

**НАУКОВИЙ ВІСНИК  
Ужгородського університету**

**Uzhhorod University SCIENTIFIC HERALD**

*Серія*  
**Фізика**

*Series*  
**Physics**

**Випуск 10**  
Issue

**2001**

Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Фізика. Випуск 10. — 2001

Міністерство освіти і науки України  
Ужгородський національний університет

**НАУКОВИЙ ВІСНИК**  
**Ужгородського університету**  
**Uzhhorod University SCIENTIFIC HERALD**

**Серія**  
**Фізика**  
**Series**  
**Physics**

**Випуск**  
**Issue** **10**

**2001**

Журнал засновано у 1997 році та видається за рішенням  
Редакційно-видавничої ради Ужгородського державного  
університету

Ужгород – 2001



**Засновником журналу “Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Фізика”  
є Ужгородський національний університет, фізичний факультет.**

*Редакційна колегія:*

*Професори, д. ф.-м. н. І.Небола (відповідальний редактор),  
І.Шафраньош (заступник відповідального редактора), Д.Берча,  
Д.Блецкан, О.Герзанич, В.Лазур, О.Кикинеші, В.Мікла, С.Поп,  
І.Хіміч, Л.Шимон (Ужгородський національний університет),  
член-кореспондент НАН України О.Шпенік,  
д. ф.-м. н. А.Завілопуло (заступник відповідального редактора),  
д. ф.-м. н. В.Маслюк, М.Гайсак (ІЕФ НАН України, м. Ужгород)*

*Відповідальний за випуск д. ф.-м. н. А.Завілопуло*

*Редакція:*

*О.Іваняк (відповідальний секретар), Ю.Ажнюк, Г.Гомонай,  
В.Красилінець, О.Парлаг, Т.Попик, В.Фейер*

**Тематика журналу “Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Фізика”**

*охоплює:*

*фізику конденсованого середовища,  
ядерну фізику,  
атомну та молекулярну фізику,  
теорію поля та фізику елементарних частинок,  
астрофізику,  
фізичну електроніку,  
прикладну фізику,  
міждисциплінарну фізику  
та суміжні ділянки науки, техніки, історії фізики,  
хроніку, персоналії та бібліографію*

**Адреса редакції:**

*Ужгород 88000, вул. Волошина, 54,  
Фізичний факультет УжНУ  
Тел. (факс): (03122) 3-23-39  
e-mail: [inpcss@iss.univ.uzhgorod.ua](mailto:inpcss@iss.univ.uzhgorod.ua)*

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| Ю.Ю.БІЛАК<br>Пружне розсіювання повільних електронів атомами на кути, залежні від енергії зіткнення  | 11 |
| Р.Р.ЛОМПЕЙ<br>Вивчення трансформаційних властивостей хвильової функції при переході в неінерціальні системи відліку  | 16 |
| Р.Р.ЛОМПЕЙ<br>Вплив прискорення на еволюцію квантовомеханічного гармонічного осцилятора  | 21 |
| В.М.ФЕЙЕР<br>Електронна спектроскопія плівок Mg  | 26 |
| А.О.ЖУКОВ, Ю.Ю.ЖИГУЦ, Е.П.ШИЛІНА, ДЖ.ДАТА МАЖУМДАР<br>Комбінована обробка за допомогою лазерного поверхневого зміцнення і саморозповсюджувального високотемпературного синтезу | 31 |
| І.І.ГАЙСАК, В.С.МОРОХОВИЧ<br>Система рівнянь Раріті-Швінгера і ширини розпаду кварконіїв   | 35 |
| О.В. ГРИГОРЬЕВА<br>Применение дифференциального термомагнитного анализа для исследования аморфных сплавов на основе железа   | 39 |
| В.В.МАСЛЮК<br><i>Ab initio</i> розрахунок коливальних спектрів структурних комплексів $[P_2S_6]^{4-}$ кристалів типу $Sn_2P_2S_6$  | 43 |
| Л.А.ГРИНЬ<br>Особенности термолюминесценции монокристаллов $Li_2V_4O_7$ , активированных $Tm^{3+}$ , $Ce^{3+}$ , $Eu^{3+}$   | 47 |
| В.В.ЛОПУШАНСЬКИЙ<br>Утворення радіаційних центрів забарвлення в лужноцинкоборосилікатному склі   | 51 |
| Ю.Г.ЧЕРНЯКОВА<br>Расчет сателлитной структуры линий в спектрах He- и Ne-подобных ионов на основе релятивистской теории возмущений  | 56 |
| Р.В.КАБАЛЬ<br>Поведінка критичного індексу параметра порядку вздовж $p, T$ -діаграми в кристалах $Sn_2P_2(S_{1-x}Se_x)_6$  | 61 |
| J.KONTROS, K.KONTROS, A.LENGYEL<br>Models with realistic reggeons for $t=0$ high energy scattering   | 64 |
| Т.В.ГУНДА<br>Комп'ютерний аналіз кривих термостимульованої люмінесценції монокристалів лейкосапфіру  | 69 |
| Т.Д.МЕЛЬНИЧЕНКО<br>Визначення частки флуктуаційного вільного об'єму в стеклах систем As-S(Se)  | 74 |



