

ЧИСЕЛЬНА ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРЦІАЛЬНИХ ТИСКІВ РОБОЧОЇ СУМІШІ ЕКСИМЕРНОЇ HgBr/HgI ЛАМПИ

А.В. Поляк, М.М. Гуйван, О.М. Малінін

Ужгородський національний університет, Підгірна 46, 88000, Ужгород, Україна

E-mail: mal@iss.univ.uzhgorod.ua

Розроблено метод чисельної оптимізації парціальних тисків робочих сумішей ексімерних ламп видимого спектрального діапазону на основі розрахунку залежності заселеності $B^2\Sigma_{1/2}^+$ стану моногалогенідів ртуті (HgBr* та HgI*) від параметру E/p (E - напруженість поля, p - загальний тиск суміші). Приведені результати розрахунку парціальних тисків компонент робочої суміші (He, парів HgBr₂ та HgI₂) для HgBr/HgI ексімерної лампи, які зменшують матеріальні та часові витрати при розробці та виготовленні взірця лампи.

Чисельна оптимізація парціальних тисків робочої суміші ексімерної лампи проводиться на основі розрахунку заселеності $B^2\Sigma_{1/2}^+$ -стану моногалогенідів ртуті [1]. Суть методу полягає в тому, що розраховуються заселеності верхнього робочого рівня моногалогенідів ртуті в газорозрядній плазмі ексімерної лампи в залежності від параметру E/p для раніше відомого (із експерименту) оптимального співвідношення парціальних тисків компонент робочої суміші з врахуванням густини струму в лампі, оптимізація якої проводиться. Далі з необхідних значень напруги на лампі визначається оптимальний парціальний тиск дигалогенідів ртуті та буферних газів (гелію або неону).

Заселеності $B^2\Sigma_{1/2}^+$ - стану моногалогенідів ртуті HgBr* і HgI* в залежності від величини параметру E/p розраховувались із кінетичного рівняння (1) для населеності цього стану на основі визначеного механізму його збудження та розпаду [2-4]:

$$\frac{d[\text{HgX}^*]}{dt} = k_0[\text{HgX}_2][N_e] - ([\text{HgX}^*]/\tau_{\text{HgX}^*}) - k_2[\text{HgX}^*][\text{HgX}_2], \quad (1)$$

де $[\text{HgX}^*]$, $[\text{HgX}_2]$, $[N_e]$ - концентрації HgX^* ($X=\text{Br}, \text{I}$), HgX_2 і електронів, k_0 - константа швидкості дисоціації молекул HgX_2 електронним ударом, τ_{HgX^*} - радіаційний час життя HgX^* , k_2 - константа швидкості гасіння HgX^* .

Перший доданок рівняння (1) визначає швидкість заселення $B^2\Sigma_{1/2}^+$ - стану за рахунок дисоціативного збудження електронами, другий - розпад $B^2\Sigma_{1/2}^+$ - стану за рахунок спонтанних радіаційних переходів і третій - гасіння при зіткненні молекул HgX^* в $B^2\Sigma_{1/2}^+$ - стані з молекулами HgX_2 .

Процентний склад робочої суміші диброміду або дийодиду ртуті з гелієм вибирався з оптимальних умов наближення до найбільш ефективних складів сумішей по енергетичним характеристикам випромінювання розряду, що були отримані експериментально в газорозрядних ексімерних лампах [5-7], а саме: співвідношенні HgBr₂ (HgI₂):He = 0.5:99.5 при загальному тиску суміші 115 кПа, ступінь іонізації газорозрядної плазми $\leq 10^{-6}$.

Для квазістаціонарного випадку з рівняння (1) можна отримати вираз для населеності

$$[\text{HgX}^*] = (k_0 [\text{HgX}_2] N_e) / (\tau_{\text{HgX}^*}^{-1} + k_2 [\text{HgX}_2]) \quad (2)$$

Режим імпульсного розряду можна вважати квазістаціонарним, якщо тривалість збуджуючого імпульсу буде більша характерних часів процесів, що впливають на концентрацію збуджених молекул HgBr^* та HgI^* . Для нашого випадку цей час повинен бути більшим від характерного часу встановлення квазістаціонарної функції розподілу електронів по енергіям (ФРЕЕ), часу дисоціації HgBr_2 і HgI_2 , часу гасіння і радіаційного часу життя $B^2 \Sigma_{1/2}^+$ -стану HgBr^* і HgI^* . Час встановлення квазістаціонарного розподілу електронів, тобто час "слідкування" ФРЕЕ за змінами напруженості електричного поля і концентрацій компонент плазми приблизно дорівнює часу релаксації середньої енергії електронів [8]:

$$\tau = \frac{m v_e \bar{\varepsilon}}{e^2 E^2} \quad (3)$$

де m — маса електрона, e — заряд електрона, E — напруженість електричного поля, $\bar{\varepsilon}$ — середня енергія електронів, $v_e = N \left(\frac{2}{m} \right)^{1/2} \int_0^\infty U^2 Q(U) f(U) dU$ — частота пружних зіткнень електронів з атомами гелію або неону, N — концентрація атомів He або Ne в суміші, $Q(U)$ — ефективний переріз пружного розсіювання електронів на атомах гелію або неону, $f(U)$ — ізотропна частина функції розподілу електронів по енергіям, нормована умовою: $\int_0^\infty U^{1/2} f(U) dU = 1$.

