

# ОПТИМІЗАЦІЯ КОМПОНЕНТНОГО СКЛАДУ ГАЗОРОЗРЯДНОЇ HgBr-ЕКСИМЕРНОЇ ЛАМПИ

М.М. Гуйван, О.М. Малінін, Л.Л. Шимон

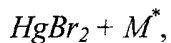
Ужгородський державний університет, 294000, Ужгород, вул. Підгірна 46

Проведені дослідження по оптимізації компонентного складу газорозрядної коаксіальної HgBr-ексимерної лампи. Виявлено, що інтенсивність випромінювання  $\lambda$  502 нм для сумішей складу  $HgBr_2:N_2:He$  та  $HgBr_2:Xe:N_2:He$  більша в 21.5 і 4.2 раза порівняно з сумішшю  $HgBr_2:He$ . Досягнуто саморозігрів робочої суміші за рахунок дисипації енергії розряду. Застосування одночасно поверхневого розряду та розряду через діелектрик приводить до збільшення середньої потужності випромінювання в 1.5 раза порівняно із застосуванням лише бар'єрного розряду. Для суміші  $HgBr_2:N_2:He$  середня потужність випромінювання ексилампи складає 6.8 мВт при частоті слідування імпульсів накачки 1900 Гц.

## Вступ

Газорозрядна HgBr-ексимерна лампа є новим джерелом високоефективного випромінювання у видимій ( $\lambda$  502 нм) області спектру. Результати досліджень характеристик такої лампи авторів [1,2] дозволяють надіятись на застосування їх в галузях біотехнології, медицини і різних світлотехнічних засобах.

Ряд експериментів та теоретичних розрахунків [3-6] дають підставу на поліпшення енергетичних характеристик ексилампи. Дослідження авторів [3] виявили сильну залежність випромінювання ексимерних молекул  $HgBr^*$  від енергії, що запасається на метастабільних енергетичних рівнях атомів інертних газів та молекулярного азоту в реакціях



де  $HgBr_2$  - дибромід ртуті,  $M^*$  - атоми та молекули в метастабільних станах.

Ця реакція приводить до збільшення емісії у видимій області на довжині хвилі  $\lambda$  502 нм (електронно-коливний перехід  $B^2\Sigma^+_{1/2} \rightarrow X^2\Sigma^+_{1/2}$  молекули  $HgBr^*$ ) в умовах робочого середовища ексимерної лампи. В роботах [4, 5] по дослідженню випромінювання в УФ та ВУФ областях спектру виявлено позитивну роль комбінованого розряду (повздовжній розряд по

поверхні та розряд через бар'єр (діелектрик)). Дана обставина також, ймовірно, повинна проявитись і для випромінювання у видимому діапазоні. Крім того, одним із факторів, який стримує широке застосування таких джерел випромінювання, є втрати зовнішнього джерела (до 50%) на створення необхідного парціального тиску парів  $HgBr_2$ , що суттєво знижує ККД. В зв'язку з цим виникає потреба зменшити ці втрати.

В даній роботі автори представляють дослідження по оптимізації компонентного складу HgBr-ексимерної лампи з врахуванням ролі метастабільних інертних газів та молекулярного азоту, комбінованого розряду і зменшення втрат енергії зовнішнього джерела на підігрів робочої суміші, які дозволили підвищити її енергетичні характеристики.

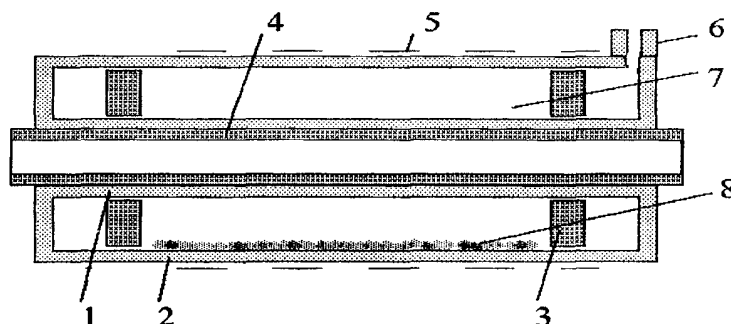
## Експериментальна установка. Методика вимірювань

Збудження випромінювання молекул  $HgBr$  ( $\lambda$  502 нм) проводилось в плазмі тліючого повздовжнього і бар'єрного розрядів в сумішах дибромиду ртуті і газів при атмосферних тисках.

