

ЕЛЕКТРОН- ТА ІОН-ФОТОННА ЕМІСІЯ KBr І KCl

**М.В. Приходько, І.Є. Митропольський, М.І. Лінтур,
Л.М. Маркович, С.С. Поп**

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

Методами електрон-фотонної та іон-фотонної спектроскопії досліджено спектральний склад оптичного випромінювання, яке виникає при бомбардуванні електронами та іонами середніх енергій поверхні деяких лужно-галогенних кристалів (KBr і KCl). В досліджених спектрах виявлено два види випромінювання, різні за місцем локалізації та механізмом генерації, а саме, характеристичне випромінювання атомів і іонів лужного металу і неперервне випромінювання в широкій області довжин хвиль. Для кристалу KBr обчислено абсолютний вихід фотонів при опроміненні електронами з енергією 600 еВ.

ВСТУП

Бомбардування електронами і іонами середніх енергій поверхні лужно-галогенних кристалів (ЛГК) супроводжується ефективною емісією фотонів із області взаємодії [1,2]. В спектрах як електрон-, так і іон-фотонної емісії (ЕФЕ і ІФЕ) ЛГК присутні дві компоненти: а) характеристичне випромінювання, яке емітується розпорощеними збудженими атомами лужного металу, і, в випадку іонного бомбардування, розсіяними частинками первинного пучка; б) неперервне випромінювання, яке емітується безпосередньо бомбардуваною поверхнею. На теперішній час запропоновано кілька механізмів розпорощення ЛГК як електронами, так і іонами [1-4]. Особливий інтерес представляє електронне розпорощення ЛГК, для якого зареєстровані аномальні коефіцієнти розпорощення [1], і питання про механізм розпорощення електронами в цілому залишається відкритим, а вивчення емісії фотонів при такій взаємодії є одним із важливих джерел отримання експериментальної інформації. Для розуміння процесів електронного розпорощення ЛГК також важлива інформація про абсолютний вихід фотонів при опроміненні зразків електронами середніх енергій, оскільки в літературі практично не зустрічаються роботи, присвячені даній тематиці. З іншого боку, ці величини можуть бути важливими для визначення можливості технологі-

чного використання явища електрон-стимульованої десорбції ЛГК. Що стосується неперервного випромінювання, то і при електронному, і при іонному бомбардуванні його природа однакова, і пов'язана з генерацією, збудженням та релаксацією дефектів кристала [2].

Метою даної роботи є отримання експериментальних даних про спектральний склад випромінювання, яке виникає при бомбардуванні електронами і іонами середніх енергій поверхні KBr і KCl , поглиблення знань про механізми генерації як характеристичного, так і неперервного випромінювання, а також визначення абсолютного виходу фотонів з поверхні KBr при опроміненні електронами з енергією 600 еВ.

ЕКСПЕРИМЕНТ

Експерименти по вивченню іон-фотонної емісії ЛГК проводилися на установці „Ореол.” В якості досліджуваних зразків були вибрані монокристали KBr і KCl . Поверхня зразків перед встановленням в вакуумну камеру взаємодій шліфувалась і полірувалась. Подальше доочищення мішені здійснювалося безпосередньо у робочій камері шляхом іонного бомбардування. Під час експериментів залишковий тиск в камері взаємодії складав не більше 10^{-7} Тор. Джерело іонів забезпечувало формування пучка іонів K^+ з енергією $E_p=1-15$ кеВ. Випромінювання в

області довжин хвиль від 250 до 800 нм аналізувалося за допомогою монохроматора МДР-6У і детектувалося фотоелектронним помножувачем ФЭУ-106. Запис спектру здійснювався за допомогою самописця КСП-4.

Дослідження електрон-фотонної емісії ЛГК проводились з використанням електрон-фотонного спектрометра, виготовленого на базі надвисоковакуумної системи УСУ-4 [5]. У якості досліджуваних зразків були використані ті ж монокристали ЛГК, що і при іонному опроміненні. Доочищення мішеней після їх шліфування і полірування здійснювалося безпосередньо у камері взаємодій при високому вакуумі ($P_{зал.} \leq 1 \cdot 10^{-6}$ Тор) нагріванням до температур ~ 500 °С та опроміненням високоенергетичними електронами ($E_p \sim 1000$ еВ). Під час проведення експериментів фоновий тиск залишкових газів у камері зіткнень становив $P_{зал.} \leq 5 \cdot 10^{-9}$ Тор. Бомбардування досліджуваного зразка здійснювалось під кутом $\alpha = 15^\circ$ відносно нормалі до поверхні, а кут спостереження випромінювання вибирався близьким до нормалі. Випромінювання в області довжин хвиль від 200 до 800 нм аналізувалось за допомогою світлосильного монохроматора МДР-12. Вхідна і вихідна щілини монохроматора вибирались рівними 0,25 мм, що забезпечувало роздільну здатність 4 Å. Інтенсивність виділеного монохроматором випромінювання вимірювалася в режимі лічби фотоелектронів з використанням у якості детектора фотоелектронного помножувача ФЭУ-106, а запис спектрів здійснювався електричним потенціометром КСП-4. Для отримання явного виду спектру електрон-фотонної емісії (ЕФЕ) *KBr* та розрахунку абсолютного виходу фотонів з його поверхні було використано виміряну нами спектральну чутливість системи реєстрації, яка представлена на рис. 1.