Оцінки часу встановлення ФРЕЕ згідно формули (3) для наших сумішей показують, що для діапазону $E/p = 1-30 \text{ В}\cdot\text{см}^{-1}\cdot\text{мм рт. ст.}^{-1}$ $\tau \leq 50 \text{ нс}$.

Час дисоціації (τ_d) HgBr_2 і HgI_2 електронним ударом і час гасіння (τ_r) В-стану HgBr^* і HgI^* молекулами

дигалогенідів ртуті оцінювався із співвідношень:

$$\tau_d \sim (k_0 [\text{HgX}_2])^{-1} \quad (4)$$

$$\tau_r \sim (k_2 [\text{HgX}_2])^{-1} \quad (5)$$

де k_0 — константа швидкості дисоціації HgBr_2 і HgI_2 , яка змінюється в межах $1 \cdot 10^{-9}$ - $1 \cdot 10^{-10} \text{ см}^3/\text{с}$ при зміні параметру E/p в межах $1-30 \text{ В}\cdot\text{см}^{-1}\cdot\text{мм рт. ст.}^{-1}$ [1], $[\text{HgX}_2]$ — концентрації HgBr_2 і HgI_2 при робочих умовах ($\sim 10^{16} \text{ см}^{-3}$), k_2 — константа швидкості гасіння для HgBr_2 і HgI_2 ($2.7 \cdot 10^{-10} \text{ см}^3/\text{с}$ і $9.2 \cdot 10^{-10} \text{ см}^3/\text{с}$ [9]).

Оцінки часів дисоціації і гасіння дають значення $< 20 \text{ нс}$ та $< 100 \text{ нс}$ для всього діапазону змін параметру E/p . Радіаційні часи життя В-стану HgBr^* і HgI^* складають 23.2 нс і 27.3 нс відповідно [10,11].

Таким чином, характерні часи основних процесів, що впливають на концентрацію збуджених молекул HgBr^* і HgI^* менші тривалості імпульсів накачки ($\sim 100 \text{ нс}$), що спостерігається в експериментах [5-7] і ця обставина дозволяє користуватися виразом (2) для населеності В-стану HgBr^* і HgI^* .

Концентрація електронів N_e розраховувалася по відомій формулі $N_e = j / (e v_{dr})$, (6)

де j - густина струму в розряді, e - заряд електрона, v_{dr} - дрейфова швидкість електронів.

Густина струму в газорозрядній плазмі ексимерної лампи визначалося по струму, що вимірюється в її міжелектродному просторі і площі поперечного перерізу розряду. Значення для дрейфової швидкості електронів бралися з результатів розрахунку транспортних характеристик [1].

Нами розроблена програма для розв'язку рівняння (2) на ЕОМ. Результати чисельних розрахунків концентрації електронів та заселеності $B^2 \Sigma_{1/2}^+$ - стану моногалогенідів ртуті в інтервалі $E/p = 1-30 \text{ В}\cdot\text{см}^{-1}\cdot\text{мм рт. ст.}^{-1}$ для

коаксіальної лампи (діаметр трубки із кварцового скла складає 3.4 см, довжина - 20 см, діаметр внутрішнього електрода - 0.4 см), що забезпечує густину струму $j = 7.78 \text{ A/cm}^2$ представлені на рис. 1. Концентрації електронів для робочих сумішей з різними дигалогенідами ртуті практично однакові в усьому діапазоні зміни параметру E/p (рис. 1 а). Як видно з рис. 1 б, є оптимальні значення параметра E/p , де заселеності і відповідно потужності випромінювання максимальні. Крім того, значення заселеності для молекул HgBr^* вищі приблизно на порядок порівняно з відповідними значеннями для молекул HgI^* , що пов'язано з більшими значеннями констант швидкості збудження $B^2\Sigma_{1/2}^+$ - стану монобромиду ртуті, ніж моноїодиду

ртуті в газорозрядній плазмі на робочих сумішах [1]. Якщо тепер знайти бажані напруженості поля на плазмі у лампі (вони визначаються з потрібної потужності випромінювання лампи), то із розрахункового оптимального значення E/p визначається парціальний тиск буферного газу (гелію або неону), а із оптимального співвідношення парціальних тисків (0.5:99.5) дигалогенідів ртуті та буферного газу знаходяться парціальні тиски дигалогенідів ртуті.

Для ексімерної лампи з указаними розмірами та густиною струму при імпульсній напрузі $2 \cdot 10^4 \text{ В} - 3 \cdot 10^4 \text{ В}$ оптимальні парціальні тиски складають: 875 Па – для дигалогенідів ртуті, 174.2 кПа – для буферного газу.