|  |     |
|--|-----|
| S.V.TRUSHKIN, P.M.LYTVYN<br>Surface micromorphology research of lead telluride epitaxial layers, doped by germanium, gallium and indium  | 79  |
| П.М.ЛУКАЧ, Г.М.ГУЙВАН<br>Високотемпературні аномалії діелектричних властивостей сегнетоелектриків $\text{KN}_2\text{PO}_4$ та $\text{KD}_2\text{PO}_4$ в умовах всебічного стиснення | 85  |
| А.Д.БАЗАВОВ, Г.Ф.ФИЛИППОВ<br>Малая осцилляторная длина в представлении гармонического осциллятора  | 88  |
| О.В.МИЦА<br>Моделювання спектральних характеристик неоднорідних плівок при лінійному розподілі показника заломлення  | 91  |
| M.V.KHOMA<br>Green's function for the one of model two-centre potential in molecular physics   | 96  |
| Т.Д.МЕЛЬНИЧЕНКО, В.М.РІЗАК, Т.М.МЕЛЬНИЧЕНКО<br>Залежність величини параметрів теорії вільного об'єму від перенапруженості хімічних зв'язків у скловидних халькогенідах               | 102 |
| О.К.ГОРПИНИЧ, О.М.ПОВОРОЗНИК, Ю.С.РОЗНЮК, Б.Г.СТРУЖКО<br>Про механізм розпаду збудженого рівня ${}^6\text{He}$ , утвореного при $\alpha + t$ взаємодії                               | 107 |
| Г.В.ВАСИЛЬЄВА, А.П.ОСИПЕНКО<br>Використання різних типів вугільних сорбентів для концентрування та радіоаналітичного визначення йоду   | 111 |
| М.О.НЯМЕЩУК<br>Оптимізація роботи з елементами групи підстановок в обчислювальних системах   | 115 |
| N.S.LOVODA<br>Neural networks and multi-fractal modelling the non-linear complex systems   | 119 |
| О.К.ГОРПИНИЧ, О.М.ПОВОРОЗНИК, Ю.С.РОЗНЮК, Б.Г.СТРУЖКО<br>Дослідження незв'язаних станів ядра ${}^5\text{He}$ із взаємодії альфа-частинок з тритієм при енергії 27,2 МеВ              | 122 |
| А.В.ЛОБОДА<br>Динамика многослойной нейронной сети на основе фотонного эха и сверхрешеток  | 125 |
| С.Ю.ПАРАНЧИЧ, Ю.В.ТАНАСЮК<br>Бар'єри Шоттки на основі структур $\text{Al-CdTe:V}$  | 130 |
| І.І.ГАЙСАК, Р.І.СЕЛЯНЧИН, Д.БРУНЦКО, Я.КІШ<br>Тензорні сили і асимптотика хвильових функцій  | 134 |
| В.М.ВОЛОСЬКИЙ, С.В.ШОЛОМ, В.В.ЧУМАК<br>Підвищення чутливості методу ретроспективної термомінесцентної дозиметрії на основі кварцу  | 138 |
| А.М.НЕМЕТ<br>Особливості досліджень непружних процесів зіткнень електронів з іонами підгрупи цинку   | 142 |

