

ПРО КОМБІНОВАНЕ ЕЛЕКТРОННО-ОПТИЧНЕ ЗБУДЖЕННЯ РЕЗОНАНСНОГО РІВНЯ АТОМА ВІСМУТУ В ГАЗОВОМУ РОЗРЯДІ НА СУМІШІ ВІ-ХЕ-NACl

Р.Б. Рійвес, Ю.В. Жменяк, В.А. Кельман, Ю.О. Шпеник

Інститут електронної фізики НАН України, вул. Університетська, 21, Ужгород, 88017
e-mail: vkcl@mail.uzhgorod.ua

Досліджені спектральні та часові характеристики випромінювання по-здовжнього імпульсно-періодичного розряду на сумішах Вi-Ne-NaCl та Вi-Хе-NaCl. Показано, що в газовому розряді на суміші Вi-Хе-NaCl крім електронно-го збудження резонансного рівня Вi I відбувається додаткове його заселення завдяки поглинанню випромінювання ексиплексних молекул ХеCl.

Вступ

В роботах [1,2] нами повідомлялося про результати дослідження емісійних властивостей ексиплексного джерела ультрафіолетового випромінювання низького тиску з позовжнім високовольтним імпульсно-періодичним розрядом на суміші ксенону з нетоксичним галогеноносієм NaCl. Спектр випромінювання цього джерела характеризується наявністю домінуючого випромінювання В→Х переходу молекули ХеCl з максимумом при $\lambda = 308$ нм, в якому сконцентрована переважна частина потужності випромінювання газового розряду. Висока інтенсивність та вузька ширина (не більше 5 нм на напіввисоті) смуги ХеCl робить це джерело випромінювання перспективним для оптичного накачування атомних та молекулярних рівнів, яке відзначається в лазерній фізиці високою селективністю.

Маючи на увазі унікальні властивості розробленого нами джерела випромінювання, ми скористалися ним для вивчення можливості додаткового підкачування збуджуваних в газовому розряді атомних рівнів, для яких лінії поглинання з основного стану знаходяться в межах смуги $\lambda = 308$ нм В→Х переходу ексимерної молекули ХеCl*. Тобто, пропонується дослідити принципову можливість комбінованого опто-розрядного накачування атомних рівнів в активному середовищі

ексимерної лампи як механізму збудження генерації на атомних переходах.

Об'єктом досліджень було обрано атом вісмуту. Це зумовлено тим, що, по-перше, резонансний перехід Вi I $\lambda = 306,8$ нм лежить в межах смуги В→Х переходу ХеCl (див. рис. 1), а, по-друге, відомий лазер на самообмеженому переході атома вісмуту [3,4] з $\lambda 472,1$ нм, і додаткова підкачка резонансного рівня Вi I випромінюванням ексимерної смуги ХеCl може сприяти покращенню вихідних характеристик цього лазера.

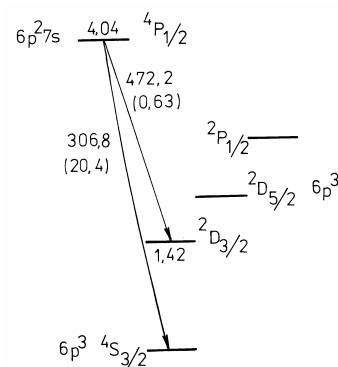


Рис. 1. Схема нижніх рівнів атома вісмуту (енергії збудження, еВ; спектроскопічна ідентифікація) та спектральних переходів (довжини хвиль, нм; ймовірності переходів, 10^7 с⁻¹).

Для вивчення впливу, який здійснюють присутні в газовому розряді ексиплексні молекули ХеCl* та їх емісія $\lambda = 308$ нм на характер випромінювання збуджуваних в розряді атомів вісмуту, були проведені дослідження спектральних та

часових характеристик випромінювання розряду на сумішах Bi-Ne-NaCl та Bi-Xe-NaCl.

1. Техніка і методика експерименту

Експериментальні дослідження проводились з використанням простого випромінювача, що складався з зовнішньої вакуумно-герметичної трубки з плавленого кварцу, та внутрішньої кварцової трубки-вкладиша діаметром 12 мм (власне газорозрядної трубки (ГРТ)) з прорізами, рівномірно розподіленими по довжині. У прорізах ГРТ були розміщені шматочки вісмуту та порошок хлориду натрію. Довжина міжелектродного проміжку складала 400 мм. Вклеєні в протилежні торці ГРТ мідні електроди охолоджувалися проточною водою. Для підтримання температурного режиму передбачено, поряд з саморозігрівом за рахунок розряду, використання зовнішньої печі. Випромінювання виводилося з ГРТ через вихідні кварцові вікна, які були винесені із зони нагріву.

Для збудження поздовжнього імпульсно-періодичного розряду в ГРТ використовувалась схема з резонансним зарядом накопичувальної ємності $C_n = 680$ пФ та подальшим розрядом її через тиратрон ТГИ1-2000/35 та ГРТ.

