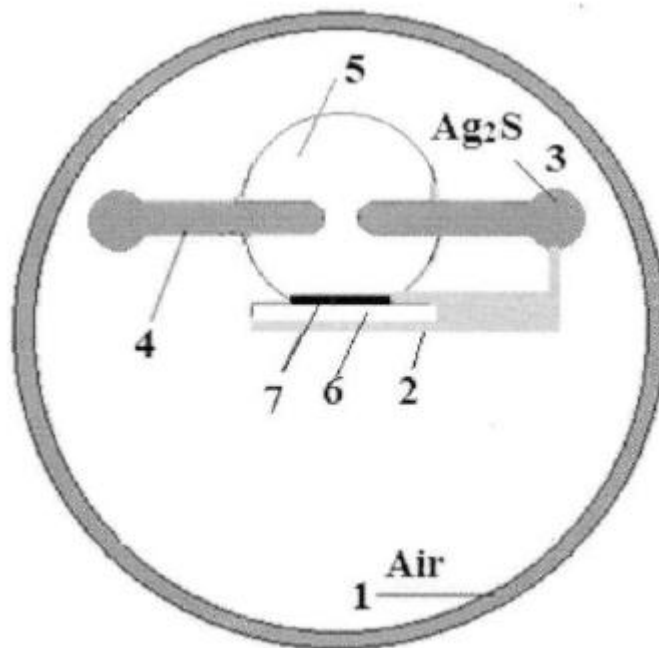
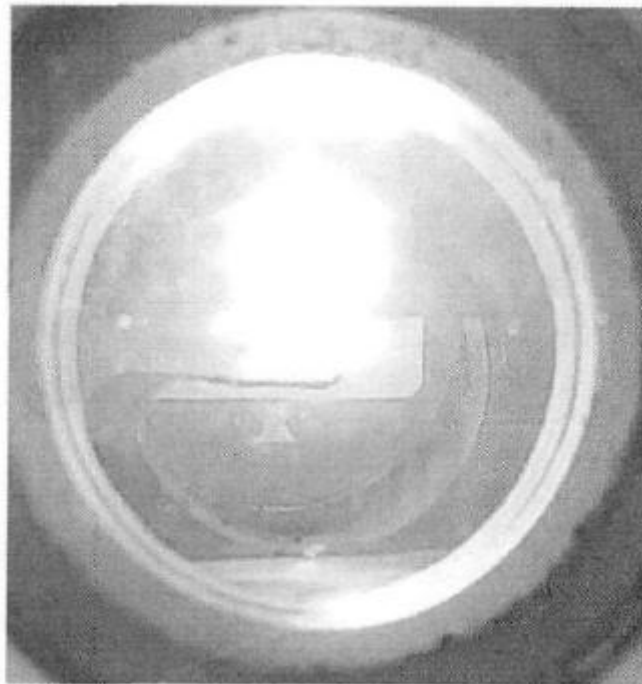
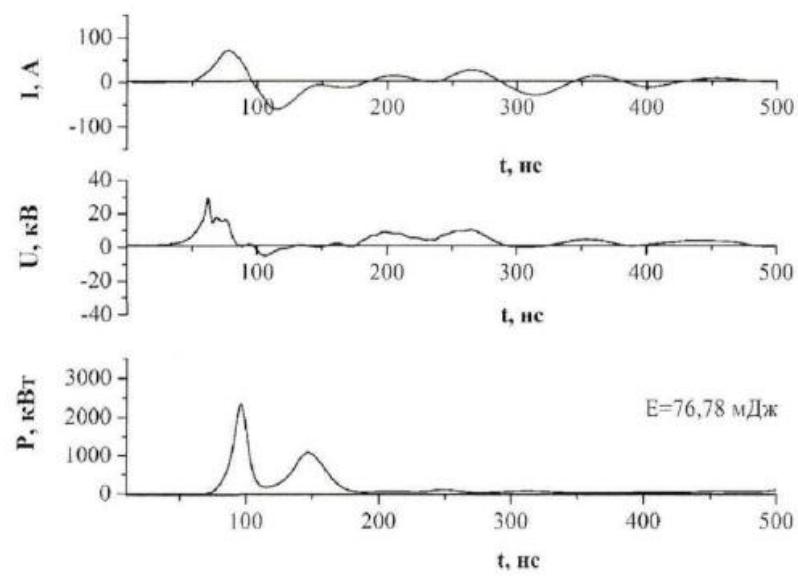


