

ВИПРОМІНЮВАННЯ ПЛАЗМИ ПОПЕРЕЧНОГО РОЗРЯДУ НА СУМІШАХ АРГОНУ З SF₆

З.Т. Гомокі, В.-Ф.З. Папп, М.М. Повч, Л.Л. Шимон, І.І. Сабов.

Ужгородський національний університет, 88000, Ужгород, вул. Волошина, 54.

В області $\lambda\lambda 120...340\text{нм}$ досліджено випромінювання плазми газового розряду сумішей Ar-SF₆, He-Ar-SF₆ та Ne-SF₆. Виявлено, що спектри складаються з смуги $\lambda 193,3\text{нм}$ ArF^{*}, ВУФ спектральних ліній атомів Si та широкої смуги при $\lambda > 200\text{нм}$, яка є суперпозицією $\lambda\lambda 270...290\text{нм}$ ArF^{*}₂, $\lambda\lambda 200...280\text{нм}$ Ar^{*}₂ і Ar⁺₂, $\lambda\lambda 280...340\text{нм}$ S₂ молекулярних смуг. Розглядається механізм утворення в розряді молекул ArF^{*} і можливість створення на базі досліджених сумішей джерела когерентного або широкосмугового спонтанного випромінювання.

При розробці високо інтенсивних газорозрядних когерентних та некогерентних джерел світла для медицини, плазмохімії, екології, мікроелектроніки і т.п. потрібні дані про процеси утворення, збудження та релаксації молекул, канали розподілу вкладеної в газ енергії тощо. Їх можливо отримати дослідженням випромінювання відповідної низькотемпературної плазми. Одним з перспективних джерел випромінювання є газовий розряд на сумішах інертних газів з галогеносіями. Дослідженню плазми сумішей на базі галогеноміських молекул присвячено чимало наукових робіт. Вони, як правило, направлені на створення потужних ексимерних лазерів [1, 2]. Тому, у сумішах використовувались лише окремі молекули, що містять, наприклад, фтор (F₂, NF₃). УФ і ВУФ випромінювання детально не досліджувалось, вивчались лише характеристики плазми при середніх питомих енерговкладах у розряд. У даній роботі у діапазоні $\lambda\lambda 120...300\text{нм}$ досліджено випромінювання плазми сумішей інертних газів з SF₆ при питомих енерговкладах у розряд $0,5...2,5\text{МВт/см}^3$.

Експерименти виконані на установці, що зображена на рис.1. Газовий розряд створювався у комірці 1. Випромінювання вивчалось вакуумним монохроматором з оберненою дисперсією 7Å/мм, реєструвалось фотоелектронним детектором ФЄП-142, з якого сигнал поступав на електронний потенціометр КСП-4.

Частота слідування імпульсів насадки середовища становила 5...10Гц. Імпульси напруги та струму вимірювались ємнісним дільником напруги та каліброваним шунтом і реєструвались швидкодіючим осцилографом С1-108 відповідно.

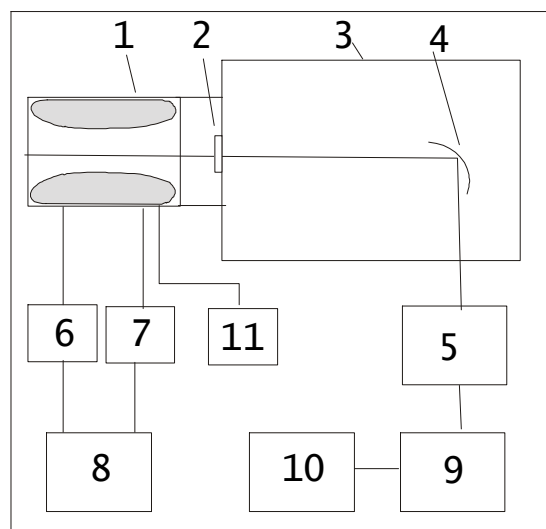


Рис.1. Експериментальна установка для дослідження плазми поперечного розряду.

