



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **148595** (13) **U**
(51) МПК

H01S 1/06 (2006.01)

H01S 3/097 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ"

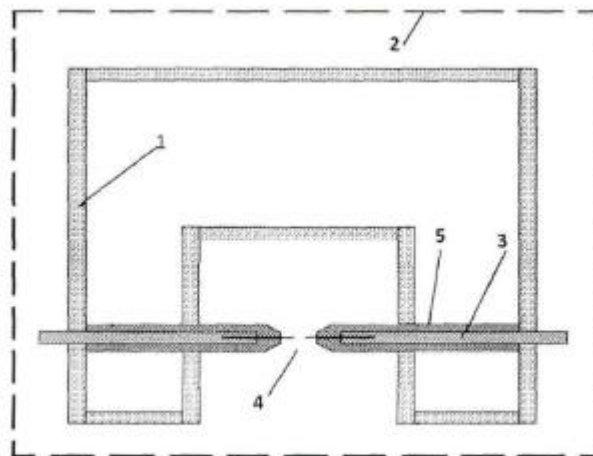
(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2021 01763</p> <p>(22) Дата подання заявки: 05.04.2021</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 26.08.2021</p> <p>(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 25.08.2021, Бюл.№ 34</p>	<p>(72) Винахідник(и): Шуаїбов Олександр Камілович (UA), Миня Олександр Йосипович (UA), Грицак Роксолана Володимирівна (UA), Гомокі Золтан Тиберійович (UA), Малініна Антоніна Олександрівна (UA), Малінін Олександр Миколайович (UA), Ватрала Мар'яна Іванівна (UA)</p> <p>(73) Володілець (володільці): ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД "УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ", вул. Підгірна, 46, м. Ужгород, 88000 (UA)</p>
---	--

(54) КОРОТКОХВИЛЬОВА ГАЗОРОЗРЯДНА ЛАМПА НА СУМІШІ АРГОНУ З ПАРАМИ МІДІ

(57) Реферат:

Короткохвильова газорозрядна лампа на суміші аргону з парами міді містить систему металевих електродів, корпус із кварцового скла, прозорого в спектральній області 200-400 нм, джерело високовольтних наносекундних імпульсів та робочу суміш аргону атмосферного тиску. Використано перенапружений біполярний наносекундний розряд між мідними електродами з малим радіусом заокруглення робочої частини, який запалюється при малій міжелектродній віддалі 2 мм. Лампа випромінює короткохвильове випромінювання у спектральному діапазоні 200-330 нм на переходах атомів міді з максимальною густиною середньої потужності 100 мВт/м² при частоті повторення імпульсів накачування до 1000 Гц.



Фиг. 1

UA 148595 U

Корисна модель належить до фізики низькотемпературної плазми і світлотехніки. Вона може бути використана у фотохімії, фотобіології та медицині.

Відома короткохвильова газорозрядна лампа на парах води з двома діелектричними бар'єрами, яка працює на суміші аргону з парами води і випромінює на смузі радикалу гідроксилу (ОН) з максимумом при 309,2 нм [1]. Збудження розряду відбувалось імпульсами напруги в 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.

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 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 низька інтенсивність випромінювання в бактерицидній ділянці спектра при $\Delta\lambda=200-280$ нм і неузгодженість спектра випромінювання атомів та однозарядних іонів заліза з основним максимумом поглинання молекул ДНК (200-220 нм) [3].

Задача корисної моделі полягає у створенні короткохвильової газорозрядної лампи на суміші аргону з парами міді, випромінювання якої потрапляє в основний максимум поглинання молекули ДНК та яка може замінити дороговартісну ексимерну лампу, що випромінює на довжині хвилі 222 нм KrCl(X-B).

Поставлена задача вирішується таким чином, що запропонована короткохвильова газорозрядна лампа на суміші аргону з парами міді, яка містить систему металевих електродів, корпус із кварцового скла, прозорого в спектральній області 200-400 нм, джерело високовольтних наносекундних імпульсів та робочу суміш аргону атмосферного тиску, яка відрізняється тим, що використовують перенапружений біполярний наносекундний розряд між мідними електродами з малим радіусом заокруглення робочої частини, який запалюється при малій міжелектродній віддалі 2 мм, при цьому лампа випромінює короткохвильове випромінювання у спектральному діапазоні 200-330 нм на переходах атомів міді з максимальною густиною середньої потужності 100 мВт/м² при частоті повторення імпульсів накачування до 1000 Гц.

