

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ВИХІДНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИСОКОЧАСТОТНОЇ HgBr/HgCl-ЕКСИМЕРНОЇ ЛАМПИ

М.М. Гуйван, О.М. Малінін, Л.Л. Шимон

Ужгородський державний університет, 88000, Ужгород, вул. Підгірна 46

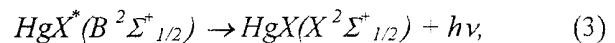
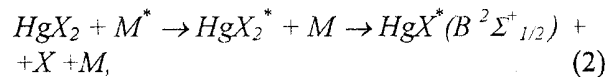
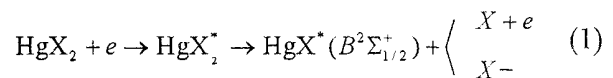
Проведені дослідження по виявленню можливості підвищення вихідних характеристик високочастотної коаксіальної HgBr/HgCl- ексимерної лампи за рахунок оптимізації компонентного складу. Виявлено, що інтенсивності випромінювання ексимерних молекул HgBr* та HgCl* максимальні в суміші складу HgBr₂:HgCl₂:N₂:He. Вміст азоту в робочій суміші має складати 10-15% від вмісту гелію.

Постановка задачі

Дослідження, проведені нами в роботі [1] дали змогу зробити висновок про можливість отримання ефективного випромінювання ексимерних молекул бромиду ртуті в синьо-зеленій області довжин хвиль ($\lambda = 502$ нм, електронно-коливний перехід $B^2\Sigma^+_{1/2} \rightarrow X^2\Sigma^+_{1/2}$ молекули HgBr*) в умовах високочастотного ($f=1000$ Гц) комбінованого розряду (повздовжній розряд по поверхні та розряд через діелектрик (кварцове скло)) при атмосферних тисках робочої суміші.

Для подальшого підвищення вихідних характеристик ексилампи - розширення спектрального діапазону та збільшення енергії випромінювання ми помістили в газорозрядну кювету одночасно дві солі - дибромід ртуті та дихлорид ртуті (ексимерні молекули HgCl* випромінюють в зелено-жовтій області спектру ($\lambda 557$ нм) [2]).

Відомо [3, 4], що в розряді проходить дисоціативне збудження парів дигалогенідів ртуті з утворенням моногалогенідів ртуті і атомів та від'ємних іонів галогенів за рахунок процесів:

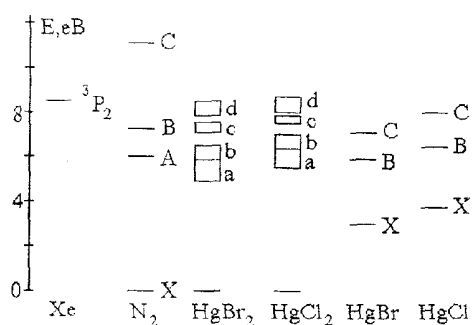


де $X = \text{Cl}, \text{Br}$,

$X^- = \text{Cl}^-, \text{Br}^-$,

e - електрони, M - атоми інертних газів або молекули азоту в метастабільних станах, $h\nu$ - енергія кванта.

Ми припустили, що внаслідок енергетично близького розташування потенціальних поверхонь молекул HgBr₂ та HgCl₂ (мал.1) ефекти підсилення інтенсивності випромінювання HgBr* в результаті взаємодії з ксеноном та азотом в метастабільних станах [1] будуть спостерігатися для молекул HgCl* і це дасть змогу як розширити діапазон випромінювання, так і підвищити його енергію. Реалізація цієї ідеї в роботі здійснюється в експериментах по оптимізації компонентного складу газорозрядної плазми на сумішах дигалогенідів ртуті, інертних газів та молекулярного азоту.



Мал.1. Діаграма енергетичних рівнів Xe , N_2 , $HgBr$, $HgCl$, $HgBr_2$ та $HgCl_2$ [4, 5].