1-газорозрядна комірка, 2-LiF-віконце, 3-монохроматор, 4-дифракційна ґратка, 5-фотоелектронний помножувач ФЄП-142, 6-дільник напруги, 7-струмовий шунт, 8-осцилограф С1-108, 9-підсилювач постійного струму, 10-потенціометр КСП-4, 11-генератор імпульсних напруг.

Циліндрична комірка 1 (рис.2.) діаметром 40мм і довжиною $L=120\text{мм}$ виготовлена з капролактаму, яка від спектрометра відокремлена LiF-вікном. Посеред

неї розташовані нікелеві електроди, між якими утворюється розряд з

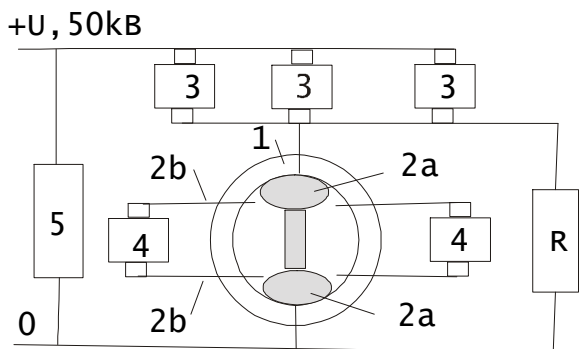


Рис.2. Схема комірки для збудження поперечного розряду

1- газорозрядна камера; 2-електродна система: а- основні електроди, б-електроди іскрової предіонізації; 3-накопичувач з ємностей К-15-10, $C_n=20$ нФ; 4- загострюючі і предіонізуючі конденсатори з КВИ-3; $C_3 + C_n = 8$ нФ; 5- комутатор-тіратрон ТГИ-1000/25 або розрядник РУ-65.

об'ємом $0,2 \dots 1 \cdot 1,5 \cdot 12 \text{ см}^3$. Плазма одержується накачкою газового середовища імпульсним генератором (ГН), аналогічним тому, що використовуються для створення активних середовищ ексімерних лазерів з питомою потужністю до $2,5 \text{ МВт/см}^3$. Накопичувальна ємність зібрана з конденсаторів КВИ-3, а при $P_{\text{нак}} \geq 2,5 \text{ МВт/см}^3$ передбачено використання ємності КМЧ-50-0,1 і комутатора-розрядника РУ-65. Комірка може бути використана і для дослідження плазми багатокомпонентних сумішей інертних газів з різними галогеноносіями, в тому числі активного середовища більшості УФ-лазерів, так як у названих системах питома потужність, що вкладається в плазму, має величину $0,5 \dots 1,5 \text{ МВт/см}^3$. Замітимо, що на даній установці, можливо вивчення процесів у плазмі і при потужностях, що вкладаються в розряд більших, ніж $2,5 \text{ МВт/см}^3$.

Результати та їх обговорення

У роботі досліджувалось випромінювання плазми сумішей Ar-SF_6 і Ar-Ne ,

Ne, Kr-SF_6 в ультрафіолетовій і ВУФ-областях спектру. Емісійні спектри отримані для різних компонентних складів сумішей при загальному тиску газу $p=70 \dots 800 \text{ мм рт. ст.}$ На рис.3 наведено спектр суміші Ar-SF_6 . Як видно, у діапазоні $\lambda 170 \dots 270 \text{ нм}$ спостерігаються дві інтенсивні молекулярні смуги з максимумами при $\lambda 193,3 \text{ нм}$ і $\lambda 248 \text{ нм}$ та декілька спектральних ліній. Перша з смуг належить відомому лазерному переходу ($B^2\Sigma \rightarrow B^2X$) молекули ArF . Її висока інтен-

