

ОПТИМІЗАЦІЯ ОПТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОБОЧИХ СУМІШЕЙ HgBr ТА HgCl ЕКСИЛАМП

М. М. Гуйван, О. М. Малінін, Л. Л. Шимон
Ужгородський національний університет,
вул. Підгірна, 46, 88000, Ужгород
(Отримано 9 липня 2001 р.)

Досліджено оптичні характеристики HgBr та HgCl ексилламп у сумішах $HgX_2:R$ ($X = Br, Cl, R = He, Ne, Xe, N_2$) залежно від парціальних тисків буферних газів, парів дигалогенідів ртуті та тривалості роботи. Виявлено оптимальні умови люмінесценції ексимерних молекул HgBr* та HgCl* при збудженні бар'єрним розрядом із частотою повторення імпульсів накачки 1000 Гц. Дано рекомендації щодо отримання тривалої роботи ($\sim 10^7$ імпульсів) ексимерних ламп.

Ключові слова: ексимерна лампа, випромінювання, монобромід ртуті, монохлорид ртуті, оптимальні умови.

PACS number(s): 42.72.Bj, 33.50.Dq, 52.80.Tn

I. ВСТУП

Останнім часом значно збільшився інтерес до вивчення газорозрядних некогерентних джерел випромінювання, які працюють на електронно-коливних переходах ексимерних молекул, а саме, ексимерних ламп [1–4]. Це пов'язано насамперед з їхньою можливістю давати потужне (~ 75 кВт) випромінювання великої площі (~ 100 см²) з ККД більшим, ніж 10 процентів, що вже знайшло застосування в різних галузях науки й техніки [3–5]. У видимому діапазоні досить перспективним є використання випромінювання ексимерних молекул моноброміду та монохлориду ртуті (HgBr* та HgCl*) з довжинами хвиль $\lambda = 502$ нм і $\lambda = 557$ нм відповідно. Джерела випромінювання на основі цих молекул можна застосовувати для накачки твердотільних лазерів, лазерів на органічних барвниках, активних середовищ на основі забарвлених полімерів, в агрофізиці для збільшення ефективності збудження молекул хлорофілу.

Теоретичні розрахунки [6] виявили, що ККД збудження моногалогенідів ртуті в суміші “дигалогенід ртуті-інертний газ” може досягати 20 процентів. Однак існують труднощі, що не дозволяють отримати вказане значення ККД. Зокрема втрата потужності зовнішнього джерела для створення необхідного парціального тиску парів дигалогенідів ртуті, невизначеність у можливостях підбору найефективнішого компонентного складу робочих сумішей за інтенсивністю випромінювання ексимерних молекул. Розв'язання вказаних проблем можливе шляхом оптимізації збудження моноброміду та монохлориду ртуті в умовах плазми високочастотного розряду на сумішах дигалогенідів ртуті з інертними та іншими газами. Слід відзначити, що задача оптимізації середовища за складом та загальним тиском є однією з найважливіших та найскладніших [7].

У цій праці подано дослідження залежностей інтенсивності випромінювання ексимерних молекул HgBr та HgCl від парціальних тисків компонентів робочих

сумішей $HgX_2:R$ ($X = Br, Cl, R = He, Ne, Xe, N_2$) та кількості імпульсів накачки. На основі цих даних виявлено оптимальні умови збудження моногалогенідів ртуті залежно від компонентного складу та тривалості роботи ексимерних HgBr та HgCl ламп $\sim 10^7$ імпульсів.