Перевагами даної короткохвильової газорозрядної лампи на суміші аргону з парами міді є її екологічність, на відміну від ртутних люмінесцентних джерел світла, малий об'єм робочого середовища, недороге газове наповнення, вузький спектр випромінювання в ультрафіолетовому діапазоні довжин хвиль та можливість роботи в безвіконному режимі при пропусканні аргону атмосферного тиску 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 в діапазоні 35-1000 Гц.

Реєстрація світлин наносекундного розряду здійснювалась за допомогою цифрового фотоапарата. Спектри випромінювання лампи реєструвались з використанням монохроматора МДР-2 і фотопомножувача "ФЭУ-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 короткохвильової, газорозрядної лампи на суміші аргону з парами міді. Розрядна комірка лампи (1) виготовлена з оргскла, розміри якої становлять 125×60 мм. Короткохвильове випромінювання плазми виводиться через кварцове вікно, виготовлене з кварцу марки "КУ" прозорого до 190 нм. З метою зменшення впливу електромагнітних полів на

систему реєстрації характеристик лампи, останню поміщають в екран із металевої сітки (2). Діаметр циліндричних мідних електродів (3) складає 5 мм, а радіус заокруглення робочої торцевої частини електродів рівний 3 мм. Для локалізації розряду (4) між кінчиками мідних електродів вони розміщуються всередині діелектричних трубок (5). Віддаль між мідними електродами складає 2 мм.

Короткохвильова газорозрядна лампа на суміші аргону з парами міді працює наступним чином. При поданні на електроди лампи наносекундних імпульсів напруги амплітудою $\pm(20-40)$ кВ, між кінчиками мідних електродів 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 розпорощення електродів, появи супутнього рентгенівського випромінювання, яке сприяє запалюванню просторово-однорідного розряду в аргоні атмосферного тиску навіть у проміжках із нерівномірним розподілом напруженості електромагнітного поля в міжелектродному проміжку. Розпилені атоми міді 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.

На Фіг.2. приведені осцилограми струму, напруги, імпульсна потужність і електрична енергія в імпульсі при тиску аргону 101 кПа, віддалі між електродами - 2 мм і частоті 100 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. На осцилограмах струму вони були частково проінтегровані за часом внаслідок великої сталої часу поясу Роговського, який використовувався в цих дослідженнях.

Для розряду в аргоні атмосферного тиску при $d=2$ мм амплітуда найбільшого спаду напруги на електродах досягала в початковій стадії розряду і складала $\approx \pm 7-8$ кВ, струму ± 100 А, а імпульсної потужності -1,2 МВт, що забезпечувало енергетичний внесок за один розрядний імпульс в плазму близько ≈ 167 мДж (Фіг. 2).

На Фіг. 3. приведено світлину перенапруженого наносекундного розряду в аргоні при тиску 101 кПа. Як впливає з цієї світлини, 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.

При тиску аргону 6,7 кПа наносекундний розряд мав вигляд яскравої центральної частини діаметром близько 2 мм, що був рівним міжелектродній віддалі, з якого витікали два струмені плазми зеленого кольору. При збільшенні тиску аргону до 101 кПа діаметр яскравої центральної частини збільшувався в два рази і збільшувався, відповідно, також діаметр ореолу, який її охоплював.

На Фіг. 4 і 5. представлені ультрафіолетові спектри випромінювання лампи. В таблиці приведені результати ідентифікації спектрів випромінювання розряду, спектри якого наведені на Фіг. 4. і 5.