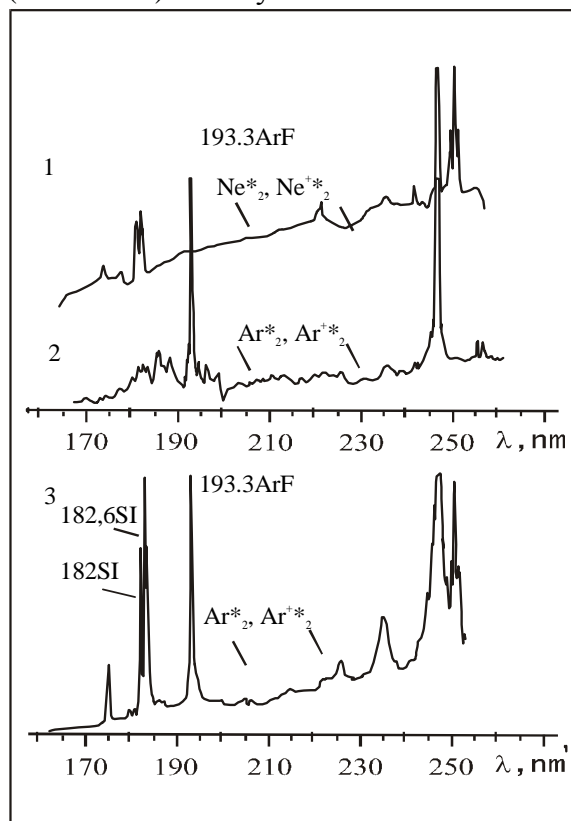
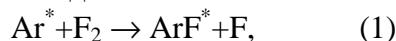


Рис.3. УФ-спектри випромінювання сумішей інертних газів та елегазу.

1- суміші $\text{Ne-SF}_6=100-3$ при $p_{\text{зар.}} = 500 \text{ мм рт. ст.}$; 2- суміші $\text{Ne-Ar-SF}_6 = 736-70-7$ при $p_{\text{зар.}} = 813 \text{ мм рт. ст.}$; 3- суміші $\text{Ar-SF}_6 = 70-7$ при $p_{\text{зар.}} = 77 \text{ мм рт. ст.}$;

сивність свідчить про ефективне утворення у плазмі вказаної ексімерної молекули. На основі аналізу результатів експериментів, літературних даних [3-5] і величин констант швидкостей реакцій можна рахувати, що ArF^* утворюється переважно двома шляхами



і



До збудження молекул ArF^* приводять і реакції $\text{Ar}^+ + \text{F}^- + \text{M} \rightarrow \text{ArF}^* + \text{M}$ і $\text{Ar}_2^+ + \text{F}^- + \text{M} \rightarrow \text{ArF}^* + \text{Ar} + \text{M}$. Однак, вони є головними у системах з електронно-променевою накачкою газу.