II. ТЕХНІКА ЕКСПЕРИМЕНТУ

Збудження робочих сумішей HgBr і HgCl ексимерних ламп здійснювали розрядом через діелектрик-кварцове скло. Він дозволяє мати значну площу однорідного випромінювання й отримувати інтенсивні молекулярні смуги ексимерних молекул [8,9]. Ексимерна лампа (рис. 1) виготовлена з кварцової трубки 2 діаметром 34 мм і довжиною 200 мм. Уздовж осі трубки 2 на відстані 15 мм розміщені два вольфрамові електроди 4 діаметром 5 мм. Один із них (заземлений) поміщений у кварцову трубку 3 діаметром 9 мм. Для утримання високовольтного електрода в нерухомому стані в торці трубки 2 була приварена кварцова трубка діаметром 9 мм. Генератор наносекундних високовольтних імпульсів (ГІН) з'єднали з високовольтним електродом 4 за допомогою вводу 1, яким був електрод лампи ПРК-4. Патрубок 6 із кварцового скла, усередині якого є капіляр діаметром 0.5 мм, що зменшував вихід парів дигалогенідів ртуті з робочого об'єму 5 в систему відкачки і газонаповнення, слугував для відкачування ексилламп та напуску газів.

Накачку ексимерної лампи здійснював ГІН, що був зібраний на основі тиратронного комутатора ТГИ2-130/10 [10]. Питомий енерговнесок у робочий об'єм розряду $0.2 \times 1.5 \times 20$ см дорівнював 55 мДж/см³. Вихідна напруга генератора становила 30–40 кВ при тривалості імпульсів та частоті повторення 50 нс і 1000 Гц відповідно.

Дослідження залежності інтенсивності випромінювання від компонентного складу середовища, па-

раметрів накачки та ресурсу роботи суміші проводили за допомогою системи реєстрації, у яку входили: спектральний монохроматор ЗМР-3, фотоелектронний помножувач ФЭУ-79, підсилювач електричних сигналів У1-2 [11].

Парціальний тиск парів диброміду та дихлориду ртуті визначали за температурою найхолоднішої точки газорозрядної кювети лінійною інтерполяцією довідкових даних праці [12].

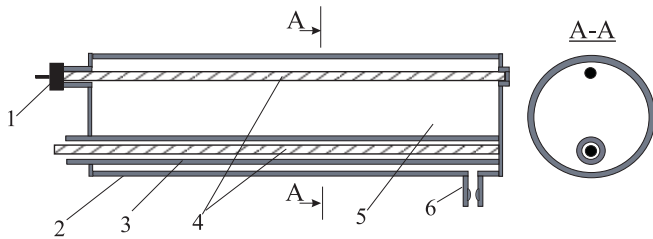


Рис. 1. Газорозрядна кювета: 1 — високовольтний ввід; 2 — кварцова трубка Ø 34 мм; 3 — кварцова трубка Ø 9 мм; 4 — робочі електроди; 5 — об'єм з робочою сумішшю; 6 — патрубок для відкачки та напуску газів.

III. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Дослідження залежності випромінювання молекул HgBr^* і HgCl^* від умісту компонентів суміші та тривалості роботи потрібні для оптимізації оптичних, енергетичних характеристик випромінювання газорозрядних джерел, робочим середовищем яких є суміші парів HgBr_2 , HgCl_2 , інертних газів та азоту.

Експерименти проводили так: спектральний монохроматор настроювали на довжину хвилі $\lambda = 502$ нм або $\lambda = 557$ нм, при цьому розміри щілин вибирали з розрахунку реєстрації практично всієї інтенсивності системи спектральних смуг випромінювання. Діапазон зміни тисків інертних газів, азоту та парів дигалогенідів ртуті: 4–140 кПа, 4–110 кПа, 13.3–4000 Па відповідно. При таких умовах значення параметра E/p (E — напруженість електричного поля, p — загальний тиск суміші) оптимальні для проходження збудження ексімерів у газорозрядній плазмі на робочих сумішах [6]. Відносна похибка вимірів інтенсивності випромінювання становила 5 процентів.

На рис. 2, 3 подано результати експериментальних досліджень залежності інтенсивності випромінювання ексімерів HgBr^* та HgCl^* від умісту компонентів суміші. Як видно з рис. 2, інтенсивне випромінювання молекул HgBr^* і HgCl^* спостерігаємо в широкій ділянці парціальних тисків гелію та неону 60–105 кПа (залежності 1, 2, 4, 5), а в ділянці великих тисків ксенону та азоту інтенсивність помітно зменшується (залежності 3, 6). Максимум випромінювання в сумішах із ксеномом та азотом помічаємо в межах діапазону парціальних тисків 10–40 кПа.