Таблиця

Результати ідентифікації ультрафіолетових спектрів випромінювання плазми перенапруженого наносекундного розряду між мідними електродами при $p(\text{Ar}) = 101$ кПа і $d=2$ мм

№	λ табл, нм	$I_{\text{експ}}$ відн.од.	Об'єкт	$E_{\text{нижн.}}$, еВ	$E_{\text{верх.}}$, еВ	Терм _{нижн}	Терм _{верх}
1	214.89	1.78	Cu II	1.39	7.18	4s ² 2D	5f 2F°
2	216.50	2.07	Cu I	0.00	5.72	4s 2S	4p' 2D°
3	217.49	3.34	Cu II	8.92	14.61	4p 1F°	4d 1G
4	220.05	1.63	Cu II	9.06	14.70	4p 3D°	4d 3F
5	221.02	3.34	Cu II	3.26	8.86	4s 1D	4p 3D°
6	221.45	4.21	Cu I	1.39	6.98	4s ² 2D	4p" 2P°
7	223.84	3.69	Cu I	1.64	7.18	4s ² 2D	5f 2F°
8	224.70	4.30	Cu II	2.72	8.23	4s 3D	4p 3P°
9	226.30	5.00	Cu I	1.64	7.12	4s ² 2D	7p 2P°

10	227.62	5.05	Cu II	2.98	8.42	4s ³ D	4p ³ P ^o
11	229.43	1.89	Cu II	2.83	8.23	4s ³ D	4p ³ P ^o
12	230.31	2.34	Cu I	1.64	7.02	4s ² D	4p ² D ^o
13	236.98	1.82	Cu II	3.26	8.49	4s ¹ D	4p ³ F ^o
14	239.26	2.86	Cu I	1.64	6.82	4s ² D	6p ² P ^o
15	244.16	2.12	Cu I	0.00	5.08	4s ² S	4p ⁴ P ^o
16	249.21	2.08	Cu I	0.00	4.97	4s ² S	4p ⁴ P ^o
17	254.48	2.25	Cu II	8.52	13.39	4p ³ F ^o	5s ³ D
18	261.83	2.55	Cu I	1.39	6.12	4s ² D	5p ² P ^o
19	279.17	2.86	Cu II	14.33	18.77	4d ³ G	6f ³ H ^o
20	282.43	2.5	Cu I	1.39	5.78	4s ² D	4p ² D ^o
21	306.34	3.13	Cu I	1.64	5.68	4s ² D	4p ² P ^o
22	324.75	9.98	Cu I	0	3.82	4s ² S	4p ² P ^o
23	327.39	8.19	Cu I	0	3.39	4s ² S	4p ² P ^o
24	354.89	4.10	N ₂	Друга додатна система C ³ P _u ⁺ -B ³ P _g ⁺ (3;2)			
25	357.69	4.37	N ₂	Друга додатна система C ³ P _u ⁺ -B ³ P _g ⁺ (0;1)			

Особливістю цих спектрів випромінювання була наявність континууму, на фоні якого спостерігались всі спектральні лінії і смуги. Природа даного континууму в умовах експерименту пов'язана з тепловим і рекомбінаційним випромінюванням плазми. Форма континууму з широким максимумом при 400-450 нм добре корелювалась з результатами, відомими з літератури.

В спектрах випромінювання плазми розряду (Фіг. 4 і 5) на суміші аргону з парами міді в УФ-діапазоні довжин хвиль 214-330 нм (лінії 1-23; табл.) спостерігалось випромінювання на переходах атома й однозарядного іона міді. Найбільш інтенсивною іонною спектральною лінією була спектральна лінія з $\lambda=227,62$ нм Cu II, а з атомарних найінтенсивнішими були резонансні спектральні лінії атома міді з $\lambda=324,75$ і $327,39$ нм Cu I, у яких нижнім енергетичним рівнем є основний рівень. Найвищою енергією верхнього енергетичного рівня для спектральних ліній Cu II була $E_{\text{верх}}=18,77$ еВ, а для атомарних ліній максимальна енергія верхнього енергетичного рівня складала $E_{\text{верх}}=7,18$ еВ. В ультрафіолетовому спектрі також спостерігались смуги другої додатної системи молекули азоту, оскільки в даних експериментах відкачування розрядної камери відбувалось лише до залишкового тиску повітря ≈ 10 Па. При відстані між електродами 2 мм і використанні біполярного генератора високовольтних наносекундних імпульсів відбувається формування однієї чи декількох (при сильному перенапруженні розрядного проміжку) катодних плям, які рухаються одна назустріч одній.