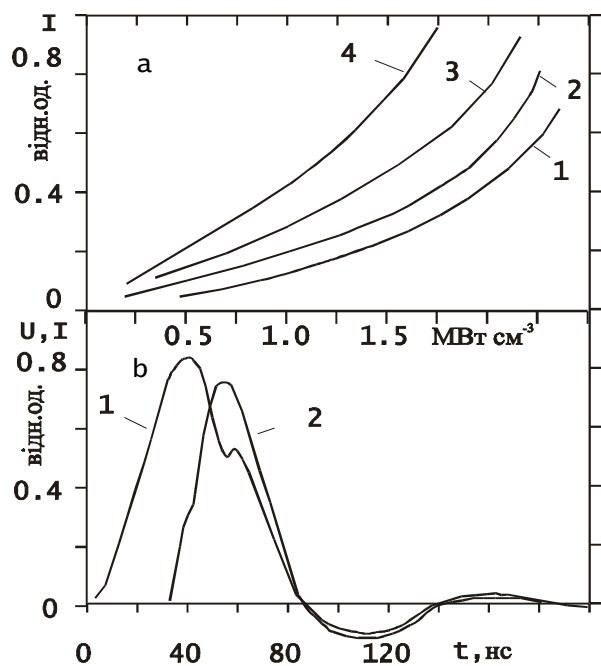


Рис.4. а- залежність інтенсивності смуги $\lambda 193,3\text{нм}$ ArF від складу та тиску суміші $\text{He-Ar-SF}_6 = 100-10-1$: 1- $p_{\text{заг}} = 50$ мм рт.ст.; 2- $p_{\text{заг}} = 150$ мм рт.ст.; 3- $p_{\text{заг}} = 250$ мм рт.ст. 4- $p_{\text{заг}} = 330$ мм рт.ст.; б- електричні характеристики плазми: 1- імпульс напруги між робочими електродами; 2- імпульс струму через розряд.

Для знаходження оптимальних умов виходу випромінювання на смузі $\lambda 193,3\text{нм}$ були досліджені залежності імпульсу напруги на проміжку і струму через розряд, інтенсивності смуги від величини вкладеної у розряд питомої потужності W та компонентного складу газу (див. рис.4). Як видно, вихід енергії з плазми в області $W=0.25\dots 1.25$ $\text{МВт}/\text{см}^3$ росте лінійно, а при більших вкладених у розряд енергіях нелінійно. Насичення потужності вихідного випромінювання при збільшенні загального тиску суміші від 50 мм рт.ст. до 730 мм рт.ст. і потужностях вкладених у плазму до 2,5 $\text{МВт}/\text{см}^3$ не було досягнуто.

Характерною особливістю отриманих нами спектрів є наявність в області $\lambda > 200\text{нм}$ широких смуг випромінювання,

інтенсивність яких, з збільшенням загального тиску суміші, росте. Їх походження однозначно інтерпретувати важко. Вони можуть бути викликані накладанням випромінювання різних молекул. На наш погляд, в області $\lambda 200\dots \lambda 280$ нм поява широкої смуги у сумішей, що вміщують аргон пов'язана, в основному, з молекулами Ar_2^* і $\text{Ar}^+_{2,2}$, а у випадку використання в якості буферного газу неону – з Ne^*_{2} і Ne^+_{2} . Ймовірно присутня також смуга молекул ArF_2^* з максимумом при $\lambda \lambda 270\dots 290$ нм. Підтвердженням цього є відомий факт[2] можливості реакціям (1) і (2) закінчуватись утворенням як ArF^* , так і ArF_2^* , а також спостереження нами раніше аналогічних смуг для молекул KrF_2^* і XeF_2^* у сумішах He-Kr-SF_6 і He-Xe-SF_6 відповідно.

Можлива також присутність випромінювання різних фрагментів і радикалів. Так, мас-спектрометричні дослідження [6] показали на можливість утворення у розряді SF_5^+ , SF_4^+ , SF_3^+ , SF_2^+ та інших радикалів. Однак, з одного боку наявна інформація про спектри, молекулярних константах, тощо цих радикалів недостатні для однозначного аналізу умов їх появи у спектрах розряду, що містить SF_6 . Задача ускладнюється тим, що наші дослідження виконані при не порівняно вищих енерговкладах у розряд, ніж у [7] для яких спектроскопічні дані практично відсутні. Відносно випромінювання фрагментів F і F_2 слід зазначити, що найбільш інтенсивні атомні лінії фтору[8] ($\lambda \lambda 80,7\dots 97,77\text{нм}$ F) розташовані за границею пропускання LiF -віконця та чутливості експериментальної установки при, а інтенсивність свічення молекули F_2 ($\lambda 158\text{нм}$) завдяки реакції (2) є низьким.

Однак, з часом на стінках камери і на електродній системі, накопичується сірка. Наші дослідження показали, що в діапазоні $\lambda \lambda 270\dots 340\text{нм}$ з'являється широка смуга випромінювання молекули S_2 . Аналогічну смугу спостерігали і в наукових роботах [7,9,10]. Підтвердженням присутності сірки у камері є також наявність при тисках до 100мм рт.ст.) атомарних

ліній SI (див. рис.3а) в області $\lambda\lambda 180...185\text{nm}$.