Експериментальна установка та методика вимірювань

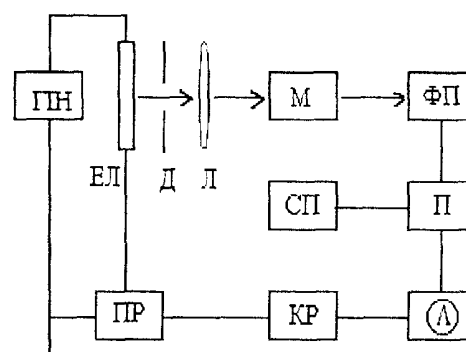
Експерименти проводились на установці, блок-схема якої приведена на мал.2. Будова ексимерної лампи та генератора імпульсних напруг (ГН) детально описані в роботі [1]. Система реєстрації дозволяє проводити дослідження спектрів випромінювання розряду, залежності інтенсивності випромінювання від компонентного складу середовища, вивчати часові характеристики імпульсів випромінювання та струму.

Випромінювання височастотного розряду ексимерної лампи після проходження діафрагми площею 1 см² та лінзи з фокусною відстанню 8 см спрямовувалось на вхідну щілину спектрального монохроматора ЗМР-3 і реєструвалось фотоелектронним помножувачем типу ФЭУ-79. Електричний сигнал з ФЭУ попадав на підсилювач У1-2 і реєструвався самописцем КСП-4.

Для реєстрації часових характеристик імпульсів випромінювання використовувався електронний лінійний помножувач типу 14ЭЛУ-ФС. Сигнал з 14ЭЛУ-ФС подавався на осцилограф С8-2 по кабелю з хвильовим опором 75 Ом.

Імпульси розрядного струму реєструвались з допомогою пояса Роговського, який був включений в коло "землі". Високовольтні вимірювальні кола

були виконані з урахуванням загальних вимог [6].



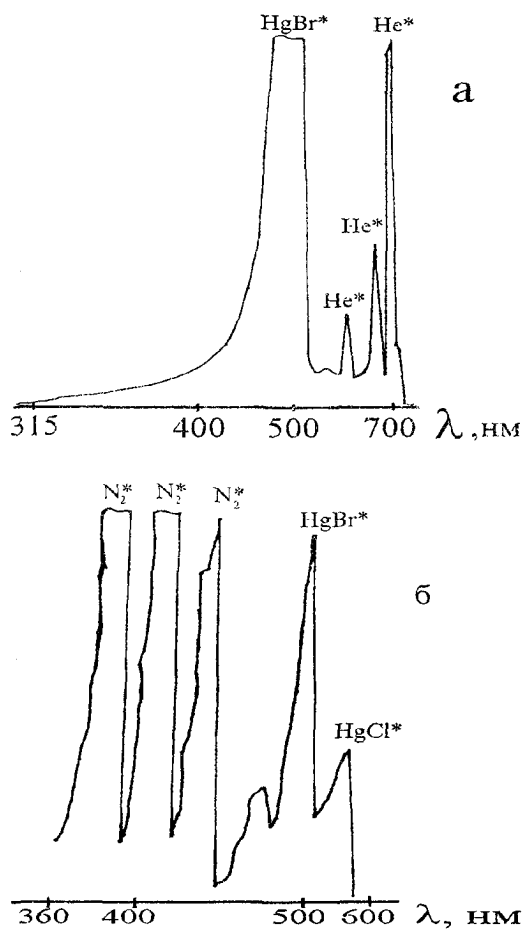
Мал.2. Блок-схема експериментальної установки: ГН - генератор імпульсних напруг, ЕЛ - ексимерна лампа, Д - діафрагма, Л - лінза, М - спектральний монохроматор ЗМР-3, ФП - фотоелектронний помножувач ФЭУ-79 або електронний лінійний помножувач 14ЭЛУ-ФС, П - підсилювач У1-2, СП - самописець КСП-4, КР - розділюючий конденсатор, А - осцилограф С8-2, ПР - пояс Роговського.