Газорозрядна лампа (мал.1) по конструкції близька до запропонованої в роботі [4]. Коаксіально встановлені кварцові трубки 1 і 2 довжиною 20 см спаювались в

торцях. Зовнішні діаметри трубок складають 15 мм і 35 мм відповідно. Електроди 3, які мають форму кілець, виготовлені із нержавіючої сталі. Відстань між ними 18 см. В якості ввідів використані електроди лампи ДРТ-240, які вварювались в бокову поверхню кювети. Всередині кварцової трубки 1 встановлювалась металічна трубка 4. На зовнішньому діаметрі трубки 2 закріплювався перфорований електрод 5 з коефіцієнтом пропускання 72 %. Для відкачки і напуску газів в бокову

поверхню лампи вварювався патрубок 6 із кварцового скла, всередині в нього є капіляр діаметром  $\sim 1$  мм, який служить для зменшення виносу парів диброміду ртуті із кювети в систему відкачки. Товщина розрядної області і довжина горіння об'ємного розряду складають 7.5 мм і 9 см відповідно. Випромінювання виводиться із газорозрядної лампи нормально до поверхні зовнішньої кварцової трубки.



Мал.1. Конструкція ексімерної лампи.

1 - внутрішня кварцова трубка; 2 - зовнішня кварцова трубка; 3 - електроди; 4 - металічна трубка; 5 - сітка; 6 - патрубок для напуску газів та заправки солей; 7 - об'єм з робочою сумішшю; 8 - дибромід ртуті

При збудженні робочої суміші бар'єрним розрядом імпульс напруги прикладався між трубою 4 і перфорованим електродом 5, тоді як при використанні і бар'єрного, і поверхневого розрядів висока напруга подавалась на металічну трубку та один із електродів 3, а другий електрод 3 та сітка були заземлені.

На відміну від [2], парціальний тиск молекул  $HgBr_2$  досягається не з допомогою зовнішнього електронагрівного елемента, а за рахунок дисипації енергії розряду (частоти слідування імпульсів накачки  $f=400 \div 1900$  Гц). Це дозволило нам зменшити втрати енергії, а разом з тим збільшити ефективність лампи.

Збудження і саморозігрів газорозрядної плазми атмосферного тиску здійснювався генератором високовольтних наносекундних імпульсів з частотою повторення імпульсів (40-2000) Гц. В якості комутатора використовувався тиратрон ТГІ1-

1000/25. Охолодження тиратрона примусове, повітряне. Накопичувальна ємність  $C_H$  набиралась із малоіндуктивних конденсаторів КВИ-3 і рівна 6.8 нФ. Перезарядка накопичувальної ємності здійснюється через первинну обмотку підвищувачого трансформатора з коефіцієнтом трансформації 3, встановленого на виході генератора імпульсних напруг (ГІН).

Генератор дозволяє отримувати на виході напругу до 40 кВ з тривалістю імпульсів  $\sim 100$  нс.

Середня потужність випромінювання розряду вимірювалась приладом "Кварц-01". Оптичний сигнал ( $\lambda = 502$  нм, перехід  $B^2\Sigma_{1/2}^+ \rightarrow X^2\Sigma_{1/2}^+$  молекули  $HgBr^*$ ) після проходження діафрагми площею  $1 \text{ см}^2$  попадав на світлофільтр СЗС-16 з максимумом пропускання на довжині хвилі  $\lambda = 500$  нм, а потім на вимірювальну головку приладу.

