

## ЕМІСІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ІМПУЛЬСНОГО РОЗРЯДУ В СУМІШІ Хе-NaCl

І.О.Завізіон, Р.Б.Рійвес, Є.А.Світличний, Ю.В.Жменяк,  
В.А.Кельман, Ю.О.Шпеник

Інститут електронної фізики НАН України,  
вул. Університетська, 21, Ужгород, 88017  
e-mail: vkel@mail.uzhgorod.ua

Описано конструкцію й експлуатаційні параметри ексимерної лампи на суміші Хе – NaCl. Отримано емісійний спектр лампи, його часові характеристики. У спектрі домінує ексимерна смуга 308 нм ХеCl. Досліджено спектральний розподіл енергії у межах смуги та його залежність від умов експерименту. Обговорюється механізм збудження верхнього стану ексимерної молекули.

### Вступ

Джерела спонтанного ультрафіолетового (УФ) випромінювання мають широку сферу науково-технічних застосувань. Зокрема, ексимерні некогерентні лампи у ряді випадків можуть цілком успішно конкурувати з лазерними джерелами. Це насамперед такі галузі, як ініціювання фотохімічних та фотофізичних процесів (особливо фотолітографія), деструкція шкідливих органічних речовин. Як видається, особливо перспективними є застосування в медицині та екології, тобто у найбільш болючих нині областях, що безпосередньо визначають якість життя.

На даному етапі створено чимало зразків ексиламп, переважно на подвійних газових сумішах, що випромінюють на ексимерних переходах галогенідів інертних газів. Проте й надалі залишається актуальним пошук хімічного і парціального складу робочих сумішей та способів їх накачки для отримання максимальних ККД і потужності випромінювання таких ексимерних ламп.

З нашої точки зору, особливо привабливою є пропозиція, зроблена у роботі [1], де було виконано чисельне моделювання ексимерної ХеCl-лампи на подвійній су-

міші Хе – NaCl з накачкою жорстким іонізаторм пучкового типу. Було показано, що в оптимальних умовах збудження (тиск  $\sim 10$  Тор, питомий енерговклад  $\sim 60$ – $125$  Вт/см<sup>3</sup>, склад суміші Хе – NaCl 20:1) ККД лампи сягає величини 40%, а випромінювана енергія – 0,025 Дж/л.

Слід зазначити, що певним стимулом для постановки задачі про чисельне моделювання ексилампи зазначеного складу стали роботи [2, 3]. У них вперше на експерименті такий тип суміші було використано при інжекції NaCl у надзвуканий плазмовий потік. Було отримано ефективну люмінесценцію на переході 308 нм молекули ХеCl. Заселення збудженого стану ексимерної молекули відбувалося переважно, на думку авторів, за рахунок бінарних реакцій заміщення натрію в молекулі NaCl атомом чи іоном ксенону.

У даній роботі запропоновану в [1] суміш було використано для побудови ексилампи низького тиску зі збудженням поздовжнім високовольтним імпульсно-періодичним розрядом. Цей спосіб, вочевидь, має суттєві переваги як перед пучковим, так і перед плазмовим (у варіанті [2, 3]) для практичного використання. Окрім того, ми виділяємо як велику перевагу саме хімічний склад суміші Хе – NaCl, оскільки у ній використано як гало-

геоносії кухонну сіль, що за звичайних умов є нетоксичною речовиною.

### Техніка і методика експерименту

Дослідницька ексимерна лампа містить вакуумно-герметичну газорозрядну трубку (ГРТ) з плавленого кварцу внутрішнім діаметром 12 мм та довжиною міжелектродного проміжку 400 мм. Порошок кухонної солі NaCl високого ступеня очистки було розміщено безпосередньо вздовж ГРТ. Коаксіальні водоохолоджувані електроди, виготовлені з міді, вклясно з протилежних торців ГРТ. Виведення випромінювання з ексилампи здійснювалося через кварцові віконця. Необхідний температурний режим досягнуто з використанням одночасно саморозігрівання (за рахунок тепла, що виділяється розрядом) та зовнішнього резистивного нагрівача. Слід зазначити, що для отримання тиску насиченої пари NaCl 1 Тор необхідно забезпечити температуру внутрішньої стінки ГРТ не менш, аніж 1138 К [4].

Для збудження поздовжнього імпульсно-періодичного розряду в ексилампі було використано тиратронний генератор з комутатором ТГІІ-2000/35 та резонансним перезарядом накопичувальної ємності 1650 пФ.

