

ДОСЛІДЖЕННЯ ІМПУЛЬСНО-ПЕРІОДИЧНОЇ Трибар'єрної ЛАМПИ НА СУМІШАХ КРИПТОНУ З МОЛЕКУЛАМИ CCl_4 І SF_6

З.Т. Гомокі, О.Й. Миня, І.В. Шевера, Л.Л. Шимон, О.К. Шуайбов

ДВНЗ «Ужгородський національний університет», 88000, Ужгород, вул. Підгірна, 46

Наведено результати експериментальних досліджень оптичних та електричних характеристик плазми трибар'єрного розряду на сумішах $\text{Kr-SF}_6(\text{CCl}_4)$ та $\text{Kr-SF}_6\text{-CCl}_4$. В спектрах спостерігалися інтенсивні смуги випромінювання ексиплексних молекул KrCl (222 нм) та KrF (248 нм). На основі залежностей інтенсивностей смуг випромінювання від амплітуди напруги збудження, частоти слідування імпульсів, складу та парціальних тисків газових сумішей проведена оптимізація параметрів ексиплексної трибар'єрної лампи.

Ключові слова: УФ лампи, бар'єрний розряд, ексиплексні молекули, галогени, інертні гази.

Вступ

Інтерес до ексиламп [1] як самостійного класу випромінюючих систем з'явився після детального вивчення ексимерних та ексиплексних лазерів і кінетичних процесів, що відбуваються в їх активних середовищах. Вже два десятиліття джерела спонтанного УФ та ВУФ випромінювання на основі зв'язано-вільних переходів галогенідів та димерів інертних газів інтенсивно досліджуються як альтернатива традиційним джерелам: ртутним лампам середнього та високого тиску, а також ксеноновим та криптоновим лампам дугового розряду, що випускаються серійно. Найбільш придатними для практичних застосувань виявилися лампи з використанням бар'єрного розряду [2]. Перевагою застосування ексиламп бар'єрного розряду над лампами ємнісного та тліючого розрядів є зосередження випромінювання у вузьких смугах (10...20 нм). В них може бути акумульовано до 80 % потужності, що вноситься в розряд. Привабливою рисою ламп на основі бар'єрних розрядів є відсутність контакту поверхні електродів з хімічно активними компонентами робочих середовищ, можливість масштабування та використання довільної геометричної конструкції випромінюючої поверхні.

Використання в ексилампах багато-

компонентних сумішей, які містять інертний газ і галогени, дає змогу отримувати, як одну, так і декілька смуг випромінювання [3]. Проте у багатокомпонентних сумішах присутня конкуренція між кінетичними процесами утворення ексиплексних молекул, що ускладнює керування спектральним складом випромінювання таких ламп. У зв'язку з цим дослідження ексиламп на основі трибар'єрної конструкції (з трьома бар'єрами та двома незалежними об'ємами) є перспективними. Їх можливо застосовувати у фотохімії [4] та фотобіології [5], де є необхідність селективного керування фотопроцесами, заміщуючи часом технічно складні лазерні системи або традиційні широкосмугові лампи.

Техніка експерименту

Для дослідження оптичних та електричних характеристик бар'єрного розряду на сумішах інертних газів з малоагресивними галогеносіями (SF_6 , CCl_4) застосовувалась експериментальна установка (рис. 1), що складалась з трибар'єрної ексилампи (рис. 2), імпульсно-періодичного блоку живлення, вакуумно-газозмішувальної системи, системи реєстрації оптичних, енергетичних, електричних та часових характеристик розряду.