Дослідження спектрів випромінювання розряду та часових характеристик імпульсного випромінювання проводилось за допомогою системи реєстрації, яка містила монохроматор МДР-6, фотоприймач ФЭУ-106, самописець Н-307/1.

2. Результати досліджень та обговорення

На рис. 2 приведені інтегровані в часі $J(\lambda)$ емісійні спектри розряду на сумішах Bi-Ne-NaCl та Bi-Xe-NaCl. Умови експерименту приведені безпосередньо у підписах до рисунків. Спектри обмежені діапазоном $\lambda = 260 - 480$ нм. Величина випромінюваної по тужності поза цими межами є незначною. Як і очікувалось, в спектрі випромінювання газового розряду на суміші Bi-Ne-NaCl домінують лінії, що

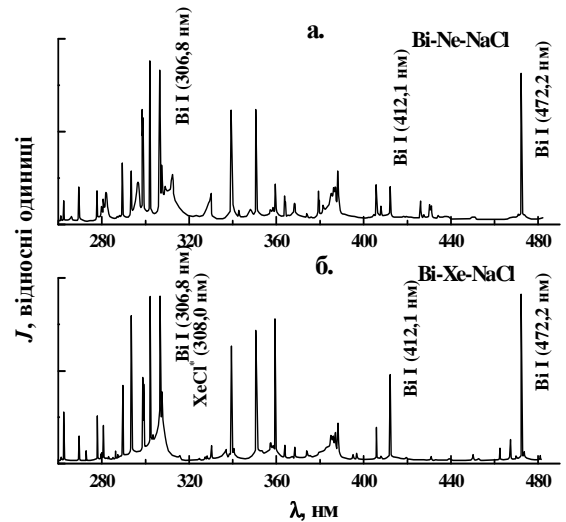


Рис. 2. Інтегровані в часі спектри випромінювання $J(\lambda)$ розряду на сумішах Bi-Ne-NaCl та Bi-Xe-NaCl:

- а. – $U_B = 5,9$ кВ, $I_B = 120$ мА, $f = 5,5$ кГц, $T = 1080$ К, $p(\text{Ne}) = 3$ Тор
- б. – $U_B = 5,85$ кВ, $I_B = 110$ мА, $f = 5,5$ кГц, $T = 1060$ К, $p(\text{Xe}) = 30$ Тор

відповідають переходам з резонансного рівня Bi I, зокрема, на основний ($\lambda = 306,8$ нм) та метастабільний ($\lambda = 472,2$ нм) рівні.

При заміні в газорозрядній трубці інертного газу неону на ксенон в спектрі, крім ліній вісмуту, з'являється смуга випромінювання ексиплексної молекули XeCl з максимумом при $\lambda = 308$ нм, а інтенсивність атомних ліній вісмуту, що відповідають переходам з резонансного рівня, зростає на 10 – 15 % (рис. 2 б). Ексиплексні молекули, як показано в роботах [2,5], утворюються в розряді переважно в результаті бінарних реакцій заміщення атомів натрію в молекулах NaCl збудженими атомами та іонами ксенону. Приведені результати свідчать про додаткову підкачку резонансного рівня Bi випромінюванням ексимерної смуги молекул XeCl.

Отримані інтегровані в часі емісійні спектри газового розряду на сумішах Bi-Ne-NaCl та Bi-Xe-NaCl приведені на рисунку при значеннях тисків інертних газів $p(\text{Ne}) = 3$ Тор, $p(\text{Xe}) = 30$ Тор, що відповідають оптимальним умовам збудження переходів з резонансного рівня вісмуту максимальної інтенсивності.

Підкачка резонансного рівня Ві в активному середовищі ексимерної лампи на суміші Хе-NaCl можлива завдяки вдалому узгодженню температурних інтервалів газорозрядної трубки, в яких інтенсивності випромінювання переходів з резонансного рівня Ві та смуги 308 нм молекул ХеCl близькі до максимальних. Це зумовлено, як слідує з приведених на рис. 3 температурних залежностей пружності насичених парів хлориду натрію та вісмуту [6],

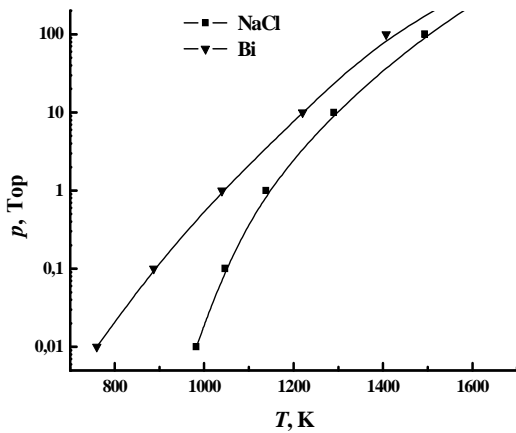


Рис. 3. Залежність тиску насичених парів p Ві та NaCl від температури T [6]

незначною різницею тисків насичених парів цих речовин при робочій температурі газорозрядної трубки.