Спектральні та часові характеристики

Спектри випромінювання сумішей $HgBr_2:HgCl_2:He$ та $HgBr_2:HgCl_2:N_2:He$ (мал. 3) записувались при таких умовах: тиск газових компонентів складав 121.6 кПа, напруга на електродах ексилампи 18 кВ, частота слідування імпульсів накачки 1000 Гц. Ширина щілин спектрального монохроматора ЗМР-3 становила 0.1 мм. Крім наявності смуги $\lambda 557$ нм, спектр суміші $HgBr_2:HgCl_2:He$ відрізняється від приведенного в [1] тим, що більш детально вивчені лінії гелію в жовто-червоній області довжин хвиль. Це дасть додаткову інформацію про енергетичний розподіл електронів у розряді. На спектрі суміші $HgBr_2:HgCl_2:N_2:He$ чітко видно контур смуги $\lambda 557$ нм. Смуга має кант з боку червоної області спектру, що спостерігалось і в роботах [3,5,7].

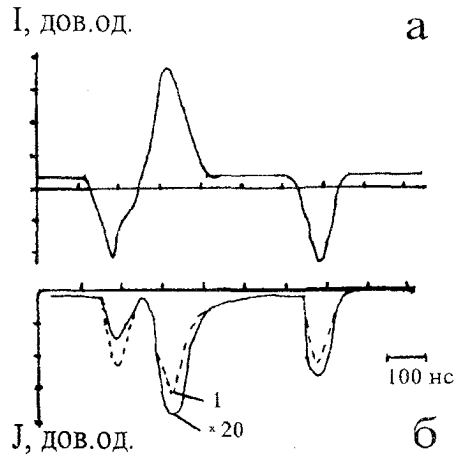
Результати експериментів по дослідженню часових характеристик представлені на прикладі суміші

$HgBr_2:HgCl_2:He$ (мал. 4). Імпульси струму є потрійними. Перший та третій імпульси мають тривалість ~ 65 нс, а другий ~ 90 нс. Затримка між другим та третім імпульсами становить 200 нс. Імпульси випромінювання також потрійні з тривалостями ~ 75 нс, перші два слідуєть один за одним, а третій - із затримкою 200 нс. З малюнка видно, що для молекул $HgBr^*$ амплітуда другого імпульса випромінювання більша від першого в



Мал.3. Спектр випромінювання імпульсного розряду : (а) - суміш $HgBr_2:HgCl_2:He$; (б) - суміш $HgBr_2:HgCl_2:N_2:He$ (співвідношення $N_2:He = 1:3.8$). Загальний тиск 121.6 кПа.

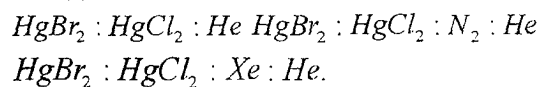
2.75 раза, а для молекул $HgCl^*$ - в 1.6 раза. Амплітуди імпульсів випромінювання молекул $HgBr^*$ більші в 15 - 20 разів, ніж амплітуди імпульсів випромінювання молекул $HgCl^*$. Як і в роботі [3], в наших експериментах спостерігається кореляція по часу між імпульсами струму та випромінювання.



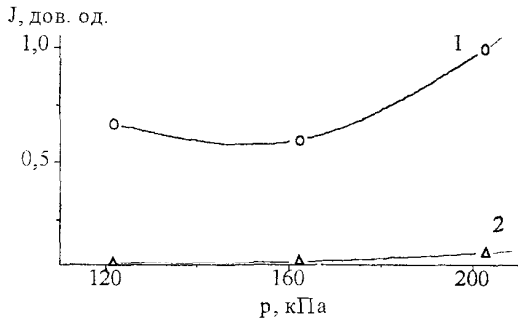
Мал. 4. Імпульси розрядного струму (а) та випромінювання (б) для $\lambda 502$ нм $HgBr^*$ (—) і $\lambda 557$ нм $HgCl^*$ (----) в суміші $HgBr_2:HgCl_2:He$. Частота імпульсів накачки 1000 Гц, тиск гелію 121.6 кПа.

