

# ПОШУК ІМПУЛЬСНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ НА САМООБМЕЖЕНИХ ПЕРЕХОДАХ АТОМА ІНДІЮ

**Р.Б.Рійвес**

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

Виконано вимірювання інтегрованих у часі спектрів випромінювання імпульсно-періодичного розряду у сумішах галогенідів індію InI, InBr, InBr<sub>3</sub> з буферними газами гелієм та неоном та спектрів поглинання парів галогенідів з метою визначення оптимального активного середовища для лазера на самообмеженому переході  $6s^2S_{1/2} \rightarrow 5p^2P_{3/2}$  атома індію з довжиною хвилі 451,1 нм у синій області спектру. Встановлено, що у спектрах поглинання йодиду та бромиду індію присутні коливально-розділені смуги електронних X – A, X – B та X – C переходів. Спектр поглинання InBr<sub>3</sub> неструктурований. За сукупністю поглинальних та інших фізико-хімічних властивостей перевагу в пошуку генерації слід надати бромідові індію.

## Вступ

У роботі [1] для створення лазера на самообмеженому переході (СОП) в синій області спектру нами запропоновано використати перехід з резонансного (*r*) на метастабільний (*m*) рівень атома індію  $6s^2S_{1/2} \rightarrow 5p^2P_{3/2}$  з довжиною хвилі 451,1 нм. Існуючі до теперішнього часу лазери даного типу на парах вісмуту та заліза [2, 3] відзначаються низьким значенням експлуатаційних характеристик – потужності генерації та ККД. З цієї причини, наприклад, гальмується реалізація кольорових лазерних проєкційних пристроїв. У даній роботі проводиться експериментальне вивчення випромінювальних та поглинальних властивостей молекул галогенідів індію в плані перспективності їх використання в ролі активного середовища для лазера на СОП атома індію.

Як було відзначено в [1], атом індію має принаймні дві привабливі особливості. По-перше, граничний ККД самообмеженого переходу 451,1 нм, що визначається як

$$\eta = \frac{g_m}{g_r + g_m} \frac{E_r - E_m}{E_r},$$

становить 60,6 % ( $E_r$ ,  $g_r$  і  $E_m$ ,  $g_m$  – відповідно енергії і статваги резонансного та метастабільного рівнів). По-друге, існує значна схожість електронних структур індію і талію, на якому вже спостерігалась генерація на аналогічному переході в зеленій області спектру [4].

Існує також ряд принципових труднощів реалізації лазерної генерації на СОП атома індію. До числа головних слід віднести три обставини.

По-перше, метастабільний рівень атома індію розміщений досить близько до основного –  $E_m = 0,274$  еВ. На рис.1 представлено температурну залежність відношення рівноважних за Больцманом заселеностей метастабільного та основного рівнів індію. Видно, що при температурі 1315 К (1042 °С), якій відповідає тиск насиченої пари індію 0,1 Тор, що зазвичай використовується в більшості випадків у лазерах на СОП, це відношення становить близько 0,18. Але один з критеріїв Гоулда ефективної роботи лазера на СОП та досвід роботи з діючими лазерами, вимагає, щоб це відношення становило не більше  $10^{-3}$ . Це виключає можливість використання чистих парів індію в ролі ак-

тивного середовища. У зв'язку з цим для збудження генерації у розряді ми пропонуємо використати пари молекул галогенідів індію, а саме InI, InBr, InBr<sub>3</sub>. На рис.2 наведено температурні залежності тиску насичених парів цих сполук, отриманих на основі даних з [5]. Із сукупності наведених на рис.1 та 2 даних слідує, що для бромідів індію можна сподіватися суттєвого зменшення рівноважної заселеності метастабільного стану індію у розряді до прийняттого рівня порядку  $2-5 \cdot 10^{-3}$  по відношенню до основного рівня.

