

УДК 621.373.826.038.823

PACS 42.72.Bj, 52.80.-s, 52.80.Yr

DOI: 10.24144/2415-8038.2017.42.73-79

А.О. Малініна, О.М. Малінін

Ужгородський національний університет, вул. Волошина, 54, Ужгород, 88000

e-mail: ant.malinina2018@gmail.com, alex.malinin@uzhnu.edu.ua

ОПТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВОСМУГОВОЇ ЕКСИЛАМПИ БАР'ЄРНОГО РОЗРЯДУ НА МОЛЕКУЛАХ МОНОЙОДИДУ ТА МОНОБРОМІДУ РТУТІ

Приведено результати дослідження оптичних характеристик (спектральних, інтегральних і ресурсних) випромінювання газорозрядної плазми атмосферного тиску на сумішах парів дйодиду та диброміду ртуті з малими добавками молекулярного азоту. Виявлено випромінювання у видимій області спектру спектральних смуг ексиплексних молекул моноїодиду і моноброміду ртуті, молекул молекулярного азоту і гелію, а також атомів гелію і ртуті. Встановлено закономірності в змінах оптичних характеристик плазми в залежності від частоти слідування імпульсів накачки і кількісного складу сумішей. Дані досліджень становлять інтерес для створення потужних ексилламп, що одночасно випромінюють дві смуги у видимому спектральному діапазоні.

Ключові слова: ексиллампа, галогеномісні молекули, моноїодид і монобромід ртуті, видимий спектральний діапазон, бар'єрний розряд.

Вступ

Важливим напрямком в розробки ексилламп є дослідження робочих середовищ, що випромінюють одночасно декілька молекулярних смуг різних ексиплексних молекул і або ексимерних молекул у видимому і ультрафіолетовому спектральних діапазонах. Багатосмугове випромінювання було здобуто в умовах тліючого розряду низького тиску, а також в бар'єрному розряді [1-4].

На енергетичні і спектральні характеристики таких джерел можуть істотно впливати малі домішки газів: молекулярного азоту, ксенону, елегазу та ін. [2].

У даній роботі представлені результати досліджень оптичних характеристик двохсмугової ексиллампи на молекулах моноїодиду та моноброміду ртуті, робочою речовиною якої є газорозрядна плазма бар'єрного розряду на суміші парів дйодиду і диброміду ртуті з гелієм і малою домішкою молекулярного азоту.

Техніка експерименту

Плазма бар'єрного розряду в робочій суміші ексиллампи створювалася в міжелектродному просторі усередині кварцової трубки товщиною стінки 2 мм, зовнішнім діаметром 34 мм і довжиною 20 см (конструкція обладнання для створення плазми бар'єрного розряду подібна до застосовуваного нами в роботі [5]). Відстань між внутрішнім електродом круглого перетину (діаметром 4 мм) і зовнішнім електродом складала 15 мм. Внутрішній електрод розташований по осі трубки, а зовнішній (перфорований з коефіцієнтом пропускання випромінювання 72%) - на поверхні трубки. Торці трубки заварені, на одному з них вварений металевий ввід, що забезпечує підведення енергії від джерела живлення на електрод. На протилежній торцевій поверхні розташований патрубок із кварцового скла з капіляром (діаметр 1 мм, довжина 20 мм) через який проводилася відкачка трубки і її

наповнення досліджуваними компонентами суміші.

Живлення розряду здійснюється від генератора наносекундних імпульсів. В якості комутатора в генераторі використовувався тиратрон ТГИ 2-130 / 10. В процесі експериментів імпульсні напруга і струм (тривалість імпульсів ~ 150 нс) на електродах ексилампи підтримувалися на рівні 22÷30 кВ і 280 А, відповідно, частота слідування імпульсів становила 1÷20 кГц.

Оптичні характеристики випромінювання ексилампи, а також електричні і часові характеристики досліджувались за допомогою експериментальної установки, що приведена в статті [5].