Інтегральні характеристики випромінювання

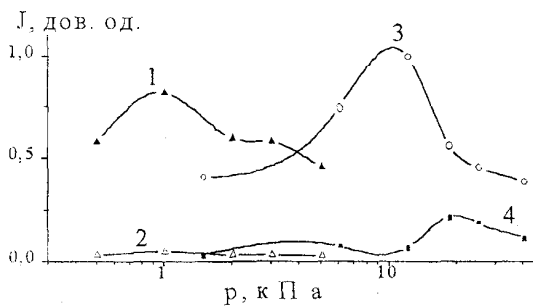
Дослідження проводились в багатокомпонентних сумішах таких складів:



Зміна тиску гелію від 121.6 кПа до 202.6 кПа в суміші $HgBr_2 : HgCl_2 : He$ приводить до зростання інтенсивностей випромінювання молекул $HgBr^*$ та $HgCl^*$ (мал. 5). Але темпи зростання набагато більші для випромінювання молекул $HgBr^*$. Виявлено, що залежність $J_{HgBr^*}(p_{He})$ має мінімум в області тисків гелію 150-160 кПа. Це може бути пов'язано з тим, що при даних тисках гелію середні енергії електронів такі, що більш ефективно збуджують В-стан молекул $HgBr$.



Мал.5. Залежність інтенсивності випромінювання молекул $HgBr^*$ (1) та $HgCl^*$ (2) від тиску гелію. Суміш $HgBr_2:HgCl_2:He$. Частота слідування імпульсів накачки 1000 Гц.



Мал. 6. Залежності інтенсивностей випромінювання молекул $HgBr^*$ та $HgCl^*$ від вмісту ксенону та азоту в сумішах $HgBr_2:HgCl_2:N_2:He$ і $HgBr_2:HgCl_2:Xe:He$: 1 - $HgBr^*(Xe)$; 2 - $HgCl^*(Xe)$; 3 - $HgBr^*(N_2)$; 4 - $HgCl^*(N_2)$

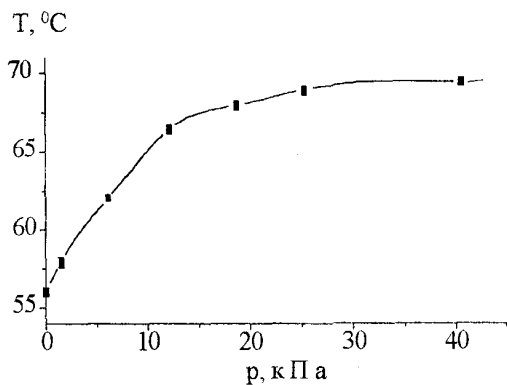
На мал. 6 приведені залежності інтенсивності випромінювання молекул $HgBr^*$ та $HgCl^*$ від вмісту ксенону та азоту в сумішах $HgBr_2:HgCl_2:N_2:He$ і $HgBr_2:HgCl_2:Xe:He$. Загальний тиск газових компонент складав 121.6 кПа, частота слідування імпульсів накачки 1000 Гц, напруга на газорозрядній трубці 18 кВ. Залежності 1, 3 ілюструють поведінку інтенсивності випромінювання молекул $HgBr^*$ від добавки Xe та N_2 , а залежності 2, 4 - поведінку інтенсивності випромінювання молекул $HgCl^*$ від добавки Xe та N_2 . Максимальні інтенсивності випромінювання в суміші $HgBr_2:HgCl_2:Xe:He$ для молекул $HgBr^*$ та $HgCl^*$ спостерігались при тиску ксенону ~ 1 кПа (співвідношення $Xe:He = 1:119$), а в суміші $HgBr_2:HgCl_2:N_2:He$ для молекул $HgBr^*$ - при тисках азоту 9-13 кПа (співвідношення $N_2:He \approx 1:9$), тоді як для

молекул $HgCl^*$ - при тисках азоту 18-19 кПа (співвідношення $N_2:He \approx 1:5.5$). Пояснити той факт, що максимумами інтенсивностей випромінювання молекул $HgBr^*$ та $HgCl^*$ спостерігаються при різних тисках азоту в суміші $HgBr_2:HgCl_2:N_2:He$ можна із слідуючих міркувань. При збільшенні тиску азоту зростає температура робочої суміші (мал. 7), а отже і парціальний тиск дигалогенідів ртуті, бо, як відомо

$$p = nkT, \quad (4)$$

де p - тиск,
 n - концентрація молекул,
 k - стала Больцмана,
 T - температура робочої суміші.