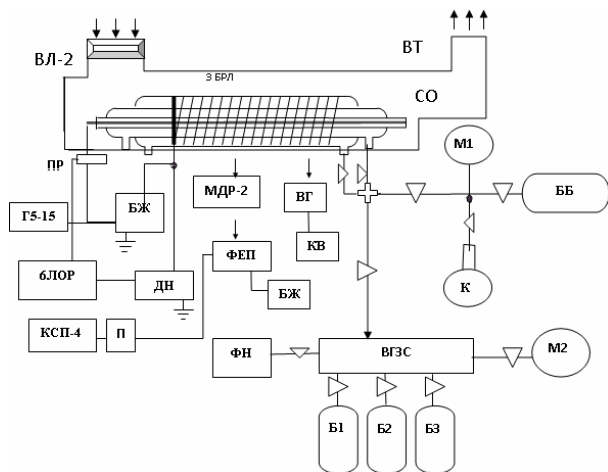


Рис. 1. Блок-схема експериментальної установки: ЗБРЛ – трибар’ерна лампа, ПР – пояс Роговського, МДР-2 – монохроматор, ФЭП – фотоелектричний помножувач, ВГ – вимірювальна головка з фільтром УФС-1, КВ – кварц 01, БЖ – блок живлення, Г5-15 – генератор імпульсів, К – колба з CCl_4 , БЛОП – осцилограф, КСП-4 – самописець, ДН – дільник напруги для визначення спаду напруги в колі, П – підсилювач, ВГЗС – вакуумна газозмішувальна система, Б1, Б2, Б3 – балони з різними газами, М1 – вакууметр, М2 – манометри, ФН – форвакуумний насос, ББ – буферний балон, ВЛ-2 – вентилятор, ВТ – витяжка, СО – система охолодження.

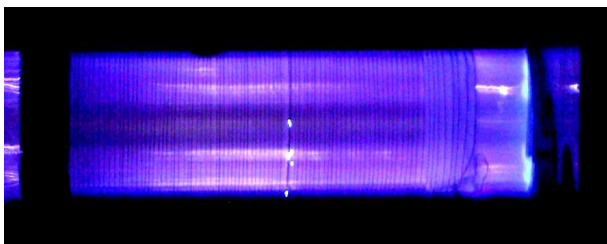


Рис. 2. Загальний вигляд свічення трибар’єрного розряду у двох об’ємах на сумішах $\text{Kr-SF}_6=20-0,25$ кПа та $\text{Kr-CCl}_4=20-0,013$ кПа при $U=13$ кВ, $f=80$ Гц.

Трибар’ерна ексилампа виготовлена з коаксіальних кварцових трубок діаметром 14, 27 і 37 мм та довжинами 50, 40 і 30 см, відповідно. Товщина стінок кварцових трубок складає 1,5...2,0 мм. Навколо поверхні зовнішньої трубки намотано спіралеподібний електрод з нікелевого дроту діаметром 0,25 мм, довжиною кільця 14 см, кроком 2 мм і прозорістю 85 %. В середині внутрішньої трубки розташований суцільний електрод з дюралюмінію довжиною 28 см і діаметром 11 мм.

Випромінювання плазми ексилампи поступало через вхідну щілину моно-

хроматора МДР-2 з дифракційною решіткою 1200 штрих/мм і аналізувалось у діапазоні довжин хвиль 200...600 нм. Розділення монохроматора за довжинами хвиль складало 0,2 нм. На виході монохроматора для детектування випромінювання використовувався фотоелектронний помножувач ФЭУ-106, підключений до підсилювача постійного струму. Діапазон чутливості фотопомножувача знаходився на ділянці спектру 200...450 нм, з максимумом на довжині хвилі 254 нм. Збудження газового середовища здійснювалось за допомогою високовольтного блоку живлення, який забезпечував вихідні імпульси напруги амплітудою 20...40 кВ та тривалістю 20 нс. Частота слідування імпульсів f блоку живлення становила 35...1000 Гц. Для оцінки енерговнеску в розрядну плазму за допомогою шестиканального осцилографа БЛОП-04, ємнісного дільника та пояса Роговського реєструвались осцилограми струму, напруги та свічення. Потужність, що вноситься в плазму визначали за осцилограмами імпульсів напруги та струму [6]. За допомогою пристрою «Кварц-01» та оптичного фільтру УФС-1 вимірювалася абсолютна середня потужність випромінювання ексимерної лампи.

Результати експерименту

В експериментах були проведені дослідження оптичних характеристик плазми трибар’єрного розряду на основі двох незалежних двокомпонентних сумішей Kr-CCl_4 і Kr-SF_6 та на основі однієї трикомпонентної суміші $\text{Kr-SF}_6\text{-CCl}_4$. Спектри розряду представлені на рис. 3. Як видно у спектрі наведеному з поправкою на чутливість системи реєстрації, присутні смуги випромінювання 222 нм KrCl(B-X) та 248 нм KrF(B-X) . Яскравості смуг сумірні за величиною, що говорить про однакову ефективність каналів утворення ексимерних молекул. Для знаходження оптимальних оптичних характеристик дослідження проводились в широкому діапазоні тиску газів. Зокрема тиск інертного газу кріптоні варіювався в межах