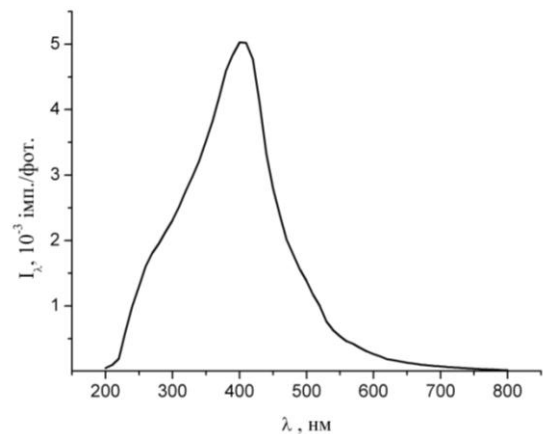


Рис.1. Спектральна чутливість системи реєстрації

РЕЗУЛЬТАТИ І ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Спектри свічення, які емітуються з поверхні кристалів *KBr* і *KCl* при бомбардуванні іонами K^+ з енергією $E_p = 10$ кеВ та густиною струму $j_p = 25$ мкА/см², представлені на рис.2 і рис.3. Температура зразків під час проведення експериментів була близькою до кімнатної. У обох досліджуваних спектрах спостерігається неперервне випромінювання з одним максимумом близько 500 нм та характеристичне випромінювання атомів та іонів калію. В спектрах ІФЕ *KBr* і *KCl* присутнє також характеристичне випромінювання атомів водню, які адсорбовані на поверхні досліджуваного зразка із залишкової атмосфери і десорбовані бомбардуючим пучком.

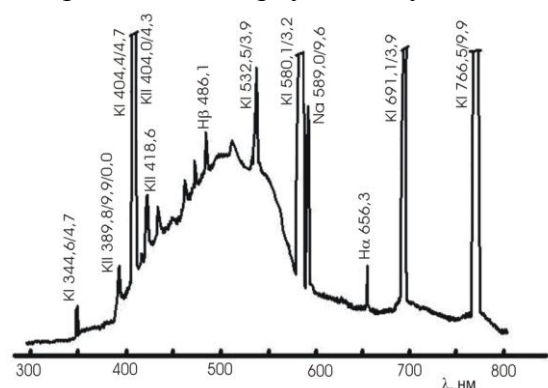


Рис.2. Спектр іон-фотонної емісії *KBr* ($E_p = 10$ кеВ, $j_p = 25$ мкА/см²)

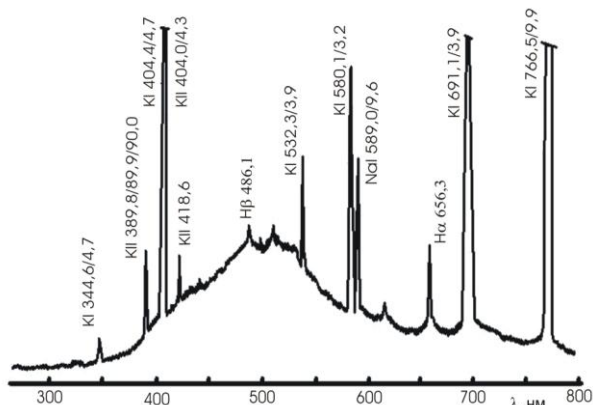


Рис.3. Спектр іон-фотонної емісії *KCl* ($E_p=10$ кеВ, $j_p = 25$ мкА/см²)

Спектри електрон-фотонної емісії *KBr* і *KCl* представлені на рис.4 і рис.5 відповідно. Енергія електронів під час запису спектрів складала 600 еВ. Температура зразків під час проведення експериментів була близькою до кімнатної ($T \approx 300-320$ К). В обох досліджених спектрах спостерігається неперервне випромінювання з кількома максимумами ($\lambda_1 \approx 300$ нм, $\lambda_2 \approx 430$ нм, $\lambda_3 \approx 490$ нм) та характеристичне випромінювання атомів лужного металу.