На Фіг. 6. приведені осцилограми світіння плазми на переходах атома міді й аргону: 6-249,1 нм Cu I, 6-306,34 нм Cu I, 8-470,23 Ar 1, 9-521,82 нм Cu I в розряді при тиску аргону 101 кПа та осцилограма імпульсної потужності.

Випромінювання на переходах атома міді знаходилось в післясвітінні першого максимуму імпульсної потужності, слабкі другі максимуми світіння фіксувались лише для спектральних ліній з $\lambda = 306,34; 521,82$ нм Cu I при $t=150$ нс. Імовірно, що при атмосферному тиску аргону тривалість дифузної стадії високовольтного наносекундного розряду не переважала 100 нс, а другі максимуми світіння ліній атома міді проявляються вже на контрагованій стадії розряду. Відсутність повторного максимуму на осцилограмі спектральної лінії 249,1 нм Cu I, якої нижнім є основний енергетичний рівень атома міді, може бути зумовлена процесом самопоглинання випромінювання на каналній стадії розряду, коли концентрація парів міді в плазмі збільшується. Випромінювання на переході атома аргону з $\lambda = 470.23$ Ar 1 нм, теж спостерігалось в післясвітінні першого максимуму імпульсної потужності розряду, що може визначатись рекомбінаційним механізмом заселення його верхнього енергетичного рівня.

На Фіг. 7. приведені залежності інтенсивності УФ - випромінювання УФ-С, УФ-В, УФ-А - діапазонів перенапруженого наносекундного розряду в аргоні від частоти повторення імпульсів напруги при зарядній напрузі $U=13$ кВ ($p(\text{Ar})=101$ кПа, $d=2$ мм).

Максимальна величина середньої потужності УФ - випромінювання в Аргоні при тиску Аргону 101 кПа для різних діапазонів УФ випромінювання складала: УФ-С (200-280 нм) - 67 мВт/м², УФ-В (280-315 нм) - 65 мВт/м² і УФ-А (315-400 нм) - 204 мВт/м² (при $U_{\text{ЗАР}}=20$ кВ, $f=1$ кГц). При зменшенні тиску Аргону до 6,7 кПа максимальне значення середньої потужності УФ-випромінювання в спектральному діапазоні УФ-С (200-280 нм) стало рівним 4.4 Вт/м², в УФ-В (280-315 нм) діапазоні - 4.4 мВт/м², а в УФ-А (315-400 нм) діапазоні - 11.7 мВт/м² (при $U_{\text{ЗАР}}=20$ кВ, $f=1$ кГц).

При збільшенні частоти слідування розрядних імпульсів від 40 до 1000 Гц найбільшим було зростання інтенсивності випромінювання розряду в UV-A (315-400 нм) діапазоні, зокрема, в діапазоні частот $\Delta f=350-1000$ Гц, вона збільшувалась від 8 до 95 мВт/м². В діапазонах UV-B і UV-C ріст густини потужності випромінювання був меншим і спостерігався в межах 3,0-25,0 мВт/м². Збільшення інтенсивності УФ-випромінювання розряду в залежності від величини зарядної напруги на робочому конденсаторі високовольтного модулятора при фіксованій частоті повторень було менш ефективним і знаходилось в межах 8,0-24 мВт/м². При цьому відносні співвідношення між інтенсивностями випромінювання в діапазонах УФ-С, УФ-В, УФ-А були такими ж, як і для відповідних залежностей від частоти.

Короткохвильова газорозрядна лампа на суміші аргону з парами міді, що випромінює в спектральному діапазоні 200-330 нм, 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.