6,67...66,67 кПа, галогеноносія CCl_4 – 0,07...0,4 кПа, а SF_6 – 0,13...1,33 кПа. Максимальна яскравість смуг 222 нм $\text{KrCl}(\text{B-X})$ та 248 нм $\text{KrF}(\text{B-X})$

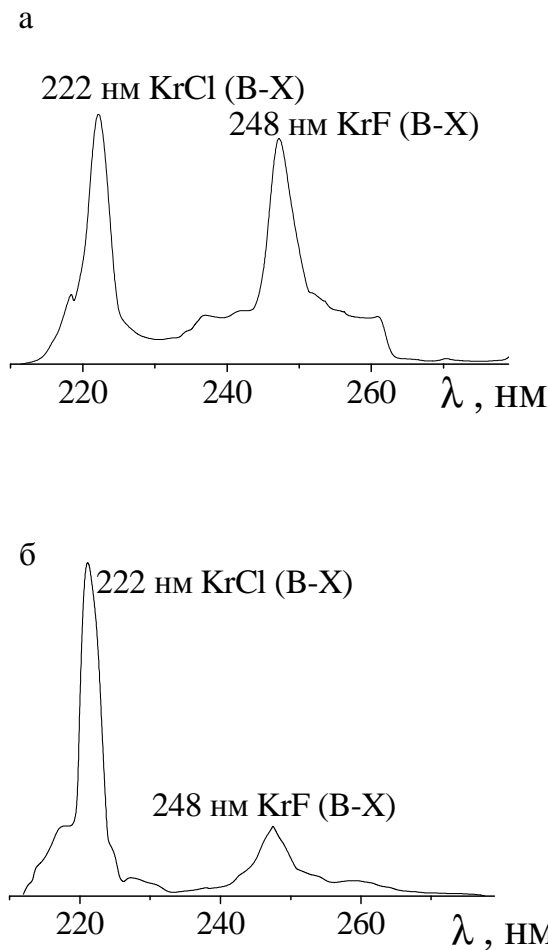


Рис. 3. Спектр випромінювання трибар'єрного розряду на сумішах: $\text{Kr-SF}_6=20-0,25$ кПа і $\text{Kr-CCl}_4=20-0,013$ кПа у двох об'ємах (а) та $\text{Kr-SF}_6\text{-Cl}_4=20-0,25-0,013$ кПа у одному об'ємі (б) при ($U_p=13$ кВ, $f=80$ Гц, $U_{\text{ФЭУ}}=660$ В).

отримана при тисках сумішей $\text{Kr-SF}_6=20-0,25$ кПа та $\text{Kr-CCl}_4=20-0,013$ кПа.

При збільшенні напруги від 13 до 20 кВ спостерігається лінійне зростання інтенсивності смуг (рис. 4), що підтверджують і абсолютні виміри потужності випромінювання. При напругах 17...20 кВ в розряді спостерігалися нитковидні мікроканали струму (рис. 2), що погіршувало однорідність розряду, тому найбільш ефективним засобом збільшення потужності випромінювання було збільшення частоти слідування імпульсів генератора, що в наших експериментах здійсню-

валось в діапазоні 35...1000 Гц. Отримані залежності (рис. 5) показують, що різкий ріст інтенсивності смуг спостерігається при частотах 400...1000 Гц.