Дигалогеніди ртуті: дибромід ртуті (HgBr_2) і дийодид ртуті (HgI_2) в кількості по 60 мг попередньо завантажувалися в між електродний простір. Парціальний тиск парів HgBr_2 і HgI_2 в робочих сумішах створювалося за рахунок нагріву суміші при дисипації енергії імпульсно-періодичного розряду. Вимірювання його здійснювалося за температурою найбільш холодної частини трубки на підставі лінійної інтерполяції довідкових даних роботи [6]. Парціальні тиску газів вимірювалися зразковим мембранним вакууметром і манометром.

Спектральні і інтегральні характеристики

На рис.1 представлений оглядовий спектр випромінювання плазми бар'єрного розряду на суміші парів дийодиду і дибромиду ртуті, азоту і гелію. Парціальні тиски азоту і гелію були 2 кПа і 180 кПа, відповідно. Частота слідування імпульсів накачки - 18 кГц, амплітуда напруги на електродах і струм через газорозрядний проміжок 30 кВ і 280 А, відповідно.

Характерним у спектрі випромінювання для цієї суміші є наявність систем спектральних смуг електронно-коливального переходу $\text{B}^2\Sigma_{1/2}^+ \rightarrow \text{X}^2\Sigma_{1/2}^+$ ексиплексних молекул HgI^* і HgBr^* з максимумами випромінювання на довжинах хвиль $\lambda=444$ нм і $\lambda=502$ нм, відповідно, крутим

ростом інтенсивності цих спектральних смуг з боку довгохвильової ділянки і повільним спадом у короткохвильовій області [7]. Канти спектральних смуг перекривають діапазон довжин хвиль 370÷510 нм. Зі зміною частоти слідування імпульсів накачки в межах 1-20 кГц форма, діапазон, положення максимумів випромінювання спектральних смуг не міняється, змінюється лише їхня інтенсивність і співвідношення інтенсивностей у кантах смуг. Крім цих смуг спостерігається також випромінювання на лінії ртуті $\lambda=546$ нм, спектральні смуги молекулярного азоту (N_2^*) з максимумами випромінювання на довжинах хвиль $\lambda=337$ нм, $\lambda=357$ нм, $\lambda=375$ нм і $\lambda=654$ нм, що відповідають переходу $\text{C}^3\Pi_u \rightarrow \text{B}^3\Pi_g$ (друга позитивна система) [7, 8].

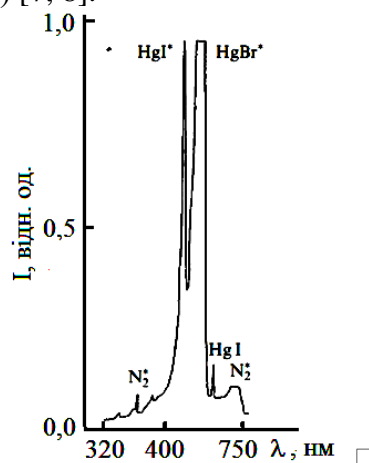


Рис.1. Спектр випромінювання суміші $\text{HgI}_2:\text{HgBr}_2:\text{N}_2:\text{He}$. Парціальні тиски: азоту 2 кПа, гелію 182 кПа. Амплітуда напруги, струм і частота слідування імпульсів - 30 кВ, 280 А і 18 кГц, відповідно.

Результати досліджень залежності середньої потужності випромінювання від тиску суміші від 140 кПа до 200 кПа (змінювався парціальний тиск гелію, а парціальний тиск азоту підтримувалося на рівні 2 кПа) представлено на рис. 2. Спостерігається зростання середньої потужності, досягнення її максимального значення при 180 кПа і спад при подальшому збільшенні тиску суміші. При збільшенні напруги на електродах джерела і частоти слідування імпульсів накачки спостерігається лінійне зростання

середньої потужності випромінювання. Вона досягає значення 13.3 Вт при напрузі 30 кВ і частоті слідування імпульсів 18 кГц.