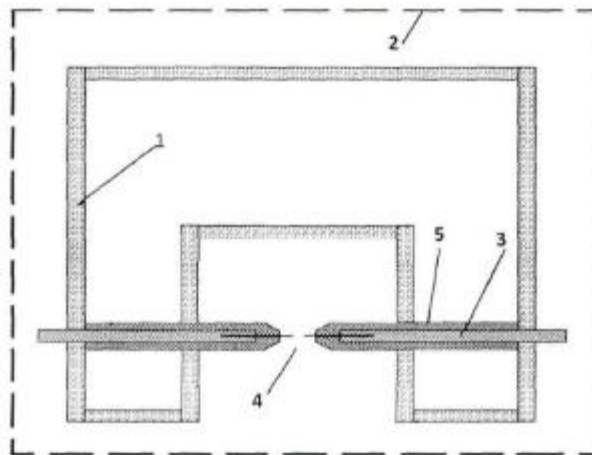
Джерела інформації:

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.

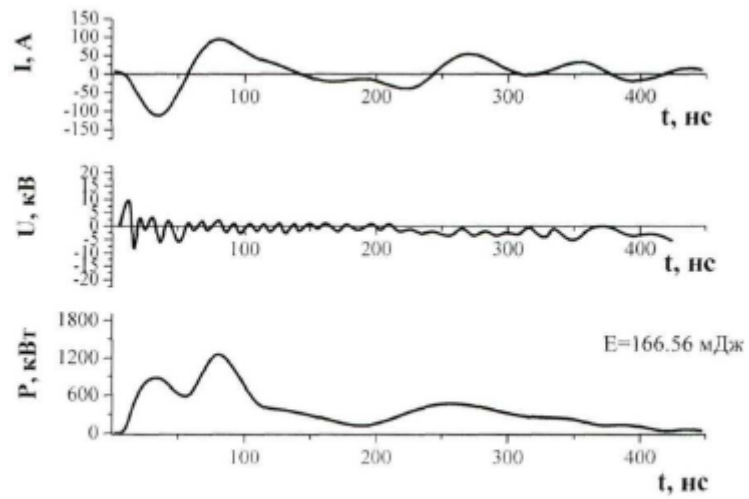
2. Бакшт Е.Х., Тарасенко В.Ф., Шутько Ю.В., Ерофеев М.В. Точечный источник УФ - излучения с частотой 1 кГц и короткой длительностью импульсов // Известия ВУЗов. Физика. - 2011. № 11, -С.91-94. – ближайший аналог.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Короткохвильова газорозрядна лампа на суміші аргону з парами міді, яка містить систему металевих електродів, корпус із кварцового скла, прозорого в спектральній області 200-400 нм, джерело високовольтних наносекундних імпульсів та робочу суміш аргону атмосферного тиску, яка **відрізняється** тим, що використано перенапружений біполярний наносекундний розряд між мідними електродами з малим радіусом заокруглення робочої частини, який запалюється при малій міжелектродній віддалі 2 мм, при цьому лампа виконана з можливістю випромінювання короткохвильового випромінювання у спектральному діапазоні 200-330 нм на переходах атомів міді з максимальною густиною середньої потужності 100 мВт/м² при частоті повторення імпульсів накачування до 1000 Гц.