Найбільшу інтенсивність випромінювання ексімерних молекул HgBr^* та HgCl^* зауважуємо в сумішах парів HgBr_2 або HgCl_2 з буферним газом гелієм.

При збільшенні парціальних тисків дигалогенідів ртуті інтенсивності випромінювання спочатку зростають, досягають насичення, а потім спадають. Ділянка максимальної інтенсивності випромінювання знаходиться для HgBr^* при 0.4–0.9 кПа, а для HgCl^* у межах 0.7–3.5 кПа (рис. 3).

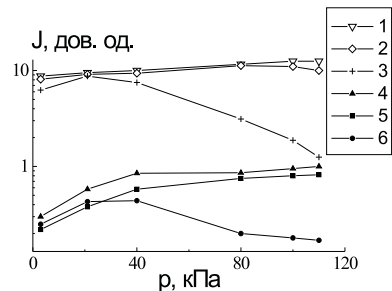


Рис. 2. Залежності інтенсивності випромінювання ексімерних молекул HgBr^* ($\lambda = 502$ нм) і HgCl^* ($\lambda = 557$ нм) від парціального тиску буферного газу при $f = 1000$ Гц для сумішей: 1 — $\text{HgBr}_2:\text{He}$; 2 — $\text{HgBr}_2:\text{Ne}$; 3 — $\text{HgBr}_2:\text{Xe}$; 4 — $\text{HgCl}_2:\text{He}$; 5 — $\text{HgCl}_2:\text{Ne}$; 6 — $\text{HgCl}_2:\text{N}_2$. Тиск насичених парів HgBr_2 — 0.6 кПа, HgCl_2 — 1 кПа.

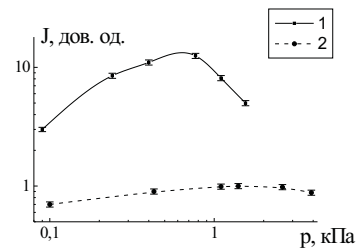


Рис. 3. Залежності інтенсивності випромінювання ексімерних молекул HgBr^* ($\lambda = 502$ нм) і HgCl^* ($\lambda = 557$ нм) від парціального тиску насичених парів HgBr_2 та HgCl_2 при $f = 1000$ Гц: 1 — суміш $\text{HgBr}_2:\text{He}$; 2 — суміш $\text{HgCl}_2:\text{He}$. Тиск гелію — 110 кПа.

Поведінку залежностей інтенсивності випромінювання розряду від парціальних тисків гелію, неону, ксенону та азоту пояснюємо так.

Інтенсивність спонтанного випромінювання $J_{v'v''}$ за відсутності поглинання пропорційна заселеності $N_{v'}$ верхнього рівня та ймовірності переходу (квадрата абсолютного значення матричного елемента дипольного моменту $R_{v'v''}$) [13]:

$$J_{v'v''} \sim N_{v'} |R_{v'v''}|^2, \quad (1)$$

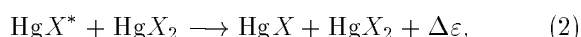
де $R_{v'v''} = \int \Psi_{v'} \mathbf{P} \Psi_{v''} dr$, $\Psi_{v'}$, $\Psi_{v''}$ — власні хвильові функції станів з енергіями $E_{v'}$ та $E_{v''}$, \mathbf{P} — дипольний момент системи.