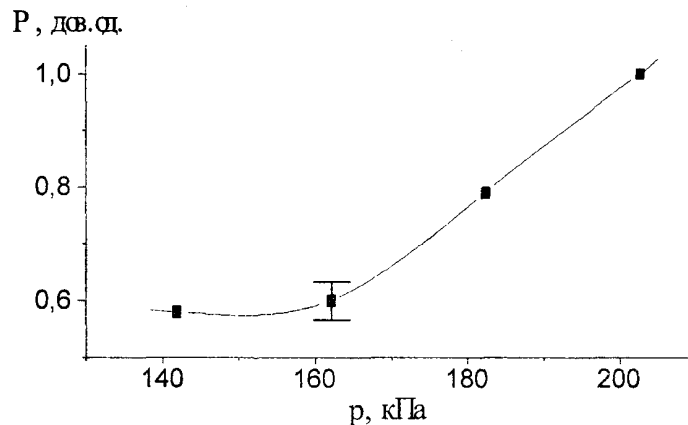
Інтегральні спектри випромінювання імпульсного розряду записувались самописцем КСП-4 з допомогою спектрального монохроматора ЗМР-3 і фотоелектронного помножувача типу ФЭУ-79.

Робочі суміші готувались безпосередньо в газорозрядній лампі при послідовному напуску важкого інертного газу або азоту і легкого буферного газу (гелію). Дибромід ртуті в кількості 10 мг попередньо завантажувався в робочий об'єм лампи. Обезгажування проводилось шляхом прогріву лампи при температурі  $50^{\circ}\text{C}$  та відкачки на протязі 2 годин.

### Результати та їх обговорення. Залежності інтенсивності випромінювання від складу суміші і умов накачки.

На мал.2-4 представлені результати досліджень в двох-, трьох- та чотирьохкомпонентних сумішах таких складів:  $\text{HgBr}_2:\text{He}$ ,  $\text{HgBr}_2:\text{N}_2:\text{He}$ ,  $\text{HgBr}_2:\text{Xe}:\text{He}$ ,  $\text{HgBr}_2:\text{Xe}:\text{N}_2:\text{He}$ .

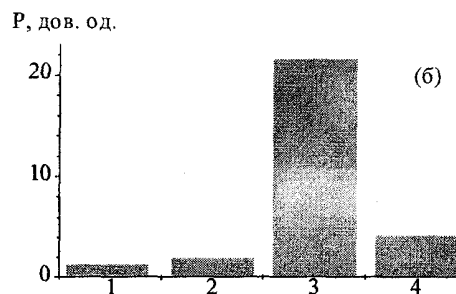
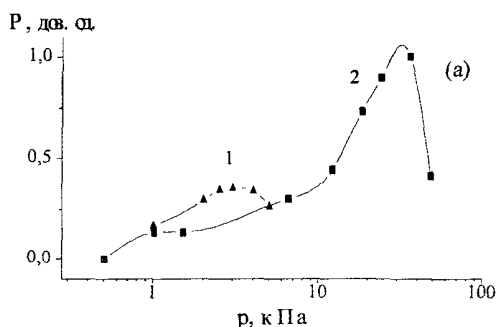
Середня потужність випромінювання розряду для всіх сумішей зростає із зростанням тиску гелію. Для суміші  $\text{HgBr}_2:\text{He}$  ріст тиску гелію до 200 кПа приводить до збільшення середньої потужності випромінювання в 1.7 раза порівняно з  $p_{\text{He}}=141$  кПа (мал. 2).



Мал.2. Залежність середньої потужності випромінювання від тиску гелію. Частота слідування імпульсів накачки 1000 Гц.

На мал. 3 приведені залежності середньої потужності випромінювання від вмісту ксенону та азоту в робочій суміші. Частота слідування імпульсів накачки складала 1000 Гц, напруга на газорозрядній трубці 18 кВ, загальний тиск газових компонент-121.6 кПа. Криві 1 і 2 на мал. 3,а ілюструють поведінку середньої потужності випромінювання молекул  $\text{HgBr}^*$  від добавки  $\text{Xe}$  та  $\text{N}_2$ . Для суміші  $\text{HgBr}_2:\text{Xe}:\text{He}$  максимальні потужності випромінювання досягались при тисках ксенону 2.03-4.05 кПа, тоді як для суміші  $\text{HgBr}_2:\text{N}_2:\text{He}$  - при тисках азоту 12.13-47.96 кПа. Оскільки для потрійних сумішей в обох випадках

спостерігалось збільшення середньої потужності випромінювання, то представляло інтерес проведення експерименту на чотирьохкомпонентній суміші  $\text{HgBr}_2:\text{Xe}:\text{N}_2:\text{He}$ . В газорозрядну трубку з дибромідом ртуті подавались  $\text{Xe}$  і  $\text{N}_2$  в кількостях, оптимальних для трьохкомпонентних сумішей, а потім напускався гелій до отримання повного тиску 121.6 кПа. Співвідношення між інтенсивностями для різних сумішей приведено на мал. 3,б. Середня потужність для чотирьохкомпонентної суміші більша, ніж для потрійної суміші з ксенонем, але менша, ніж для потрійної суміші з азотом.