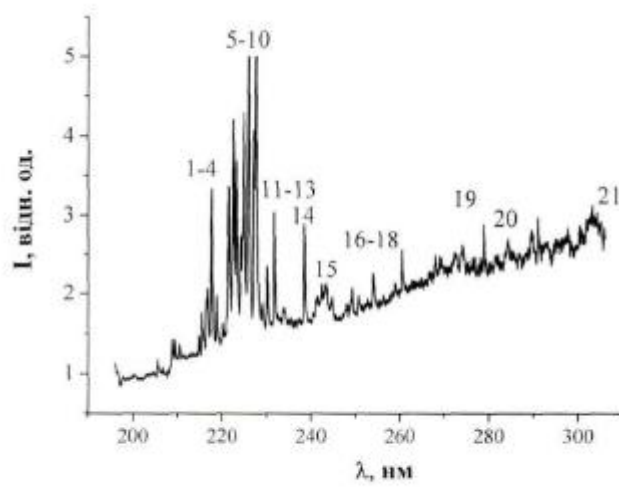
Фиг. 1



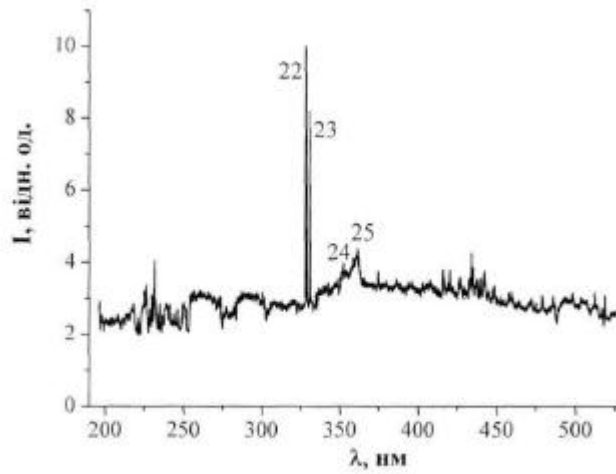
Фиг. 2



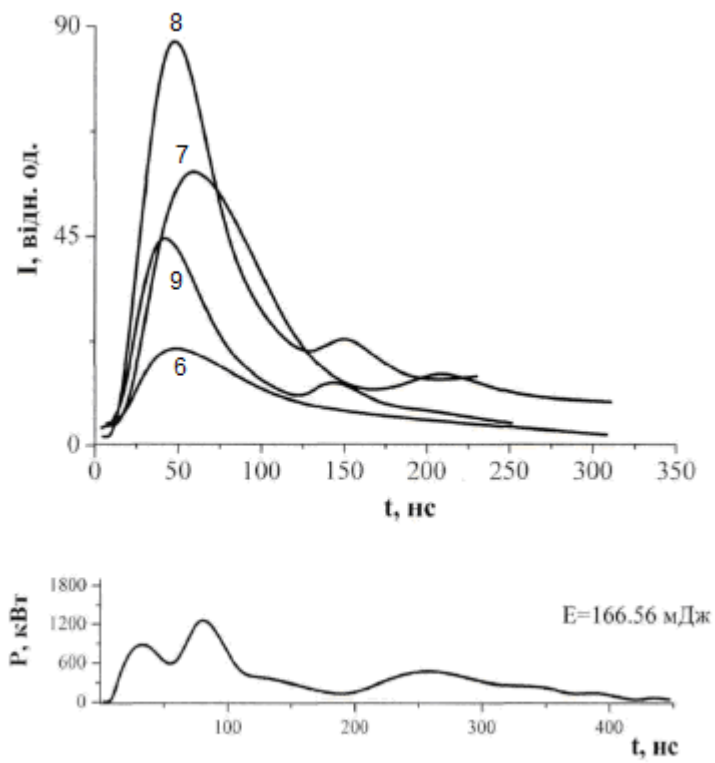
Фиг. 3



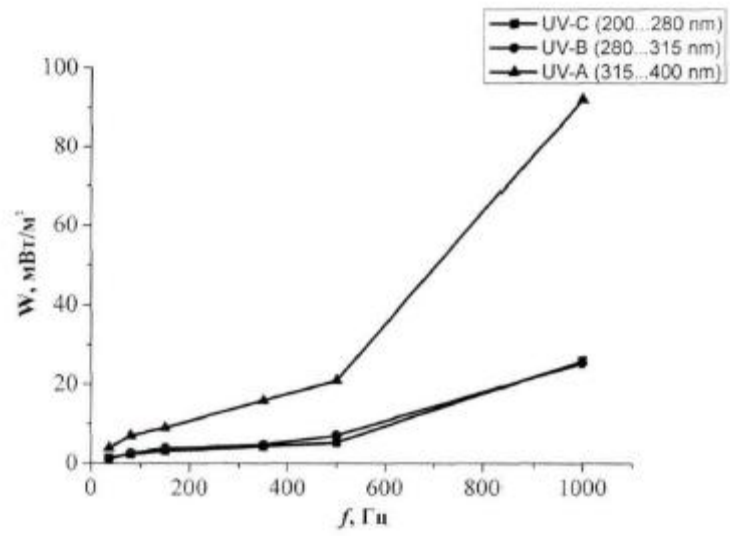
Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7