Для реєстрації емісійних властивостей ексилампи застосовувалися монохроматор МДР-6, фотоприймачі ФЭУ-106, 14ЭЛУ16-ФС, вимірювач потужності ИМО-2Н, осцилограф С1-99.

### Результати та обговорення

Найбільш виразною рисою виконаних досліджень є те, що не тільки збудження пучкового типу, як це запропоновано в [1], але й накачка Хе-NaCl лампи імпульсно-періодичним розрядом призводить до ефективного УФ-випромінювання. На рис.1 наведено інтегрований у часі емісійний спектр ексилампи. Спектр обмежено ділянкою 290 – 340 нм. Частка

випромінюваної потужності поза межами цього діапазону є незначною. У спектрі домінує випромінювання ексимерної смуги 308 нм ХеCl. Окрім неї в межах зазначеного інтервалу присутні лінії атомарного натрію 330,2 + 330,3 нм (4р → 3s перехід), а також резонансні лінії атома міді 324,7 + 327,4 нм (4р → 4s перехід). У той час, як випромінювання натрію зумовлене хімічним складом робочої суміші, поява міді в розряді стимульована розпиленням мідних електродів іонним бомбардуванням та газотранспортними реакціями у присутності галогену. Така “чистота” спектру характерна для розрядів в інертних газах із домішкою металів, як, наприклад, і в лазерах на самообмежених переходах. У міру розігрівання з емісійного спектру в обох випадках поступово практично повністю зникають спектральні лінії інертних газів. Це явище зумовлене зменшенням температури електронів у розряді з підвищенням концентрації легкоіонізовуваних часток, зокрема атомів металів.

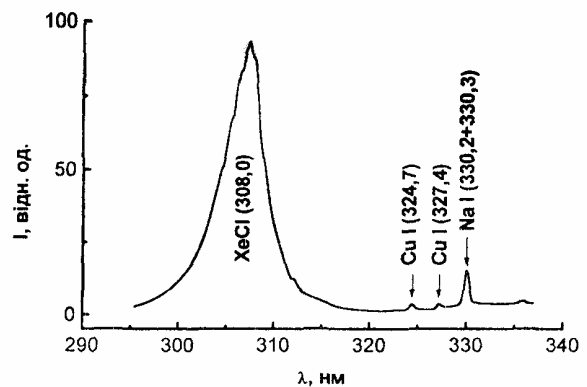


Рис. 1. Інтегрований у часі емісійний спектр ексилампи на суміші Хе-NaCl. Напруга на випрямлячі 5 кВ, тиск ксенону 20 Тор, частота 5 кГц, температура ГРТ 1023 К.

При встановленні плоского резонатора із дзеркалами з діелектричними покриттями, що мають коефіцієнти відбивання на довжині хвилі 308 нм 98 % (глухе) та 30 % (вихідне), характер спектрального розподілу випромінювання в межах ексимерної смуги не змінювався.

Зокрема, лишалась незмінною ширина смуги на піввисоті, яка складала, як і в циклі робіт [2, 3] із плазмовим джерелом,  $\sim 5$  нм, і була нечутливою до зміни умов експерименту. Це свідчить на користь того, що стимульоване випромінювання, як і очікувалося, було відсутнім через низький тиск суміші.

На рис.2 наведено часові форми імпульсів струму та ексимерної емісії. Тривалість струмового імпульсу по його основі становить 400 нс, а емісійного  $\sim 10$  мкс. І хоч ексимерна смуга розпочинає випромінювати одночасно з розвитком струму в ГРТ, переважна частка енергії припадає на післясвічення розряду. Та й максимальна потужність досягається вже на спаді імпульсу струму.

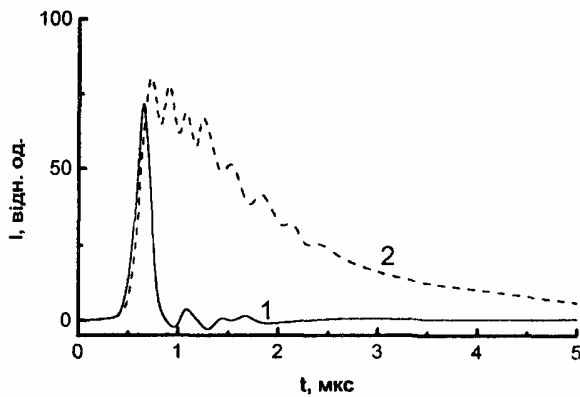
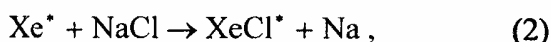
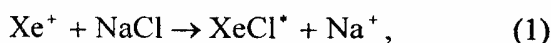


Рис. 2. Часові форми імпульсів струму (1) та ексимерної емісії (2). Умови експерименту ті ж, що й на рис.1.