На рис. 4 приведені часові форми (осцилограми) імпульсів струму та інтенсивностей випромінювання спектральних переходів з резонансного на основний та метастабільний рівні атомарного вісмуту ($\lambda = 306,8$ та $\lambda = 472,2$ нм).

Ці залежності також свідчать про зростання інтенсивності атомарних ліній Ві при заміні в ГРТ інертного газу неону на ксенон. Причому, характерним для обох ліній є як більш різке наростання інтенсивності з розвитком струму в ГРТ, так і більш тривале післясвічення. Не виключено, однак, що поряд із підкачкою резонансного рівня опромінення димерів вісмуту, присутніх в розряді, випромінюванням смуги 308 нм ексимерної молекули

ХеCl, може супроводжуватися додатковим заселенням й нижнього метастабільного рівня вісмуту [7, 8].

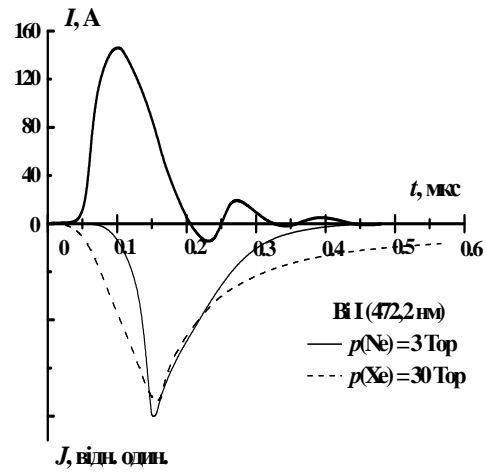


Рис. 4. Часові форми (осцилограми) імпульсів струму $I(t)$ та випромінювання ліній Ві I (472,2 нм) в розряді на сумішах Ві-Ne-NaCl та Ві-Хе-NaCl: $U_B = 7$ кВ, $I_B = 80-90$ мА, $C_H = 680$ пФ, $f = 6$ кГц, $T = 1070-1090$ К

Висновки

Таким чином, результати проведених нами досліджень показують, що в імпульсно-періодичному газовому розряді на суміші Ві – Хе – NaCl відбувається утворення ексимерних молекул ХеCl. Внаслідок цього до механізму електронного збудження в розряді резонансного рівня вісмуту підключається додаткова оптична підкачка цього рівня випромінюванням ексимерних молекул ХеCl, про що свідчать як спектральні, так і часові характеристики випромінювання.

В зв'язку з вищесказаним видається актуальним пошук активних середовищ на основі сумішей ксенону та галогеноносіїв для лазерів з комбінованим оптично-розрядним накачуванням, особливо на переходах молекул, що здатні значно ефективніше поглинати випромінювання ексимерних молекул, аніж атоми.

Література

1. І.О. Завізіон, Р.Б. Рійвес, Є.А. Світличний, Ю.В. Жменяк, В.А. Кельман,

Ю.О. Шпенник, Науковий вісник Ужгородського університету Серія Фізика 14, 91 (2003).

2. Р.Б. Рийвес, Е.А. Светличный, Ю.В. Жменяк, В.А. Кельман, Ю.О. Шпеник, Журнал технической физики 74, 10, 90 (2004).
3. С.В. Маркова, Г.Г. Петраш, В.М. Черезов, Квантовая электроника 4, 1154 (1977).
4. С.В. Маркова, Г.Г. Петраш, В.М. Черезов, Квантовая электроника 6, 1200 (1979).
5. А.А. Алехин, В.А. Баринов, Ю.В. Герасько и др. Журнал технической физики 63, 26, 43 (1993).
6. Таблицы физических величин. Под ред. И.К. Кикоина. (Атомиздат, Москва, 1976), 1008 с.
7. Запесочный И.П., Кельман В.А., Шпеник Ю.О. О механизме влияния димеров Bi_2 на выходные характеристики лазера на парах висмута // Оптика и спектроскопия. 66, 711 (1989).
8. Кельман В.А., Опачко І.І., Жменяк Ю.В., Шпеник Ю.О. Фізика, техніка і практика застосувань газорозрядних лазерів на самообмежених переходах. (Наукова думка, Київ. 2004), 157 с.

ON THE COMBINED ELECTRON-OPTICAL EXCITATION OF THE BISMUTH ATOM RESONANT LEVEL IN THE Bi-Xe-NaCl MIXTURE DISCHARGE

R.B. Riyves, Yu.V. Zhmenyak, V.A. Kelman, Yu.O. Shpenik

Institute of Electron Physics, Ukr. Nat. Acad. Sci., Universytetska St. 21, Uzhhorod, 88017
e-mail: vkkel@mail.uzhgorod.ua

The spectral and time-dependent parameters of the longitudinal pulse-periodic discharge radiation of the Bi-Ne-NaCl and Bi-Xe-NaCl mixtures were investigated. It is established, that over the electron excitation, additional population of the BiI resonant level occurs due to the absorption of XeCl excimer molecules radiation.