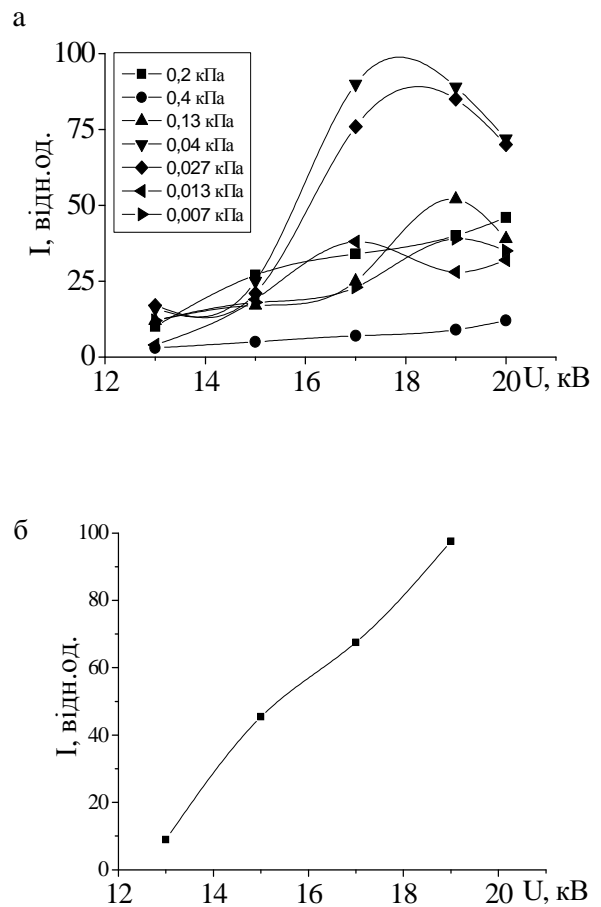


Рис. 4. Залежність відносної інтенсивності смуг випромінювання 222 нм KrCl на суміші $\text{Kr-CCl}_4=26,6$ -(тиски вказано для кожної кривої) кПа при $U_{\text{ФЭУ}}=460$ В, $f=80$ Гц (а) та 248 нм KrF на суміші $\text{Kr-SF}_6=21,3-0,1$ кПа при $U_{\text{ФЭУ}}=700$ В, $f=200$ Гц (б) від напруги на генераторі імпульсів.

Поряд з дослідженнями двокомпонентних сумішей Kr-CCl_4 і Kr-SF_6 у двох незалежних об'ємах для порівняння проводились експерименти на трикомпонентній суміші $\text{Kr-CCl}_4\text{-SF}_6$ при аналогічних тисках у одному об'ємі. Виявилось що інтенсивність смуги 222 нм $\text{KrCl}(\text{B-X})$ в три рази більша за смугу 248 нм $\text{KrF}(\text{B-X})$. Це свідчить про конкуренцію між каналами утворення ексимерних молекул KrCl та KrF . Тому з точки зору отримання керованих оптичних характеристик ексиламп перспективним є використання трибар'єрного розряду.

Висновки

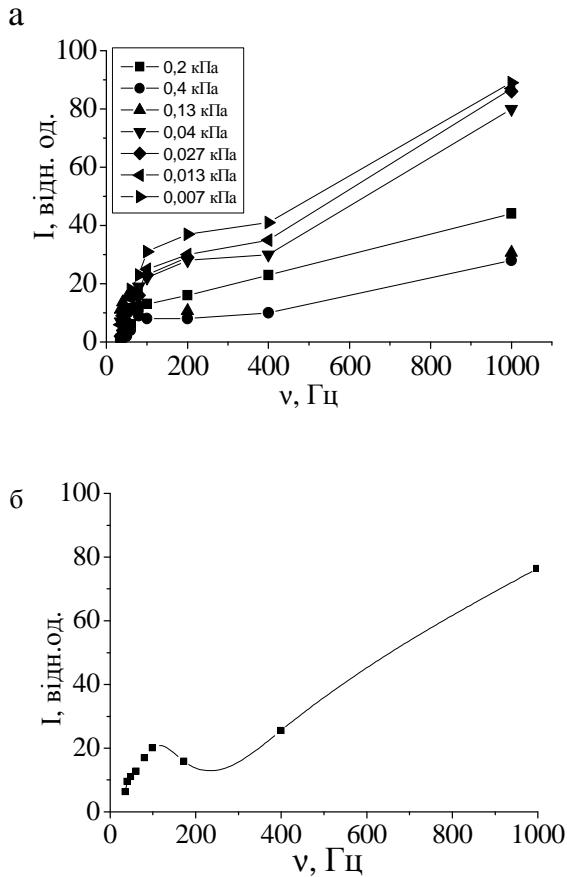


Рис. 5. Залежності відносної інтенсивності смуги випромінювання 222 нм KrCl (а) та 248 нм KrF (б) від частоти слідування імпульсів при умовах аналогічних до рис. 3.

Отримано свічення ексилампи на основі трибар'єрного розряду на сумішах Kr-SF₆ і Kr-CCl₄ (одночасно в окремих об'ємах) і Kr-SF₆-CCl₄ (в одному об'ємі) на смугах 222 нм KrCl(B_{1/2}-X_{1/2}) і 248 нм KrF(B_{1/2}-X_{1/2}). Середня потужність випромінювання ексилампи складала 0,1...0,5 Вт і була більшою у випадку розряду в окремих об'ємах ніж в розряді в одному об'ємі.