На рис. 3 приведені залежності інтенсивності випромінювання ексиплексних молекул моноїодиду ртуті і моноброміду ртуті від парціального тиску молекулярного азоту (межі зміни парціальних тисків азоту визначалися стійкістю однорідного горіння розряду). Спостерігаються закономірності: слабка залежність інтенсивності випромінювання молекул HgI* і HgBr* від парціального тиску азоту і більш інтенсивне випромінювання молекули моноброміду ртуті.

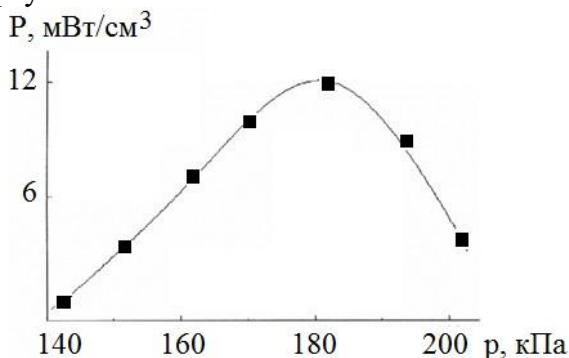


Рис. 2. Залежність питомої середньої потужності випромінювання від парціального тиску гелію в при: частоті слідування імпульсів накачки 18кГц, амплітуді напруги - 30 кВ.

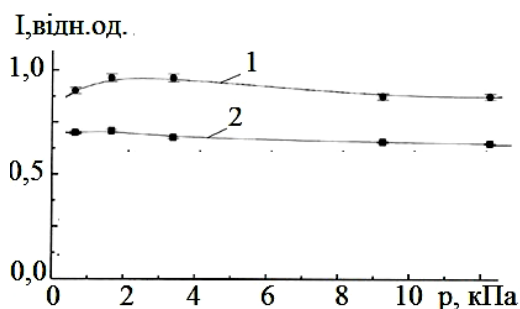


Рис. 3. Залежності інтенсивності випромінювання молекул HgBr* (крива1) і HgI* (крива2) від парціального тиску азоту. Парціальний тиск гелію 180 кПа.

На рис.4 представлені залежності інтенсивності випромінювання моногалогенідів ртуті у відносних одиницях від числа імпульсів накачки (для суміші співвідношення газових компонент вибиралося оптимальним - при якому спостерігаються максимальні інтенсивності випромінювання молекул HgI* і HgBr*). Для сумішей

спостерігається перевага випромінювання моноброміду ртуті (крива 1, рис.4).

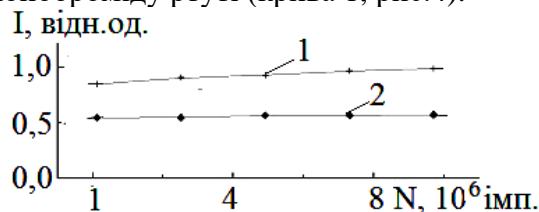


Рис.4.Залежність інтенсивності випромінювання моногалогенідів ртуті від загального числа імпульсів: 1. Молекула HgBr*, 2. Молекула HgI. Загальний тиск суміші 180 кПа. Частота слідування імпульсів накачки 18 кГц.

На рис. 5 представлені характерні осцилограми розрядного струму і імпульсної потужності випромінювання. Спостерігається двогорба часова залежність, як для випромінювання ексиплексних молекул HgI*, так і HgBr*, амплітуди імпульсів випромінювання і імпульсів струму за часом збігаються. Амплітуда другого імпульсу випромінювання для обох молекул вище першого. Для другого імпульсу випромінювання характерно також збільшення його тривалості в порівнянні з першим імпульсом.