Але, згідно [8], парціальний тиск $HgCl_2$ менший, ніж парціальний тиск $HgBr_2$ при даних температурах робочої суміші ($\sim 70^\circ C$). Підвищити робочу температуру шляхом збільшення вмісту азоту в суміші неможливо тому, що при тисках азоту більше 40 кПа розряд стає неоднорідним, в ньому появляються іскрові канали, напрямлені радіально. Разом з тим, при тисках азоту >20 кПа істотну роль починає відігравати процес гасіння люмінесценції ексимерів молекулами азоту (мал.6, залежності 3,4). Крутіший спад інтенсивності випромінювання $HgBr^*$, ніж $HgCl^*$ пояснюється тим, що константа швидкості гасіння люмінесценції для $HgBr(B^2\Sigma^+_{1/2})$ складає $(9 \pm 1) \times 10^{-13} \text{cm}^3 \text{s}^{-1}$, тоді як для $HgCl(B^2\Sigma^+_{1/2})$ - $(1.4 \pm 0.2) \times 10^{-13} \text{cm}^3 \text{s}^{-1}$ [5].



Мал. 7. Залежність температури зовнішньої поверхні ексилампи від тиску азоту в суміші $HgBr_2:HgCl_2:N_2:He$, загальний тиск складав 121.6 кПа.

Заключення

Таким чином, експериментальні дослідження по виявленню можливостей підвищення вихідних характеристик *HgBr/HgCl* - ексимерної лампи дозволили розширити діапазон та підвищити енергію випромінювання за рахунок оптимізації компонентного складу. Оптимальний вміст азоту в робочій суміші *HgBr₂:HgCl₂:N₂:He* має складати 10-15% від вмісту гелію. Для подальшого підвищення енергії випромінювання потрібно підняти температуру робочого середовища до 150-170 °С. При таких температурах, як показано в роботі [3], де застосовувався зовнішній підігрів робочої суміші, відбувається вирівнювання інтенсивностей випромінювання смуг λ_{502} нм та λ_{557} нм. У нашому випадку ми можемо підняти робочу температуру шляхом більшого вкладу потужності в

розряд, тобто збільшенням частоти слідування імпульсів накачки.

1. М.М. Гуйван, О.М. Малінін, Л.Л. Шимон. Вісник УжДУ, серія Фізика, №4, 12-17, (1999).
2. R.W. Pearse, A.G. Gaydon. The identification of molecular spectra., London, 347 p., (1963).
3. A.N. Malinin. Laser Physics. 7, №5, 1032-1040, (1997).
4. R.S.F. Chang and R. Burnham, 1981, Proc. Conf. Lasers and Electroopt. (Washington), ThB2, 1-4.
5. C. Whitehurst and T.A. King. J. Phys. B: At. Mol. Phys. 20, 4035-4051, (1987).
6. А. Шваб. Измерения на высоком напряжении: измерительные приборы и способы измерения - М.: Энергоатомиздат, (1983), 264 с.
7. C. Whitehurst and T.A. King. J. Phys. D: Appl. Phys. 20, 1577-1583, (1987).
8. Ефимов и др. Свойства неорганических соединений. Справочник.-Л.: Химия, (1983), 392 с.

INVESTIGATION ON REVEALING THE POSSIBILITY OF INCREASING OUTPUT CHARACTERISTICS OF HIGH-FREQUENCY HgBr/HgCl-EXCIMER LAMP

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

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

The investigations to reveal the possibility of increasing the output characteristics of a high-frequency coaxial *HgBr/HgCl*- excimer lamp at the expense of the optimization of component composition have been carried out. The emission intensities of *HgBr** and *HgCl** excimer molecules are revealed to be maximal in the mixture of *HgBr₂:HgCl₂:N₂:He* compound