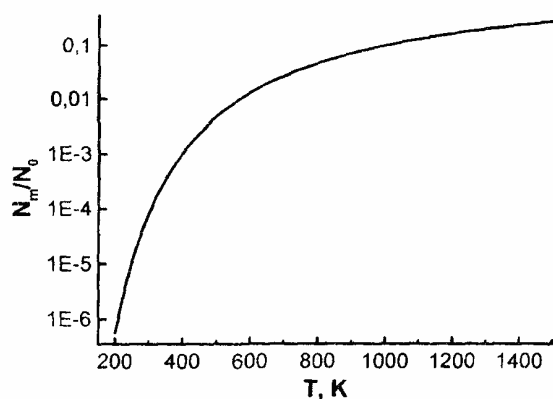


Рис. 1. Температурна залежність відношення рівноважних заселеностей метастабільного та основного рівнів індію.

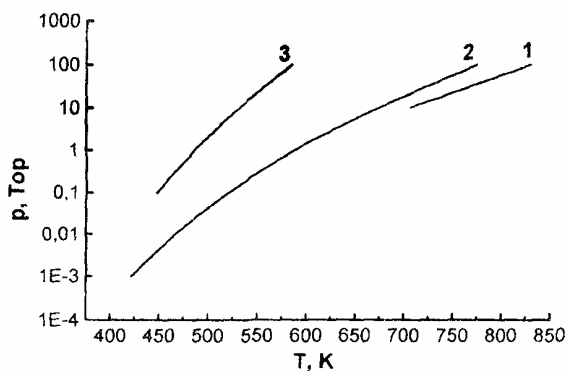


Рис. 2. Температурна залежність тиску насичених парів галогенідів індію: 1 – InI, 2 – InBr, 3 – InBr<sub>3</sub> [5].

По-друге, ймовірність радіаційного розпаду резонансного рівня по самообмеженому переходу дещо вища, ніж в резонансну лінію –  $A_{rm} = 0,56 \cdot 10^8 \text{ c}^{-1}$  [6]. То-

му тривалість імпульсу накачки (його переднього фронту) по можливості не повинна перевищувати 10 нс.

По-третє, зрозуміло, що схема реалізації імпульсної генерації на СОП передбачає переважну швидкість накачки резонансного рівня порівняно з метастабільним, індуковану непружними електрон-атомними зіткненнями. Що стосується збудження атомів індію електронним ударом, існують достатньо надійні дані [7] відносно енергетичних залежностей ефективності цього процесу для резонансного рівня. Однак, нам не вдалося знайти даних відносно ефективних перерізів (швидкостей) збудження метастабільного рівня. Тому є значна невизначеність у тому, наскільки звичайні надії на сприятливе співвідношення швидкостей цих процесів тут виправдані.

У цій публікації ми наводимо дані відносно випромінювальних та поглинальних властивостей молекул галогенідів індію. Не відносячи ці дані до числа вказаних трьох найбільш критичних факторів, тим не менше вважаємо, що їх також необхідно враховувати при пошуку лазерної генерації на СОП атома індію.

### Техніка і методика експерименту

Експериментальні дослідження виконувались з використанням газорозрядної трубки (ГРТ) з плавленого кварцу. Розряд був обмежений розставленими вздовж трубки керамічними кільцями з внутрішнім діаметром 12 мм, у проміжках між якими розміщувались шматочки одного з галогенідів. Довжина міжелектродного проміжку – 400 мм. Для підтримання температурного режиму передбачено використання зовнішнього резистивного нагрівача.

Для збудження розряду в імпульсно-періодичному режимі у більшості випадків використовувалася схема з накопичувальною ємністю  $C_H = 680 - 2200 \text{ пФ}$  та комутуючим тиратроном ТГІ1-2000/35. В імпульсному режимі з низькою

частотою повторення (до 100 Гц) використовувався блок живлення від азотного лазера ЛГИ-21. В ролі буферних газів використовувалися гелій та неон.

Запис інтегрованих у часі спектрів випромінювання розряду та спектрів поглинання виконано з застосуванням монохроматора МДР-6, фотоприймача ФЭУ-106 та самописця.

Часові характеристики імпульсних сигналів із датчиків струму, напруги та фотопомножувача досліджувалися з допомогою осцилографа С1-99.