Заселеність $N_{v'}$ залежить від процесів заселення, спустошення рівня й параметра E/p . Ефективність

процесів заселення та гасіння $B^2\Sigma_{1/2}^+$ — стану ексимерних молекул HgBr і HgCl — визначаємо константами швидкості k_d і k_r відповідно. Значення k_d для сумішей дигалогенідів ртуті з гелієм у діапазоні E/p , який збігається з експериментом, більші, ніж для сумішей з неоном [6]. Процес гасіння люмінесценції молекул HgBr* та HgCl* інертними газами слабо впливає на заселеність, тому що константи швидкості відповідного процесу мають малі значення $\approx 10^{-13} - 10^{-14}$ см³/с [14,15]. Унаслідок цього заселеність верхнього рівня, а отже й інтенсивність випромінювання для сумішей з гелієм, буде більша при однаковому енерговнеску. Окрім того, як показують результати чисельного розрахунку [6] для сумішей з гелієм та неоном, внесок потужності розряду в канал збудження залежить від значень параметра E/p , що в підсумку приводить до перерозподілу заселеності $B^2\Sigma_{1/2}^+$ -стану ексимерних молекул HgBr і HgCl.

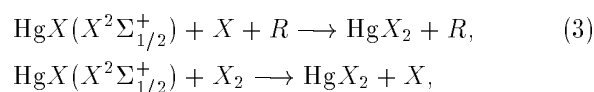
Більші затрати енергії електронів на збудження та йонізацію ксенону, збудження численних коливних рівнів молекули азоту [16], а також більші значення констант швидкості гасіння $B^2\Sigma_{1/2}^+$ -стану ксеноном і молекулярним азотом [17] приводять до відмінності в поведінці інтенсивностей випромінювання в сумішах з Xe та N₂ щодо інтенсивності випромінювання в сумішах з He та Ne.

Залежності інтенсивності випромінювання ексимерних молекул від парціального тиску диброміду або дихлориду ртуті (рис. 3) можна пояснити так. При зростанні парціального тиску парів дигалогенідів ртуті збільшується концентрація молекул HgBr* та HgCl* у збудженому $B^2\Sigma_{1/2}^+$ -стані. Це зумовлює збільшення інтенсивності випромінювання. Потім хід залежностей пояснюється тим, що ефективніше відбувається процес гасіння люмінесценції ексимерних молекул дигалогенідами ртуті [18], для якого константи швидкості мають значення $\approx 10^{-10}$ см³/с:



де $X = \text{Br}, \text{Cl}$; $\Delta\varepsilon$ — енергія, яка не витрачається на випромінювання електронно-коливного переходу $B \rightarrow X$ молекул HgBr* та HgCl*.

Дослідження ресурсних характеристик робочих сумішей виявили, що при загальному тиску сумішей ~ 120 кПа протягом $9 \cdot 10^6$ імпульсів практично не відбувалася деградація диброміду чи дихлориду ртуті, а при малих загальних тисках ($p \leq 15$ кПа) спостерігаємо незначний ресурс роботи газорозрядної кювети ($\sim 10^4$ імпульсів). При малому тиску буферного газу збільшується час між зіткненнями і відповідно більше залишається моногалогенідів ртуті в основному стані. При наступних зіткненнях з повільними електронами це приводить до дисоціації молекул HgX на атоми ртуті й галогену. Деградація робочої суміші проходить унаслідок порушення рівноваги між кількістю молекул дигалогенідів ртуті, що дисоціюють, та кількістю молекул моногалогенідів ртуті, що асоціюють у процесах [19]



де R — буферний газ.

IV. ВИСНОВКИ

У результаті дослідження залежності інтенсивності випромінювання ексимерних молекул моноброміду та монохлориду ртуті від парціальних тисків буферних газів і парів диброміду та дихлориду ртуті встановлено оптимальні умови збудження молекул моноброміду та монохлориду ртуті, при яких інтенсивність випромінювання цих молекул найбільша (частота повторення імпульсів накачки $f = 1000$ Гц).

Різницю в поведінці інтенсивності випромінювання розряду від парціальних тисків буферних газів і дигалогенідів ртуті пояснюємо залежністю заселеності верхнього рівня ($B^2\Sigma_{1/2}^+$) ексимерних молекул HgBr* та HgCl* від констант швидкості процесів заселення та гасіння, а також різним внеском потужності розряду в процес збудження залежно від параметра E/p .