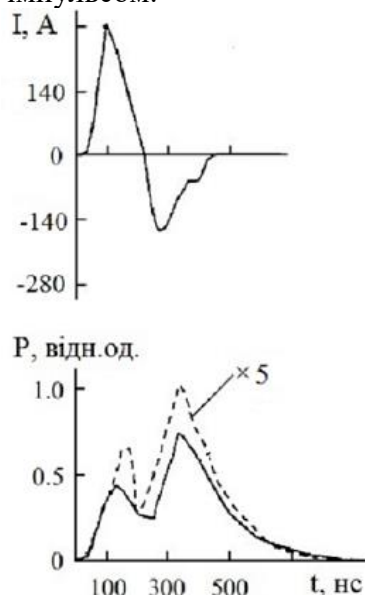
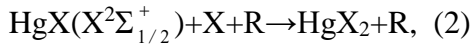
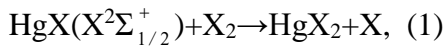


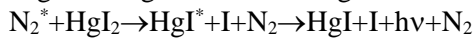
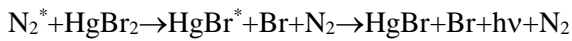
Рис.5. Осцилограми імпульсів струму (I) і випромінювання (P), - - - молекула HgI*, - молекула HgBr*.

Наявність у спектрах випромінювання (рис.1) лінії атомів Hg $\lambda=546$ нм викликано процесом деградації суміші. Молекули моноїодиду і моноброміду ртуті не встигають асоціювати в процесах:



де – X=I, Br, R – буферний газ гелій і дисоціюють на атоми ртуті і галогену при зіткненнях з електронами в газорозрядній плазмі [9]. Атоми галогенів йдуть на поверхню електрода лампи й утворюють галогеніди металів [10]. Атоми ртуті накопичуються і при зіткненнях з електронами збуджуються, і випромінюють на довжині хвиль $\lambda=546$ нм.

Більш висока інтенсивність випромінювання ексиплекних молекул HgBr^* в порівнянні з HgI^* викликана процесом передачі заселеності від молекули азоту в метастабільному стані N_2 ($A^3\Sigma_u^+$) в процесах:



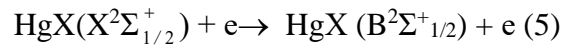
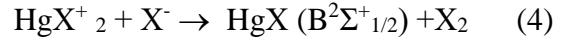
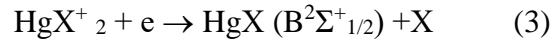
Константа швидкості першого процесу має більшу величину в порівнянні з другим процесом [11].

Наявність оптимального парціального тиску для буферного газу гелію (рис. 2), пов'язане з динамікою процесів втрати енергії розряду на нагрів суміші парів двох дигалогенідів ртуті і гелію та гасіння $V^2\Sigma_{1/2}^+$ -стану моногалогенідів ртуті [12].

Хід залежності інтенсивності випромінювання молекул HgI^* і HgBr^* від парціальних тиску молекулярного азоту (рис.4) визначається ефективністю процесів, які ведуть до їх збудження і гасіння - $V^2\Sigma_{1/2}^+$ - станів цих молекул в газорозрядній плазмі бар'єрного розряду [12]. Константи швидкості збудження $V^2\Sigma_{1/2}^+$ - стану молекул HgI^* і HgBr^* і його гасіння азотом в умовах експерименту складають величини $1.7 \times 10^{-14} \text{ m}^3 / \text{s}$, $1.8 \times 10^{-14} \text{ m}^3 / \text{s}$, и $2.9 \cdot 10^{-14} \text{ cm}^3 / \text{c}$ и $< 3.4 \times 10^{-14} \text{ cm}^3 / \text{c}$, відповідно [13,14].