### Результати досліджень та обговорення

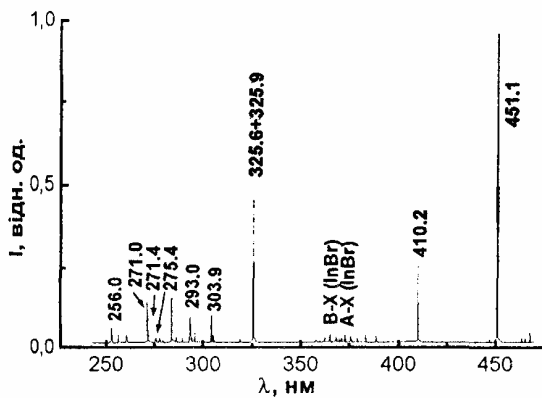


Рис. 3. Інтегрований у часі спектр випромінювання суміші InBr-He ( $U = 5,6$  кВ,  $f = 7$ кГц,  $T = 548$  К,  $p_{\text{He}} = 7,5$  Тор).

Вивчено інтегровані в часі спектри випромінювання в суміші парів галогенідів індію з неоном та гелієм. Як приклад, на рис.3 представлено спектр випромінювання розряду у суміші InBr-He. В цілому емісійні спектри усіх використаних сполук досить схожі. В усій досліджуваній області спектру домінуючими є лінії індію. Найбільшою інтенсивністю відрізняються переходи з резонансного стану  $6s^2S_{1/2} \rightarrow 5p^2P_{1/2,3/2}$  (410,2 та 451,1 нм) і  $5^2D_{3/2,5/2} \rightarrow 5^2P_{3/2}$  переходи (325,6 та 325,8 нм). Присутні також і всі інші лінії, які відповідають переходам між найнижчими станами атома індію. Спостерігаються також емісії, що належать батьківським молекулам InI та InBr –  $A \rightarrow X$  і  $B \rightarrow X$  переходи. Для йодиду індію дані переходи відповідають дов-

жинам хвиль відповідно  $\sim 410$  та  $\sim 400$  нм. Для бромиду індію – 375,9 та 365,2 нм [8]. В цілому такий вигляд спектрів є характерним і для лазерів на галогенідах міді.

Спектри поглинання (рис.4, 5, 6) отримано просвічуванням розрядної трубки з відключеним розрядом джерелами суцільного спектру (лампа розжарювання і воднева лампа). У цих спектрах наявні смуги поглинання X – A, X – B та X – C переходів. На відміну від переходів  $A \rightarrow X$  та  $B \rightarrow X$ , перехід  $C \rightarrow X$  у спектрах випромінювання не спостерігається.

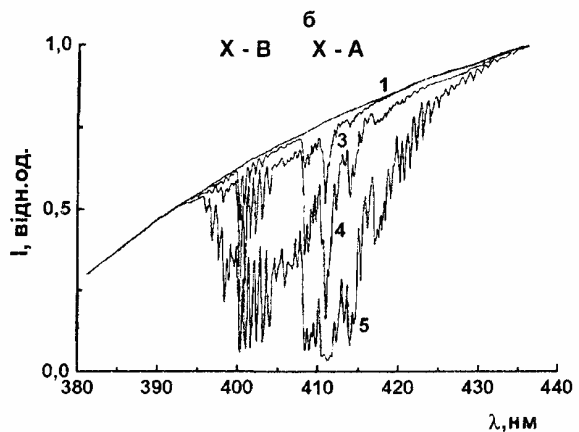
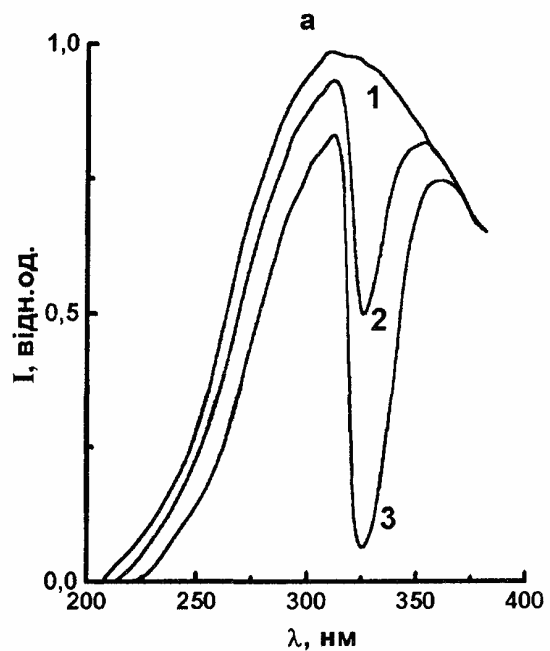