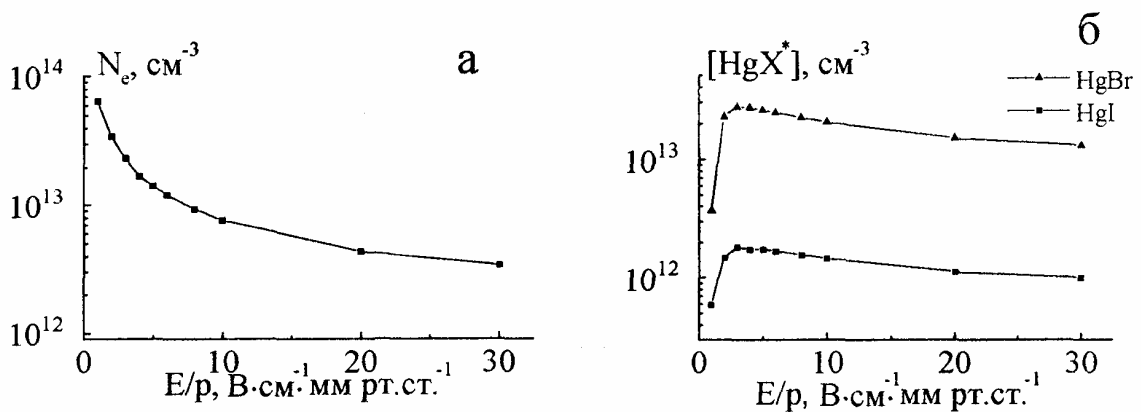


Рис. 1. Залежності концентрації електронів (а) та заселеностей $B^2\Sigma_{1/2}^+$ -стану молекул HgBr^* та HgI^* (б) від параметра E/p для сумішей He:HgBr_2 та He:HgI_2 .

Отже, на основі розробленого методу чисельної оптимізації парціальних тисків робочих сумішей ексімерних ламп видимого спектрального діапазону проведено відповідні розрахунки. Практичне використання цих даних зменшує матеріальні та часові витрати при розробці та виготовленні взірця лампи на суміші гелію та парів дигалогенідів ртуті.

1. A.N. Malinin, Laser Physics, 8, №2, 395-406, (1998).
2. M.I. Kushner, A.L. Pindrof, C. H. Fisher, T.A. Znotins, I.Appl.Phys., 75, 2406-2422, (1985).
3. W.L. Nighan, R.T. Brown, I.Appl.Phys., 53, №11, 7201-7210, (1982).
4. A.N. Malinin, Laser Physics, 7, №6, 1168-1177, (1997).
5. A.N. Malinin, Laser Physics, 7, №5, 1032-1040, (1997).

6. А.Н. Малинин, Л.Л. Шимон, Н.Н. Гуйван, А.В. Поляк, Оптика атмосферы и океана, 12, №11, 1024-1026, (1999).
7. М.М.Гуйван, О.М. Малінін, Л.Л. Шимон, Науковий вісник УжДУ, серія "Фізика". №4, 12-17, (1999).
8. М.М. Мкртчян, В.Т. Платоненко, Квантовая электроника, 6, 1639-1647, (1979).
9. A.N. Malinin, Laser Physics, 7, №6, 1177-1181, (1997)
10. R.W.Waynant, I.G. Eden, Appl. Phys. Lett., 33, 708-710, (1978).
11. A. Mandi, I.H. Parks and C. Roxlo, I. Chem. Phys., 72, №1, 504-507, (1980).

NUMERICAL OPTIMIZATION OF PARTIAL PRESSURES OF WORKING MIXTURE EXCIMER HgBr/HgI LAMP

A.V. Polyak, N.N. Guivan, A.N. Malinin

Uzhgorod National University, Pidgirna str. 46, 88000, Uzhgorod, Ukraine

E-mail: mal@iss.univ.uzhgorod.ua

The numerical optimization method of working mixtures partial pressures of excimer lamps in the visible spectral range was designed on the basis of the calculation of dependence of mercury monohalogenides (HgBr* and HgI*) the $B^2\Sigma^+_{1/2}$ -condition population density on parameter E/p (E – electric field strength, p – total pressure of the mixture). The results of calculation of partial pressures of component of a working mixture (He, HgBr₂ and HgI₂ vapour) for HgBr/HgI excimer lamp, which reduces material and temporary costs at designing and manufacturing of a lamp sample are shown.



Андрій Васильович Поляк, молодший науковий співробітник НДЧ УжНУ, 1976 року народження, закінчив фізичний факультет УжДУ в 1997 році.



Микола Миколайович Гуйван, молодший науковий співробітник НДЧ УжНУ, 1974 року народження, закінчив фізичний факультет УжДУ в 1996 році, аспірантуру УжДУ – в 1999 році.



Олександр Миколайович Малінін, провідний науковий співробітник НДЧ УжНУ, 1947 року народження, закінчив фізичний факультет УжДУ в 1970 році, кандидат фіз.-мат.наук (1985р.), доктор фіз.-мат.наук (1998 р.), старший науковий співробітник (1999р.)