Часова залежність імпульсів струму (рис.5) викликана перезарядкою ланцюга діелектрик-плазма. Підвищення значення амплітуди другого імпульсу випромінювання, його тривалості і тривалості заднього фронту, в порівнянні з першим імпульсом (рис.5) викликано процесами збільшення заселеності $V^2\Sigma_{1/2}^+$ -

стану молекул HgI^* і HgBr^* , які проходять по часу пізніше основного (диссоціативного збудження електронами в зіткненнях з молекулами дигалогенідів ртуті):



Процес рекомбінації позитивних іонів дигалогенідів ртуті з електронами (3), як вважають автори роботи [15], може відігравати суттєву роль при густині струму $\sim 1000 \text{ A} / \text{cm}^2$, що в умовах нашого експерименту не спостерігається. Розрахункова константа швидкості процесу рекомбінації позитивного іона з негативним іоном (4) висока (для молекули $\text{HgBr}_2 \sim 3 \cdot 10^{-7} \text{ cm}^3 / \text{c}$), проте, в газорозрядних умовах через малі концентрації атомарного іона (константа процесу утворення негативного іона $\text{Br}^- \sim 10^{-10} \text{ cm}^3 / \text{c}$ [16]) його роль незначна. Збудження радикалів електронами в $V^2\Sigma_{1/2}^+$ - стан (5) можливе в наших експериментальних умовах.

Висновки

В результаті комплексного дослідження оптичних характеристик випромінювання (спектральних, інтегральних та ресурсних) двох смугової ексилампи бар'єрного розряду атмосферного тиску на сумішах парів дийодиду та диброміду ртуті з малими добавками молекулярного азоту виявлено співвідношення парціальних тисків компонент, які дають максимальний вихід випромінювання на довжинах хвиль $\lambda_{\text{max}}=502 \text{ нм}$ и $\lambda_{\text{max}}=444 \text{ нм}$, а саме: $\text{HgI}_2:\text{HgBr}_2:\text{N}_2:\text{He} = 0.1 \text{ кПа} : 0.5 \text{ кПа} : 2 \text{ кПа} : 180 \text{ кПа}$. Досягнуті питомі потужності випромінювання: імпульсна $15.9 \text{ Вт} / \text{cm}^3$ і середня $12 \text{ мВт} / \text{cm}^3$ при частоті слідування імпульсів накачки 18 кГц , відповідно, ККД перетворення потужності накачування в потужність випромінювання $\sim 15\%$. Виявлено довготривалу ($\sim 10^7$ імпульсів стабільну (в межах помилки вимірювань 10%)) роботу ексилампи при підвищених частотах слідування імпульсів накачки, а саме $\geq 18 \text{ кГц}$, відповідно. Виявлено додаткові

процеси, що підвищують заселеність верхнього $B^2\Sigma_{1/2}^+$ -стану моногалогенідів ртуті в газорозрядній плазмі, якими є: додаткові процеси збудження молекул монобромиду ртуті ($B^2\Sigma_{1/2}^+$ - стану) - процес передачі заселеності від молекули