Рис. 4. Спектри поглинання парів InI ( $p_{\text{Ne}} = 2$  Тор,  $T = 293(1), 463(2), 523(3), 573(4), 623(5)$  К) у спектральних інтервалах 220 – 370 (а) та 380 – 430 (б) нм.

Видно, що у спектрі поглинання йодиду індію резонансна лінія індію 410,2 нм знаходиться в області смуги поглинання X – A переходу. У спектрі ж поглинання моноброміду індію як резонансна лінія (410,2 нм), так і СОП (451,1 нм) знаходиться за межами смуг поглинання. Спектр поглинання триброміду індію значно відрізняється від вищевказаних своєю неструктурованістю.

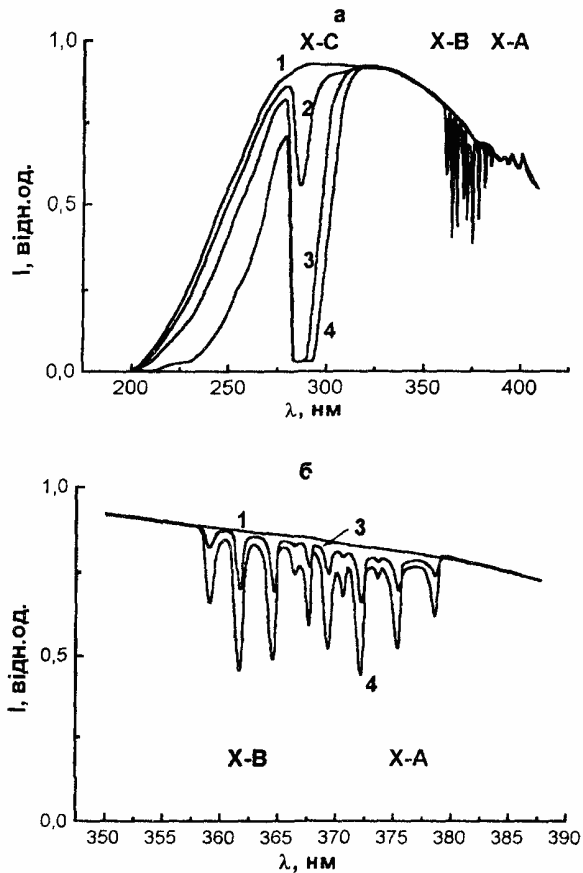


Рис. 5. Спектри поглинання парів  $\text{InBr}$  ( $p_{\text{He}} = 75 \text{ Тор}$ ,  $T = 293(1), 543(2), 573(3), 608(4) \text{ К}$ ) в спектральних інтервалах 200 – 420 (а) та 350 – 390 (б) нм.

Заселення резонансного рівня індію в режимах роботи ГРТ з високою частотою повторення імпульсів (кілька кілогерц) здійснюється як за рахунок дисоціативного збудження молекул галогенідів індію, так і шляхом прямого збудження атомів індію, що залишаються від попереднього імпульсу, електронами розряду. Для режимів з частотою повторення 100

Гц емісія атомів індію виникає за рахунок лише першого вказаного процесу. Такий механізм накачки реалізовано у лазері на парах талію з використанням ТП в ролі активного середовища [3].