Мал.3.(а) - залежність середньої потужності випромінювання від тиску ксенону (1) та азоту (2) в сумішах  $HgBr_2:Xe:He$  та  $HgBr_2:N_2:He$  відповідно. Загальний тиск газових компонент становить 121.6 кПа. (б) - співвідношення між інтенсивностями для різних сумішей: 1 -  $HgBr_2:He$ ; 2 -  $HgBr_2:Xe:He$ ; 3 -  $HgBr_2:N_2:He$ ; 4 -  $HgBr_2:Xe:N_2:He$ .

Відмітимо, що при дослідженні суміші з молекулярним азотом однорідність розряду зберігається до тиску азоту  $\approx 48$  кПа. При вищих тисках азоту появляється набір іскрових каналів, напрямлених радіально. Положення цих каналів постійно змінюється. Розряд стає пульсуючим. Для суміші ж із ксеноном при досягненні верхньої межі тисків ксенону ( $\sim 4$  кПа) іскрові канали напрямлені вздовж осі лампи.

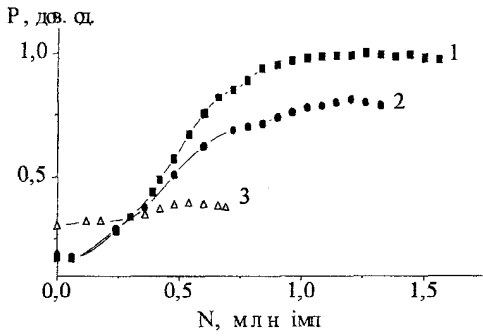
На мал. 4 приведені залежності середньої потужності випромінювання від числа імпульсів на одній порції робочої суміші. Ріст середньої потужності випромінювання більш інтенсивний для сумішей  $HgBr_2:N_2:He$  (криві 1,2), ніж для суміші  $HgBr_2:Xe:He$  (крива 3). І, разом з тим, при досягненні максимального значення середньої потужності випромінювання суміші з додавкою азоту ведуть себе більш стабільно, ніж суміші з додавкою ксенону. Так, для суміші  $HgBr_2:N_2:He$  при співвідношенні газових компонент  $N_2:He=1:4$  за  $8 \cdot 10^5$  імпульсів падіння потужності випромінювання не перевищувало 10%.

Крім досліджень оптимальних характеристик випромінювання від складу робочої суміші були проведені вимірювання залежності середньої потужності випромінювання від напруги накачки (мал. 5) та

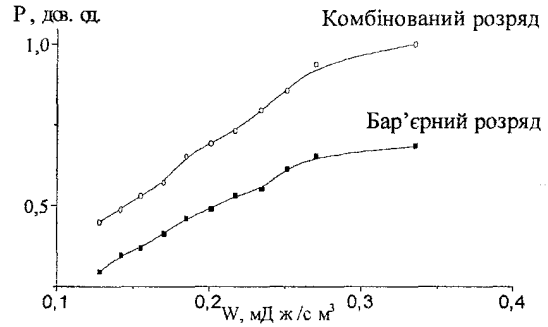
частоти слідування імпульсів. При збільшенні енергії, що запасається на ємності 0.06 нФ діелектрика (кварцове скло) від 0.13 мДж/см<sup>3</sup> до 0.34 мДж/см<sup>3</sup> пропорційно збільшується і середня потужність випромінювання. Це спостерігається і при зміні частоти слідування імпульсів від 400 до 1900 Гц. Насичення потужності від частоти в досліджуваному діапазоні не спостерігається. Для суміші  $HgBr_2:N_2:He$  при співвідношенні компонент  $N_2:He = 1:3$ , загальному тиску 121.6 кПа і частоті слідування імпульсів 1900 Гц досягається середня потужність випромінювання 6.8 мВт. При накачці лампи тільки бар'єрним розрядом середня потужність випромінювання була менша в 1.5 раза порівняно з накачкою одночасно бар'єрним і поверхневим розрядом.