азоту в метастабільних станів $N_2 (A^3\Sigma_u^+)$, а також збудження радикалів $HgX(X^2\Sigma_{1/2}^+)$ електронами в $B^2\Sigma_{1/2}^+$ - стан моноїодиду і монобромиду ртуті.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Шевера, В.С., Шуайбов, А.К., Малинин, А.Н., Герц,С.Ю. Исследование эффективности образования моногалогенидов инертных газов в мпульсном разряде через диелектрик//Оптика и спектроскопия.- 1980, - Т.49, -№5, - С.1205-1206.
2. Boichenko, A M, Lomaev, M I, Panchenko, A. N, et al., Ultraviolet and Vacuum Ultraviolet Excilamps:Physics, Engineering, and Applications, STT, Tomsk, 2011.-512 p. [in Russian].
3. Malinina, Antonina. Diagnostics of Optical Characteristics and Parameters of Gas-Discharge Plasma Based on Mercury Diiodide and Helium Mixture// Open Journal of Applied Science.- 2015, -No 5, - P. 826-832.
4. Malinina, A.A., Malinin, A.N. Optical Characteristics of a Gas Discharge Plasma Based on a Mixture of Mercury Diiodide Vapor, Nitrogen, and Helium// Journal of Applied Spectroscopy.- 2016, -V. 83, -No. 4,-P. 592-597.
5. Малинина, А. А., Малинин, А. Н. Оптические характеристики и параметры газоразрядной плазмы на смеси паров дибромиды ртути и аргона//Физика плазмы.-2015,- Т. 41, -№ 3, -С. 307–316.
6. Efimov, A.I, Belorukova, L P, Vasil'kova, I V, Chechev, V. P., Properties of Inorganic Compounds, Handbook, Khimiya, Leningrad, 1983.- 392 p.
7. Pearse, R. W., Gaydon, A. G., "The Identification of Molecular Spectra", Wiley, New York, 1963.- 347 p.
8. Zaidel, A. N, Prokof'ev, V. K., Raiskii, S. M., Slavnyi, V. A. and Shreider ,E Ya, 'Tables of Spectral Lines", Nauka, Moscow, 1977. - 800 p.
9. Erlandson, A.C., Cool, T.A. On the regeneration mechanism of HgBr in HgBr/HgBr dissociation lasers// Chem. Phys. Lett.- 1983,-V.96, -No 6, -P.685-689.
10. Liu, C.S., Liberman, Irving (1987), "Chemical Control of HgBr Lasers", IEEE Journal of Quntum Electronics,V.QE-23,No.2, pp..245-252.
11. Chang, R.S.T., Burnham, R. Dissociative excitation of HgBr by rare gas metastable atoms and $N_2 (A^3\Sigma_u^+)$ // Appl.Phys.Lett.- 1980,-V.36.,- №6,- P. 397-400.
12. Raizer Yu. P. (), Gas Discharge Physics, Nauka, Moscow, 1991.- 592 p.
13. Malinina, A. A., Malinin, A.N., Shuaibov, A. K. Optical characteristics and parameters of gas- discharge atmospheric pressure plasma in a mixture of mercury diiodide and mercury dibromide vapor, nitrogen and helium, Proceedings of the XVIII International scientists' conference of Electronics and Applied Physics, October, 24-27, 2017, Kyiv, Ukraine; Taras Shevchenko National University of Kiev. pp. 173-174
14. Roxlo, C.,Mandl, A. Quenching kinetics for the HgBr ($B^2\Sigma_{1/2}$) and HgJ ($B^2\Sigma_{1/2}$, $C^2\Pi_{1/2}$) states// J.Chem.Phys.-1980,- V.72,- No.1,-P. 541-543.
15. Burhman, R., Schimitschek, E.J. High-power blue-green lasers//Laser Focus.- 1981,- No. 6, -P. 54-61.
16. Малинин, А.Н., Шимон, Л.Л. Возбуждение состояния - В молекул HgBr* в газоразрядной плазме на смеси дибромиды ртути с гелием//Квантовая электроника.-1996,- Т.23, -No.12,- С.1077-1080.

Стаття надійшла до редакції 3.12.2017.

А.А. Малинина, А.Н. Малинин

Ужгородский национальный университет, ул. Волошина, 54, Ужгород, 88000

e-mail: ant.malinina2018@gmail.com, alex.malinin@uzhnu.edu.ua

ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВУХПОЛОСНОЙ ЭКСИЛАМПЫ БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА НА МОЛЕКУЛАХ МОНОЙОДИДА И МОНОБРОМИДА РТУТИ

Приведены результаты исследования оптических характеристик (спектральных, интегральных и ресурсных) излучения газоразрядной плазмы атмосферного давления на смесях паров дийодида и дибромида ртути с малыми добавками молекулярного азота. Выявлено излучения в видимой области спектра спектральных полос эксиплексных молекул монойодида и монобромид ртути, молекул молекулярного азота и гелия, а также атомов гелия и ртути. Установлены закономерности в изменениях оптических характеристик плазмы в зависимости от частоты следования импульсов накачки, компонентного и количественного состава смесей. Данные исследований представляют интерес для создания мощных эксиплексных газоразрядных источников (эксиламп), одновременно излучают две полосы в видимом спектральном диапазоне.