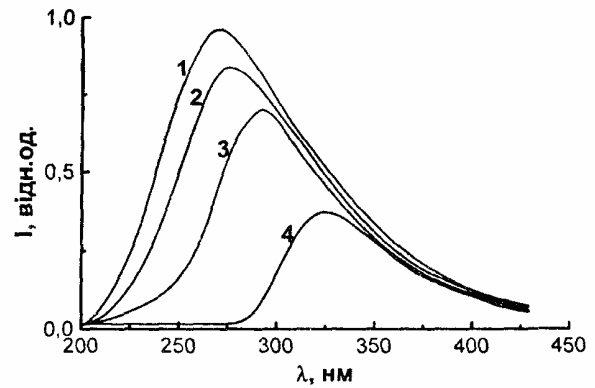


Рис. 6. Спектри поглинання парів  $\text{InBr}_3$  ( $p_{\text{He}} = 75 \text{ Тор}$ ,  $T = 293(1), 463(2), 485(3), 508(4) \text{ К}$ ) в спектральному інтервалі 200 – 430 нм.

Дослідження часових форм імпульсів струму розряду та випромінювання на СОП для галогенідів індію показало, що тривалості імпульсів у всіх випадках схожі і становлять по основі близько 80-100 нс. Передній фронт імпульсу при цьому становить не більше 15-20 нс.

### Висновки

Отримані результати дозволяють стверджувати, що серед апробованих нами для отримання імпульсної генерації на СОП атома індію кращою сукупністю властивостей характеризуються молекули бромідів індію  $\text{InBr}$ ,  $\text{InBr}_3$ . У порівнянні з моноїодидом індію молекули бромідів індію мають ряд переваг. Зокрема, можливість отримання генерації на СОП атома індію є дуже чутливою до величини співвідношення концентрацій метастабільного й основного станів. Оскільки броміди мають вищу пружність насичених парів, аніж йодид індію, тому вони забезпечують нижчий рівень цього критичного параметру. З точки зору погли-

нальних властивостей броміди є кращими через те, що як резонансна лінія, так і СОП атома індію не поглинаються цими молекулами.

Подальші зусилля спрямовуватимуться на вивчення кінетики населеності атомів індію в основному й метастабільному станах і молекул бромідів індію в розряді.

### Література

1. Ю.В.Жменяк, В.А.Кельман, Р.Б.Рійвес, Ю.О.Шпеник, Оптика и спектроскопия 93, 565 (2002).
2. С.В.Маркова, Г.Г.Петраш, В.М.Черезов, Квантовая электроника 4, 1154 (1977).
3. M.J.Linevsky, T.W.Karras, Appl. Phys. Lett. 33, 720 (1978).
4. А.А.Исаев, Г.Г.Петраш, Письма в ЖЭТФ 7, 204 (1968).
5. Таблицы физических величин. Под ред. И.К.Кикоина (Атомиздат, Москва, 1976), с.1008.
6. А.А.Радциг, Б.М.Смирнов, Параметры атомов и атомных ионов. Справочник (Энергоиздат, Москва, 1986), с.344.
7. Справочник химика. Т.1. Гл. редактор Б.П.Никольский (Химия, Ленинградское отделение, 1971), с.1071.
8. К.П.Хьюбер, Г.Герцберг, Константы двухатомных молекул. Часть 1. (Мир, Москва, 1984), с.408.

## SEARCH FOR PULSED GENERATION ON INDIUM ATOM SELFTERMINATING TRANSITIONS

**R.B.Riyves**

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

Measurements of time integrated spectra of radiation of pulse periodic discharge in mixtures of indium halides InI, InBr, InBr<sub>3</sub> with buffer gases helium and neon and absorption spectra of these halide vapors were carried out aimed at determination of an optimal active medium for a laser on self-terminating transition  $6s\ ^2S_{1/2} \rightarrow 5p\ ^2P_{3/2}$  of atomic indium with wavelength 451,1 nm in blue spectral range. The presence of indium iodide and bromide oscillatory-resolved bands of X-A, X-B and X-C electronic transitions in absorption spectra is shown. The absorption spectrum of InBr<sub>3</sub> is unstructured. On the base of the absorption studies and other physical and chemical data of indium halides indium bromide is chosen to be a preferable compound in the search for the generation.