Таким чином, спектр випромінювання сумішей аргону з SF₆ складається з: смуги $\lambda 193,3\text{nm}$ ArF* інтенсивність якої із збільшенням загального тиску газу росте; широкої смуги в області $\lambda > 200\text{nm}$, що може бути викликана накладанням випромінювання різних молекул – в області $\lambda 200... \lambda 280\text{nm}$, молекулами Ar₂* і Ar⁺*₂, а в діапазоні $\lambda\lambda 270...290\text{nm}$ молекулою ArF*₂; ліній атомів сірки SI у ВУФ-і та

смуги S₂ з максимумом $\lambda\lambda 280...340\text{nm}$. На базі досліджених сумішей можливо створення широкопсмугового джерела спонтанного випромінювання. Наші розрахунки і літературні дані [2,11] показали, що при відповідному збільшенні об'єму розряду можна отримати і лазерну генерацію. Факт накопичування сірки може помітно знизити ресурс джерела випромінювання, створеного на базі досліджуваних вище сумішей.

Література:

1. В.Ю. Баранов, В.М. Борисов Ю.Ю. Степанов // Электроразрядные эксимерные лазеры на галогенидах инертных газов. – Москва. – Энергоатомиздат. – 1988. – с.216.
2. И. Мак-Даниель, У. Нигэн. // Газовые лазеры. – Москва.–Мир. 1986. – с.548.
3. Н. Н. Nakano et al. // New Electronic Transition Laser system Tech. Rpt. MP-76-99, Stanford. Res. Inst.–1976.
4. M. Rokni. // Appl. Phys. Lett. –1977.– v.31. –79.
5. C.B. Edwards. F. O'Neil M.J. Shaw // Appl. Phys. Lett.–1980.–v.36. –pp.617-620.
6. I. I. Wagner, W.W. Brandt // Plasma Chem. and Plasma Proc. –1981. –v.1 – N2 –p.201—207.
7. В.В. Воробьев. Л.Ю. Елишина. М.И. Кондаков // Химическая Физика. 1992. –т.11.–№10.– с.1414-1421
8. А.П. Стриганов, Г.А. Одинцова // Таблица спектральных линий атомов и ионов – Москва.– Энергоиздат. – 1982, – с.311
9. R.W.B. Pearse, A.G. Gaydon, // The identification of molecular spectra. London.– 1963.–pp. 347
10. R. C. Sce, T.R.Loree. // IEE J. Quant. Electr. –1978. – QE-14.– N12.– p.944-950.
11. В.Н. Ищенко, В.Н. Лисицын, А.М. Ражев // Письма в ЖТФ.– 1976.–т.2.–в.18. – с.839-842

EMISSION OF RADIATION BY TRANSVERSE DISCHARGE PLASMA OF ARGON AND SF₆ MIXTURES

Z.T. Homoky, V.-F. Z. Papp, M.M. Povch, L.L. Shymon, I. I. Szabo

Uzhgorod State University, 88000, Voloshina str., 54

In $\lambda\lambda 120...340\text{nm}$ spectral regions the emission of radiation by gas discharge plasma of Ar-SF₆, He-Ar-SF₆ and Ne-SF₆ mixtures were investigated. Spectrums include the $\lambda 193,3\text{nm}$ ArF*, VUV spectral lines of SI atoms and extensive $\lambda > 200\text{nm}$ bands, which are the superposition of $\lambda\lambda 270...290\text{nm}$ ArF*₂, $\lambda\lambda 200... \lambda 280\text{nm}$, Ar₂* and Ar⁺*₂, $\lambda\lambda 280...340\text{nm}$. S₂ molecular bands. The formation mechanism of ArF* molecules and possibility to design a coherent or extensive band source of light are discussed.