Для отримання тривалої роботи ($> 10^7$ імпульсів) HgBr, HgCl ексиламп потрібно використовувати робочі суміші при загальному тиску ≥ 120 кПа.

[1] А. А. Кузнецов, В. С. Скакун, В. Ф. Тарасенко, Е. А. Фомиц, Письма журн. тех. физ. **19**, 5, 1 (1993).
 [2] Н. Furusawa, S. Okada, M. Obara, Appl. Phys. Lett. **66**, 1877 (1995).
 [3] В. М. Борисов, В. А. Водчиц, А. В. Ельцов, О. Б. Христофоров, Квант. электрон. **25**, 4, 308 (1998).
 [4] В. А. Визирь, В. С. Скакун, Г. В. Смородов, Э. А. Сосниц, В. Ф. Тарасенко, Е. А. Фомиц, В. В. Червяков, Квант. электрон. **22**, 5, 519 (1995).
 [5] В. К. Беликова, Л. И. Мац, *Изменение иммунологических реакций организма. УФ излучение. Сб. 3* (Медгиз, Москва, 1960).

[6] A. N. Malinin, Laser Phys. **8**, 2, 395 (1998).
 [7] И. С. Лакоба, С. И. Яковленко, Квант. электрон. **7**, 677 (1980).
 [8] Г. А. Волкова, Н. Н. Кирилова, Е. Н. Павловская, А. В. Яковлева, Журн. прикл. спектроскоп. **41**, 4, 691 (1984).
 [9] В. Н. Ищенко, В. Н. Лисицин, А. А. Сорокин, Квант. электрон. **5**, 4, 788 (1978).
 [10] A. N. Malinin, Laser Phys. **7**, 5, 1032 (1997).
 [11] А. Н. Малинин, Н. Н. Гуйван, Л. Л. Шимон, Опт. спектроскоп. **89**, 905 (2000).
 [12] А. И. Ефимов, Л. П. Белорукова, И. В. Василькова,

- В. П. Чечев, *Свойства неорганических соединений*. (Химия, Ленинград, 1983).
 [13] М. А. Ельяшевич, *Атомная и молекулярная спектроскопия* (Гос. изд. физ. мат. лит., Москва, 1962).
 [14] J. G. Eden, *Appl. Phys. Lett.* **33**, 6, 495 (1978).
 [15] С. Roxlo, А. Mandl, *J. Chem. Phys.* **72**, 1, 541 (1980).
 [16] Л. М. Биберман, В. С. Воробьев, И. Т. Якубов, *Кинетика неравновесной низкотемпературной плазмы* (Наука, Москва, 1982).
 [17] А. Mandl, J. J. Parks, С. Roxlo, *J. Chem. Phys.* **72**, 1, 504 (1980).
 [18] А. Н. Малинин, А. К. Шуайбов, *Опт. спектроскоп.* **52**, 3, 487 (1982).
 [19] А. С. Erlandson, Т. А. Cool, *Chem. Phys. Lett.* **96**, 6, 685 (1983).

OPTIMIZATION OF THE OPTICAL CHARACTERISTICS OF THE WORKING MIXTURES HgBr AND HgCl EXCILAMPS

М. М. Guivan, А. N. Malinin, L. L. Shimon
Uzhgorod National University
 46 Pidgirna Str., Uzhgorod, 88000, Ukraine
 E-mail: guivan@iss.univ.uzhgorod.ua

The optical characteristics of the HgBr and HgCl excilamps in the $HgX_2:R$ ($X = Br, Cl, R = He, Ne, Xe, N_2$) mixtures depending on partial pressures of buffer gases, mercury dihalides vapors and time of the performance are investigated. The optimal conditions of luminescence of the HgBr* and HgCl* excimer molecules have been revealed at excitation by barrier discharge with the pump pulse repetition frequency of $f = 1000$ Hz. The guidelines concerning obtaining a long-duration operation ($\sim 10^7$ pulses) of excimer lamps are given.