Структура ексимерної смуги однозначно засвідчує, що молекули  $\text{XeCl}^*$  утворюються в нижніх коливних станах В-терма. Але в такому випадку до утворення ексимерної молекули можуть призводити тільки бінарні (за участі двох частинок) реакції заміщення типу



а не трьохчастинкова реакція іон-іонної рекомбінації. Константи швидкості вказаних реакцій у роботах [1–3] оцінено на рівні  $k = 10^{-10} - 10^{-9} \text{ см}^3/\text{с}$ . Хоч ця оцінка

є недостатньо точною, однак скористаємося її усередненим значенням  $\sim 5 \cdot 10^{-9} \text{ см}^3/\text{с}$ . За умови, що  $\text{Xe}^+$  та  $\text{Xe}^*$  вибувають із об'єму ГРТ виключно за рахунок реакцій накачки (1) та (2), отримуємо, що стала часу згасання інтенсивності ексимерної емісії у післясвіченні становитиме  $\tau = [kN(\text{NaCl})]^{-1} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ с}$ . У цьому співвідношенні  $N(\text{NaCl})$  – концентрація молекул кухонної солі (визначається температурою ГРТ). При всій наближеності ця оцінка непогано співпадає з експериментальними даними (рис.2), а тому є додатковим підтвердженням на користь того, що й у наших умовах накачка здійснюється реакціями заміщення.

Оцінку середньої потужності ексимерної емісії лампи було виконано на основі відповідних вимірів з боку одного з вікон ГРТ та врахування геометричного фактору. За умов експерименту: частота повторення імпульсів 5 кГц, напруга на випрямлячі 5 кВ, тиск ксенону 30 Тор, тиск парів  $\text{NaCl}$  0,1 Тор, – середня потужність спонтанного випромінювання ексимерів склала кілька ват за найобережнішими підрахунками. Слід зазначити, що ці результати отримано без будь-якої суттєвої оптимізації умов накачки. Між тим, є значний резерв у збільшенні потужності лампи за рахунок підвищення напруги зарядки накопичувальної ємності, частоти повторення імпульсів, оптимального складу й тиску робочої суміші. На майбутнє планується також застосувати неперервний тліючий розряд із метою створення ефективного неперервного джерела УФ-випромінювання на суміші  $\text{Xe} - \text{NaCl}$ .

## Висновки

Отже, для створення ексилампи на переході 308 нм молекули  $\text{XeCl}$  зі збудженням високовольтним імпульсно-періодичним розрядом використано суміш із нетоксичним галогенносієм  $\text{Xe} - \text{NaCl}$ . За оцінками, отримано середню потужність випромінювання ексимерної

смуги 308 нм ХеСl у кілька ват. Спектральний розподіл енергії у межах смуги та швидкість згасання інтенсивності ексимерної емісії у часі в післясвіченні

свідчать на користь того, що домінуючими в заселенні верхнього стану є бінарні реакції заміщення натрію в молекулі NaCl ксеноном.

### Література

1. А.М.Бойченко, Квантовая электроника 29, 163 (1999).
2. А.А.Алехин, В.А.Баринoв, Ю.В.Герасько, О.Ф.Костенко, Ф.Н.Любченко, А.В.Тюкавкин, ЖТФ 63, 43 (1993).
3. А.А.Алехин, В.А.Баринoв, Ю.В.Герасько, О.Ф.Костенко, Ф.Н.Любченко, А.В.Тюкавкин, ЖТФ 65, 9 (1995).
4. Таблицы физических величин. Под ред. И.К.Кикоина (Атомиздат, Москва, 1976).

## EMISSION PROPERTIES OF PULSED DISCHARGE IN Xe–NaCl MIXTURE

**I.O.Zavizion, R.B.Riyves, E.A.Svitlichniy, Yu.V.Zhmenyak,  
V.A.Kelman, Yu.O.Shpenik**

Institute of Electron Physics, Ukr. Nat. Acad. Sci.,  
Universytetska St. 21, Uzhhorod, 88017  
e-mail: vkel@mail.uzhgorod.ua

Construction and operating parameters of an excimer lamp working with Xe – NaCl mixture are described. Emission spectrum and its temporal behavior were measured. The 308-nm excimer band of ХеСl molecule is the most intensive. The spectral distribution of energy within the band and its dependence on the experimental conditions were investigated. The pumping mechanism of the excimer molecule upper state is discussed.