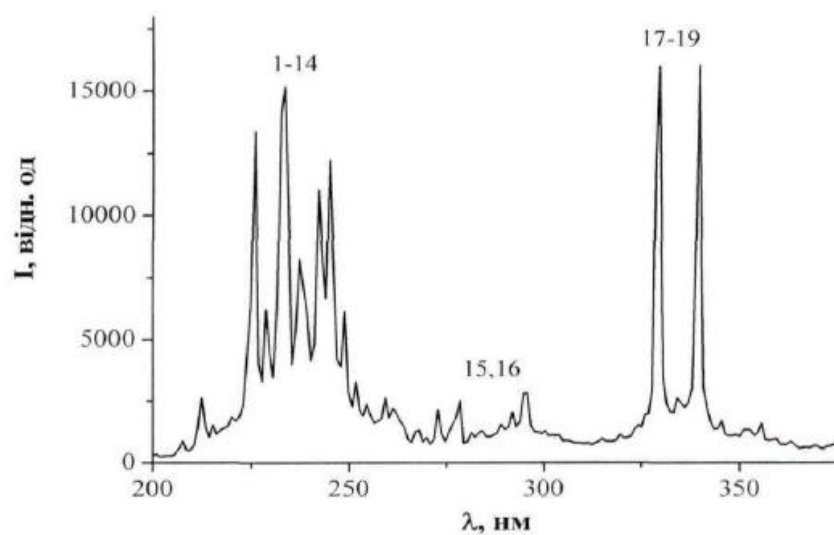
Fig. 1



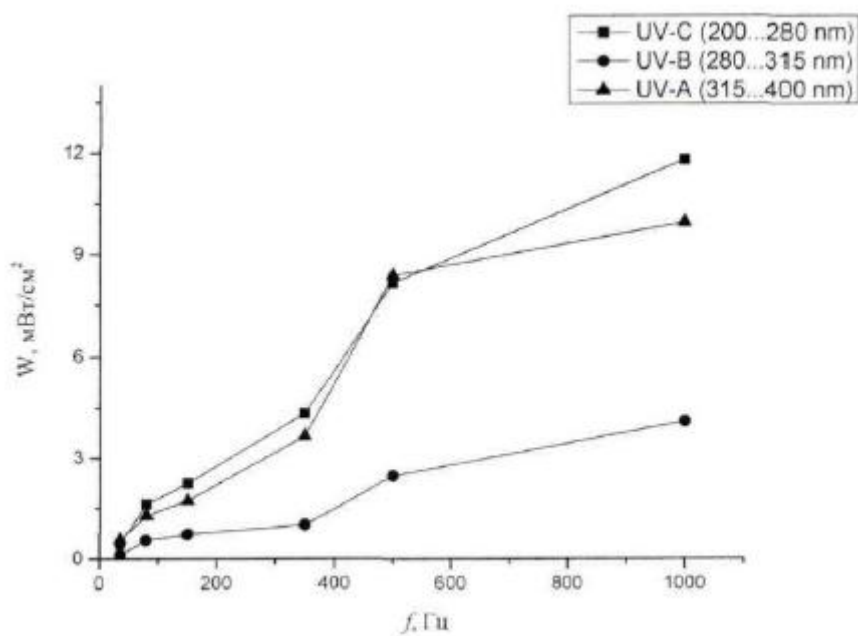
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5