Встановлені залежності абсолютної та відносної інтенсивностей випромінювання смуг KrCl (222 нм) і KrF (248 нм) від напруги імпульсів збудження та частоти вказують, що збільшення частоти призводить до ефективнішого зростання інтенсивності випромінювання смуг ніж збільшення напруги на електродах. Таким чином, для збільшення потужності випромінювання ексилампи слід збільшувати частоту слідування імпульсів збудження, тоді як збільшення напруги призводить до появи неоднорідностей в розрядному проміжку.

Реєстрація спектрів випромінювання розряду при різних тисках компонент дозволила оптимізувати роботу ексилампи, виявивши максимальні яскравості смуг випромінювання при тисках сумішей Kr-SF₆=20-0,25 кПа і Kr-CCl₄=20-0,013 кПа.

Література

1. Ломаев М.И., Скакун В.С., Соснин Э.А., Тарасенко В.Ф., Шитц Д.В., Ерофеев М.В. Эксилампы – эффективные источники спонтанного УФ-и ВУФ-излучения // УФН. – 2003. – Т. 173. – №2. – С. 201-217.
2. Ломаев М.И. Соснин Э.А., Тарасенко В.Ф., Шитц Д.В., Скакун В.С., Ерофеев М.В., Лисенко А.А. Эксилампы барьерного и емкостного разрядов и их применение // ПТЭ. – 2006. – № 5. – С. 5-26.
3. Шуаибов А.К., Шимон Л.Л., Дашенко А.И., Шевера И.В. Многоволновый электроразрядный излучатель на системе полос 308 nm XeCl(B-X)/258 nm Cl₂(D-A)/ 236 nm XeCl(D-X)/ 222 nm KrCl(B-X)/ 175 nm ArCl(B-X)/ 160 nm (B-X) // ЖТФ. – 2001. – Т. 71. – Вып. 2. – С. 77-81.
4. Соснин Э.А., Захарова Э.А., Баталова В.Н. Применение эксилмп в аналитической химии // Заводская лаборатория. – 2005. – Т.71. – №8. – С. 18-24.
5. Лаврентьева Л.В., Мастерова Я.В., Соснин Э.А. УФ - инактивация микроорганизмов: сравнительный анализ методов // Вестник Томского государственного университета. Сер. «Биологические науки». Приложение. – 2003. – № 8. – С. 108–113.
6. Ломаев М.И. Определение энерговклада в эксилампах с возбуждением барьерным разрядом // Оптика атмосферы и океана. – 2001. – Т.14. – №11. – С. 1091-1095.

INVESTIGATION OF THE PULSE-PERIODIC THREE-BARRIER LAMP ON THE MIXTURES OF THE KRYPTON WITH THE CCl₄ AND SF₆ MOLECULES

Z.T. Homoki, A.J. Minya, I.V. Shevera, L.L. Shimon, A.K. Shuaibov

Uzhhorod national university, 88000, Uzhhorod, Pidgirna Str., 46

Results of the experimental study of optical and electric characteristics of a three-barrier discharge plasma operated with the Kr-SF₆(CCl₄) and Kr-SF₆-CCl₄ mixtures have been presented. In the spectra intensive radiation bands of the KrCl (222 nm) and KrF (248 nm) exciplex molecules were observed. The parameters optimization of the three-barrier exciplex lamp based on the dependences of the radiation bands intensities versus excitation voltage amplitude, pulses frequency, composition and partial pressures of the gas mixtures have been carried out.

Key words: UV lamps, barrier discharge, exciplex molecules, halogens, rare gases.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНО-ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ТРЕХБАРЬЕРНОЙ ЛАМПЫ НА СМЕСЯХ КРИПТОНА С МОЛЕКУЛАМИ CCl₄ И SF₆

**З.Т. Гомоки, А.И. Миня, И.В. Шевера, Л.Л. Шимон,
А.К. Шуаибов**

ГВУЗ «Ужгородский национальный университет», 88000, Ужгород, ул. Пидгирна, 46

Представлены результаты экспериментальных исследований оптических и электрических характеристик плазмы трехбарьерного разряда на смесях Kr-SF₆(CCl₄) и Kr-SF₆-CCl₄. В спектрах наблюдались интенсивные полосы излучения эксиплексных молекул KrCl (222 нм) и KrF (248 нм). На основании зависимостей интенсивностей полос излучения от амплитуды возбуждающего напряжения, частоты следования импульсов, состава и парциальных давлений газовых смесей проведена оптимизация параметров эксиплексной трехбарьерной лампы.

Ключевые слова: УФ лампы, барьерный разряд, эксиплексные молекулы, галогены, инертные газы.