#### Спектральні характеристики випромінювання

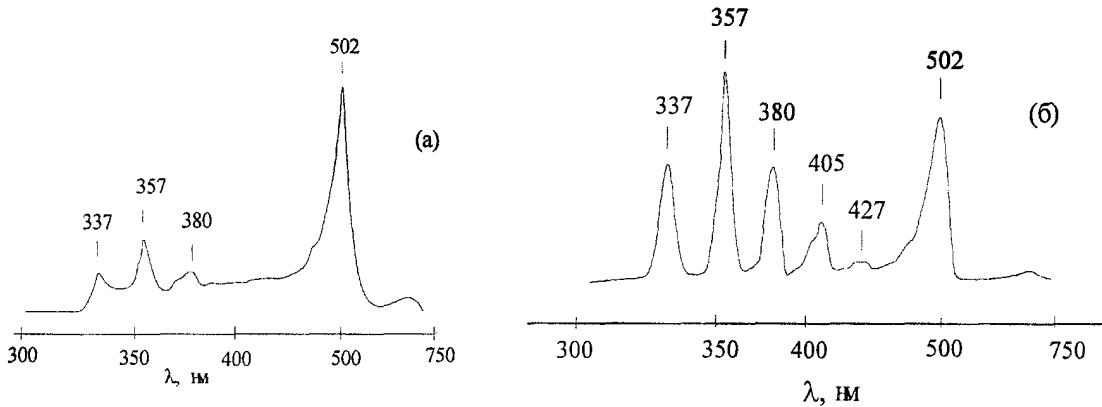
Спектри випромінювання ексимерної лампи на сумішах дибромиду ртуті з буферним газом гелієм та додавкою азоту вивчалися при таких умовах: тиск гелію 121.6 кПа, тиск азоту 12.1 - 30.4 кПа, напруга на лампі - 15-18 кВ, тривалість



Мал. 4. Залежність середньої потужності випромінювання від загальної кількості імпульсів. 1- суміш  $HgBr_2:N_2:He$  (співвідношення  $N_2:He = 1:4$ ); 2- суміш  $HgBr_2:N_2:He$  (співвідношення  $N_2:He = 1:5.67$ ); 3- суміш  $HgBr_2:Xe:He$  (співвідношення  $Xe:He = 1:39$ ); Загальний тиск 121.6 кПа. Частота слідування імпульсів накачки 1000 Гц.



Мал. 5. Залежність середньої потужності випромінювання від енергії, що запасється на ємності діелектрика.



Мал.6. Спектр випромінювання імпульсного розряду : (а) - суміш  $HgBr_2:He$ ; (б) - суміш  $HgBr_2:N_2:He$  (співвідношення  $N_2:He = 1:4$ ). Загальний тиск 121.6 кПа.

імпульсів накачки  $\sim 100$  нс, частота слідування імпульсів 1000 Гц, енергія, що запасється в робочій ємності 0.1 Дж. Спектри реєструвались при щілинах ЗМР-3 шириною 0.1 мм. Час запису в області 300-600 нм складав 10 хвилин.

На мал.6 приведені спектри випромінювання для сумішей  $HgBr_2:He$  та  $HgBr_2:N_2:He$ . По осі абсцис відкладені довжини хвиль в нанометрах, а по осі ординат - відносна інтенсивність випромінювання. Як видно із спектрів, для суміші  $HgBr_2:He$  найбільш інтенсивною є смуга  $\lambda = 502$  нм, що відповідає переходу  $B^2\Sigma^+_{1/2} \rightarrow X^2\Sigma^+_{1/2}$  молекули  $HgBr^*$ . Подібно до роботи [2], в якій спектри записувались при частоті слідування імпульсів