Ключевые слова: эксилампа, галогеномисни молекулы, монойодид и монобромид ртути, видимый спектральный диапазон, барьерный разря

УДК 621.373.826.038.823

PACS 42.72.Bj, 52.80.-s, 52.80.Yr

DOI: 10.24144/2415-8038.2017.42.73-79

A.A. Malinina, A.N. Malinin

Uzhgorod National University, Voloshin Str, 54, Uzhgorod, 88000

e-mail: ant.malinina2018@gmail.com, alex.malinin@uzhnu.edu.ua

OPTICAL CHARACTERISTICS OF THE TWO-BAND BARRIER DISCHARGE EXCILAMP ON MERCURY MONOIODIDE AND MERCURY MONOBROMIDE MOLECULES

Introduction: An important direction in the development of excilamps is the study of working media emitting simultaneously several molecular bands of various exciplex molecules and or excimer molecules in the visible and ultraviolet spectral ranges in connection with possible applications in biotechnologies, medicine, and others.

Purpose: The aim of the research was to determine the optical characteristics of a two-band excilamp on mercury monoiodide and monobromide molecules, the working media of which is a barrier discharge plasma on a mixture of mercury diiodide vapor and mercury dibromide vapor with helium and a small admixture of molecular nitrogen.

Methods: The development of a gas-discharge plasma and excitation of the components of the working mixture was carried out by a pulse-periodic barrier discharge with a pulse repetition rate of 1-20 kHz, pulse duration was 150 ns.

Results: The ratio of the partial pressures of the components that give the maximum radiation yield at the wavelengths $\lambda_{\text{max}} = 502$ nm and $\lambda_{\text{max}} = 444$ nm, namely: $\text{HgI}_2:\text{HgBr}_2:\text{N}_2:\text{He} = 0.1$ kPa: 0.5 kPa: 2 kPa: 180 kPa are revealed. The following are achieved: the specific average and pulsed radiation power of 12 mW / cm³ and 15.9 W / cm³, respectively, at a pulse repetition rate of 18 kHz, the efficiency of excilamp is ~ 15%. The long-term operation of the excilampi was detected (~ 10⁷ pulses). Additional processes were found, that increase the population of the upper $B^2 \Sigma_{1/2}^+$ -state of mercury monohalides in the gas-discharge plasma, which are: additional processes of excitation of mercury monobromide molecules ($B^2 \Sigma_{1/2}^+$ -state)- the process of transfer of the population from the nitrogen molecule in metastable states of N₂ ($A^3 \Sigma_u^+$), as well as the excitation of radicals

$HgX(X^2\Sigma_{1/2}^+)$ by electrons in $B^2\Sigma_{1/2}^+$ -state of mercury monoiodide and mercury monobromide molecules.

Conclusion: The optical characteristics of a two-band barrier discharge excilamp on a mixture of mercury diiodide and mercury dibromide with helium and a small addition of molecular nitrogen are established. The radiation spectrum consists of the predominant radiation of two spectral bands of mercury monoiodide and mercury monobromide exciplex molecules, and low-intensity spectral bands of molecular nitrogen, lines of helium atoms and mercury. It is established the regularities in the change of the dependence in optical characteristics of plasma on repetition rate of the pump pulses of the discharge and quantitative composition of mixtures. These studies are of interest for the production of exciplex gas-discharge sources (excilamps) that simultaneously radiate two bands in a visible spectral range.

Keywords: excilamp, halogen-containing molecules, mercury monoiodide and mercury monobromide, visible spectral range, barrier discharge.