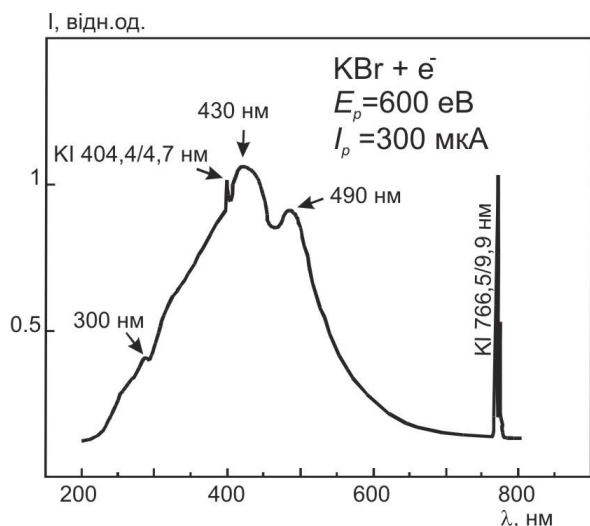


Рис.4. Спектр електрон-фотонної емісії *KBr* ($E_p=600$ еВ, $j_p = 1,5$ мА/см²)

Характеристичного випромінювання збуджених атомів галогену ні в одному з вивчених спектрів не було виявлено, ні при електронному, ні при іонному бомбардуванні, хоча в обох випадках розпорошення галогену проходить не менш ефективно, ніж атомів лужного металу [6]. Із

спостережень випромінювання під різними кутами до поверхні (у т.ч. вздовж поверхні) встановлено, що досліджуване неперервне випромінювання емітується безпосередньо бомбардуваною поверхнею, а випромінювання збуджених атомів лужного металу локалізоване в прилеглому до поверхні просторі, тобто воно емітується відлітаючими від поверхні збудженими атомами.

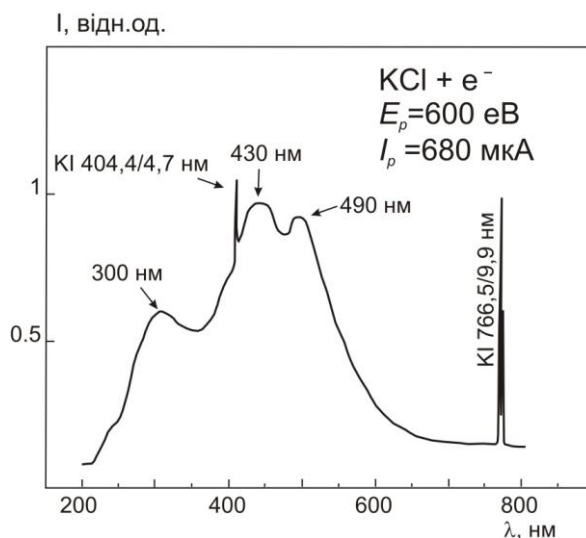


Рис.5. Спектр електрон-фотонної емісії *KCl* ($E_p=600$ еВ, $j_p = 3,4$ мА/см²)

На рис.6 представлено спектр ЕФЕ кристалу *KBr* при бомбардуванні електронами, який отримано з урахуванням спектральної чутливості системи реєстрації представленої на рис.1, в результаті чого відбувається суттєве зміщення максимумів неперервного випромінювання у довгохвильову область.

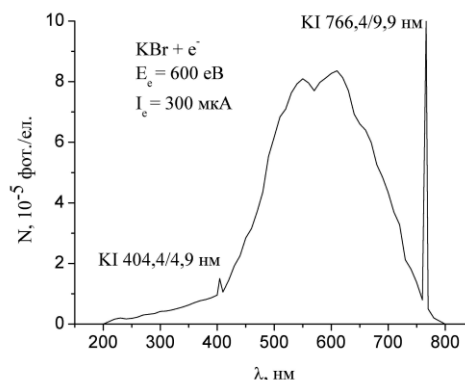


Рис.6. Спектр ЕФЕ кристалу *KBr* з урахуванням чутливості системи реєстрації

Виходячи з спектру, представленого на рис.6, нами було розраховано абсолютний вихід фотонів для кристалу *KBr* при бомбардуванні електронами з енергією 600 еВ, який становить:

$$N = 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ фот./ел.}$$

Порівнюючи спектральний склад випромінювання однакових ЛГК при опроміненні іонами K^+ і електронами, можна стверджувати, що в обох випадках виявлені однакові особливості. Зокрема, в спектрах ІФЕ і ЕФЕ ЛГК присутні дві компоненти: лінійчата і неперервна. При іонному опроміненні в спектрі спостерігається велика кількість спектральних ліній розпорощених атомів і іонів матеріалу мішені, домішок, а також розсіяних іонів первинного пучка, тоді як при електронному бомбардуванні спостерігаємо тільки два резонансні дублети розпорощених атомів калію. Це пов'язано з різними механізмами розпорощення і збудження вторинних частинок при іонному і електронному бомбардуванні. При іонному опроміненні основним механізмом передачі енергії кристалу первинними іонами є кінетичний, хоча частина енергії витрачається і на збудження електронної підсистеми кристалу. При електронному ж опроміненні домінуючим є механізм збудження глибоких електронів атомів матриці мішені, а наступний розпад цих збуджених станів веде до виникнення в спектрах ЕФЕ ЛГК характеристичного випромінювання атомів лужного металу. Ці результати узгоджуються з даними робіт [3,7,8].

ЛІТЕРАТУРА

1. Z. Postawa, J. Rutkowski, A. Poradzisz, M. Szymonski, Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. B.34, 23 (1988).
2. Q. Yan, A.V. Barnes, B. Barnes, N. Seifert, R. Albridge, N. Tolk, Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. B.115, 415 (1996).

Що стосується неперервного випромінювання, то по формі і положенню максимумів воно подібне як при електронному, так і при іонному бомбардуванні. Це говорить про однакову природу цього випромінювання, яке зв'язане зі створенням, збудженням і релаксацією дефектів кристалу, а саме *F*-центрів, *V_k*-центрів і комплексів *F*-центрів [2]. Оцінки показали, що при електронному збудженні інтенсивність неперервного випромінювання приблизно на два порядки вища, ніж при іонному бомбардуванні, звідки випливає, що процеси дефектоутворення і збудження дефектів електронами проходять значно ефективніше. Підтвердженням цього є великий абсолютний вихід фотонів, розрахований нами при електронному бомбардуванні поверхні *KBr*. При іонному ж бомбардуванні більша частина енергії первинного пучка витрачається на процеси розпорощення.

ВИСНОВКИ

В даній роботі вивчені спектри свічення поверхонь *KBr* і *KCl*, які виникають при бомбардуванні їх іонами і електронами середніх енергій. Встановлено, що в досліджених спектрах наявні два типи випромінювання, які є різними за природою, місцем локалізації та механізмом генерації. Це - неперервне випромінювання, яке локалізоване на поверхні кристалу, та характеристичне випромінювання атомів і іонів лужного металу. Також розраховано абсолютний вихід фотонів з поверхні *KBr* при електронному опроміненні.

3. L.T. Hudson, N.H. Tolk, C. Bao, P. Nordlander, D.P. Russell, Phys. Rev. B.62, 15, 10535 (2000).
4. С.С. Еловиков, Ю.В. Сушкова, Е.С. Шахурин, С.Е. Максимов, Поверхность: физ.хим.мех., 6, 99 (1992).
5. М.І. Лінтур, Л.М. Маркович, В.О. Мастюгін, М.В. Приходько, І.С. Шароді, Науковий вісник УжНУ. сер. фіз., 10, 191 (2001).

6. Z. Postawa, J. Rutkowski, P. Czuba, A. Poradzisz, M. Szymanski, Nucl. Instr. & Meth. B.18, 574 (1987).
7. В.Г. Дробнич, В.А. Мастюгин, С.В. Охрименко, С.С. Поп, Изв. РАН. Сер. физ. 62, 4, 836 (1998).
8. N. Tolk, L. Feldman, J. Kraus, Phys. Res. Lett.. B.46, 2, 134 (1981).

ELECTRON- AND ION-PHOTON EMISSION OF KBr AND KCl

**M.V. Prihodko, I.E. Mitropolskiy, M.I. Lintur, L.M. Markovich
S.S. Pop**

Uzhgorod National University, 88000 Uzhgorod, Voloshina St. 54
e-mail: problemlab@gmail.com

By the methods of ion-photon and electron-photon spectroscopy spectral structure of optical radiation is investigated, which appears at bombardment by ions and electrons of medium energies of surface of some alkali halide crystals (*KBr* and *KCl*). Two species of radiation with different localizations and mechanism of generation are set in the investigated spectra. These are the characteristic emission of alkali metal atoms and ions and continuous emission in a broad range of wavelengths. For the crystal of *KBr* the absolute output of photons is calculated at the irradiation by electrons with energy 600 eV.