накачки  $f = 50$  Гц і застосовувався зовнішній підігрів робочої суміші, характерною ознакою цієї молекулярної смуги є крутий ріст інтенсивності з боку "червоної" ділянки спектру і повільніший спад в "ультрафіолетовій" області. Крім неї в спектрі присутні смуги азоту. Вони появляються внаслідок горіння розряду в повітрі між зовнішньою кварцовою трубкою та сіткою. Але їх інтенсивність набагато менша, ніж інтенсивність смуги  $\lambda = 502$  нм. Зовсім іншу картину спостерігаємо в спектрі випромінювання суміші  $HgBr_2:N_2:He$ . Додаток азоту приводить як до появи в спектрі інтенсивних смуг другої позитивної системи  $N_2$  (перехід  $C^3\Pi_u \rightarrow B^3\Pi_g$ ) з максимумами на довжинах

хвиль 337 нм, 357 нм, 380 нм, 405 нм, 427 нм, так до підсилення інтенсивності випромінювання смуги  $\lambda = 502$  нм в 10-20 разів залежно від вмісту азоту. Таким чином, додавши до робочої суміші молекулярний азот ми, по суті, отримали ширококутну лампу, яка випромінює не лише у видимому діапазоні довжин хвиль, але і в УФ області.

#### Заключення

Отже, експериментальні дослідження по оптимізації енергетичних характеристик *HgBr*- ексимерної лампи при зміні складу робочої суміші і умов накачки в широкому діапазоні виявили наступне: лінійний ріст середньої потужності випромінювання ( $\lambda 502$  нм) від частоти слі-

дування імпульсів накачки в межах 400-1900 Гц; суміші складу *HgBr<sub>2</sub>:Xe:N<sub>2</sub>:He* та *HgBr<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>:He* є оптимальними по середній потужності випромінювання і ККД; інтенсивність випромінювання молекул *HgBr\** залежно від вмісту азоту в 10-20 разів більша для суміші *HgBr<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>:He* порівняно з *HgBr<sub>2</sub>:He*. На робочій суміші *HgBr<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>:He* при співвідношенні компонент  $N_2:He = 1:3$ , загальному тиску 121.6 кПа і частоті слідування імпульсів 1900 Гц досягнута середня потужність випромінювання 6.8 мВт. Ресурс суміші складає більш, ніж  $5.4 \cdot 10^7$  імпульсів. Ці характеристики *HgBr*- ексимерної лампи на даний час є найвищі.

1. V. Eliasson, B. Gellert. J. Appl. Phys. 68(5), 2026-2037, (1990).
2. Malinin A.N. Laser Physics. 7, №5,1032-1040, (1997).
3. E.J. Schimitchek, 1981, Proc. Conf. Lasers and Electroopt. (Washington), ThB2, 1-4.
4. В.А. Визирь, В.С. Скакун, Г.В. Смогудов, Э.А. Соснин, В.Ф. Тарасенко,

- Е.А. Фомин, В.В. Червяков. Квантовая электроника. 22, №5,519-522, (1995).
5. В.М. Борисов, В.А. Водчиц, А.В. Ельцов, О.В. Христофоров. Квантовая электроника, 25, №4,308-314, (1998).
6. Malinin A.N. Laser Physics. 8, №2,395-406, (1998).

## OPTIMIZATION OF COMPONENT COMPOUND OF THE GAS-DISCHARGE HgBr-EXCIMER LAMP

N.N.Guivan, A.N. Malinin, L.L. Shimon

Uzhgorod State University, Pidgirna str. 46, Uzhgorod, 294000 Ukraine

Investigations on optimization of component compound of the gas-discharge coaxial HgBr- excimer lamp have been carried out. It was detected, that for the mixtures of *HgBr<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>:He*, *HgBr<sub>2</sub>:Xe:N<sub>2</sub>:He* compound radiation intensity of  $\lambda 502$  nm more by a factor of 21.5 and 4.2 in comparison with the *HgBr<sub>2</sub>:He* mixture, respectively. Was attained warming up of a working mixture at the expense of a discharge energy dissipation. The application simultaneously of a surface and barrier discharges gives the increase in the average power of radiation by a factor of 1.5 in comparison with usage only of barrier discharge. For the *HgBr<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>:He* mixture the mean radiation power of excilamp was equal 6.8 mW at the pump pulse repetition frequency of 1900 Hz.