REFERENCES

1. Shevera, V.S., Shuaibov, A.K., Malinin, A.N., Herz, S.Yu. (1980), "Issledovanie effektivnosti obrazovaniya monogalogenidov inertnih gazov v impulsnom razryade cherez dielectric", *Optika I spectroscopiya*, V.49, No 5, pp.1205-1206.
2. Boichenko, A M, Lomaev, M I, Panchenko, A. N, et al. (2011), *Ultraviolet and Vacuum Ultraviolet Excilamps: Physics, Engineering, and Applications*, STT, Tomsk, 512 p. [in Russian].
3. Malinina, Antonina (2015), "Diagnostics of Optical Characteristics and Parameters of Gas-Discharge Plasma Based on Mercury Diiodide and Heliuerm Mixture", *Open Journal of Applied Science*, No5, pp.826-832.
4. Malinina, A.A., Malinin, A.N. (2016), "Optical Characteristics of a Gas Discharge Plasma Based on a Mixture of Mercury Diiodide Vapor, Nitrogen, and Helium", *Journal of Applied Spectroscopy*, V. 83, No. 4, pp. 592-597.
4. Malinina, A.A., Malinin, A.N. (2015), "Optical characteristics and parameters of gas-discharge plasma in a mixture of mercury dibromide vapor with argon", *Plasma Physics Reports*, V. 41, No 3, pp. 281-289.
5. Efimov, A. I, Belorukova, L P, Vasil'kova, I V, Chechev, V. P. (1983), *Properties of Inorganic Compounds, Handbook*, Khimiya, Leningrad, 392 p.
6. Pearse, R. W., Gaydon, A. G. (1963), "The Identification of Molecular Spectra", Wiley, New York, 347 p.
7. Zaidel, A. N, Prokof'ev, V. K., Raiskii, S. M., Slavnyi, V.A. and Shreider, E.Ya (1977), "Tables of Spectral Lines", Nauka, Moscow, 800 p.
8. Erlandson, A.C., Cool, T.A. (1983), "On the regeneration mechanism of HgBr in HgBr/HgBr dissociation lasers", *Chem. Phys. Lett.*, V.96, No 6, pp.685-689.
9. Liu, C.S., Liberman, Irving (1987), "Chemical Control of HgBr Lasers", *IEEE Journal of Quantum Electronics*, V.QE-23, No.2, pp..245-252.
10. Chang, R.S.T., Burnham, R. (1980), "Dissociative excitation of HgBr by rare gas metastable atoms", *Appl.Phys.Lett.*, V.36., №6, pp. 397-400.
11. Raizer Yu. P. (1991), *Gas Discharge Physics*, Nauka, Moscow, 592 p.
12. Malinina, A. A., Malinin, A.N., Shuaibov, A. K. "Optical characteristics and parameters of gas- discharge atmospheric pressure plasma in a mixture of mercury diiodide and mercury dibromide vapor, nitrogen and helium", *Proceedings of the XVIII International scientists' conference of Electronics and Applied Physics*, October, 24-27, 2017, Kyiv, Ukraine; Taras Shevchenko National University of Kiev. pp. 173-174
13. Roxlo, C., Mandl, A "Quenching kinetics for the HgBr ($B^2\Sigma_{1/2}$) and HgJ ($B^2\Sigma_{1/2}$, $C^2\Pi_{1/2}$) states", *J.Chem.Phys.*, (1980), V.72, No.1., pp.541-543.
14. Burhman, R., Schimitschek, E.J. (1981), "High-power blue-green lasers", *Laser Focus*, No. 6, pp.54-61.
15. Malinin, A.N., Shimon, L.L. (1996), "Vozbuzhdenie sostoyaniya - B molecul HgBr* v gazorazryadnoj plasme na smesi dibromida rtuti s geliem", *Kvantovaya elektronika*, V.23, No.12, pp.1077-1080.