|   |     |
|---|-----|
| Т.М.МЕЛЬНИЧЕНКО, Т.Д.МЕЛЬНИЧЕНКО, Я.Я.КОЦАК, Я.П.КУЦЕНКО, П.П. ПУГА   | 147 |
| Параметри теорії вільного об'єму стекол з тригональною локальною координацією   |     |
| L.A.VITAVETSKAYA  | 152 |
| Nuclear size effect and QED corrections to energy levels of heavy and superheavy Li-, Cu-like ions  |     |
| В.І.ЛЯМАЄВ  | 156 |
| Установка для дослідження термостимульованої люмінесценції тонкоплівкових структур  |     |
| С.В.АМБРОСОВ  | 160 |
| Оптимальные схемы селективной фотоионизации атомов со столкновительной ионизацией   |     |
| М.М.КАПУСТЕЙ, Р.М.ПЛЕКАН, В.Ю.ПОЙДА, І.В.ХІМІЧ  | 164 |
| Дослідження енергетичного спектру деформованих ядер в адіабатичному підході   |     |
| О.И.КУДЕЛИЧ, А.И.ГОМОНАЙ  | 170 |
| О резонансном возбуждении связанных состояний атома самария   |     |
| И.М.ШПИНАРЕВА   | 174 |
| Селективная фотодиссоциация и фотоионизация молекул: оптимизационные модели   |     |
| М.М.СТЕЦЬ   | 177 |
| Визначення вмісту гамма-активних нуклідів у цеолітах  |     |
| О.Ю.БАНДУРИН  | 181 |
| Використання лазерів у медицині   |     |
| В.М.МАРУНЧАК  | 187 |
| Люмінесцентні властивості полікристалів $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Cu}$ , отриманих при малій тривалості відпалу скла                                       |     |
| ✓ М.І.ЛІНТУР, Л.М.МАРКОВИЧ, В.О.МАСТЮГІН, М.В.ПРИХОДЬКО, І.С.ШАРОДІ   | 191 |
| Надвисоковакуумний електрон-фотонний спектрометр  |     |
| ✓ М.І.ЛІНТУР, В.О.МАСТЮГІН, М.В.ПРИХОДЬКО, С.С.ПОП  | 195 |
| Електрон-фотонна емісія КВт   |     |
| І.Ю.ПРОЦЕНКО, А.М.ЧОРНОУС, І.О.ШПЕТНИЙ  | 199 |
| Електрофізичні властивості двошарових плівок на основі Co, Cr, Ni в умовах взаємної дифузії атомів  |     |
| Б.М.ГУНДА   | 207 |
| Термостимульована люмінесценція монокристалів $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ , вирощених із стехіометричного розплаву та розплаву з надлишком $\text{B}_2\text{O}_3$ |     |
| І.Я.КІЦУЛА  | 212 |
| Оцінка ємності інформаційних середовищ з локальною взаємодією   |     |
| М.Б.КОТЛЯРЕВСКИЙ, В.В.КИДАЛОВ, А.С.РЕВЕНКО  | 217 |
| Радикало-лучевая геттерирующая эпитаксия – новый метод в технологии полупроводниковых материалов $\text{A}^3\text{B}^5$   |     |



# ЕЛЕКТРОН-ФОТОННА ЕМІСІЯ КВr

М.І. Лінтур, В.О. Мастюгін, М.В. Приходько, С.С. Поп

Ужгородський національний університет, кафедра квантової електроніки  
вул.Волошина 54, Ужгород, 88000

Методом електрон-фотонної спектроскопії досліджено спектральний склад оптичного випромінювання при бомбардуванні електронами середніх енергій поверхні кристалу КВr. В спектрі встановлено два види випромінювання, різних за природою, місцем локалізації і механізмом генерації. Проведено вимірювання залежності цих компонент спектру від енергії і густини струму первинних електронів та від температури досліджуваного зразка. Проаналізовано можливі канали утворення збуджених розпорошених частинок під дією бомбардуючих електронів.

## 1. Вступ

Взаємодія електронів з поверхнею лужно-галогенних кристалів (ЛГК) супроводжується емісією фотонів, електронів, іонів, нейтральних атомарних і молекулярних частинок. Певна частина відлітаючих від поверхні атомів і молекул може знаходитися в збудженому стані. Спонтанна релаксація цього збудження призводить до утворення поблизу бомбардуваної поверхні ореолу свічення. Його протяжність залежить від швидкості відлітаючих збуджених частинок і часу життя їх збуджених станів. Швидкість таких частинок і напрямок їх руху визначаються механізмом їх електрон-стимульованої десорбції (ЕСД). Безпосереднє вибивання атомарних частинок із поверхні твердого тіла електронами є неможливим через значну різницю в їх масах.

На теперішній час виконано значну кількість експериментальних робіт, в яких досліджувались різні види емісії (електронів, атомів, іонів) при бомбардуванні електронами поверхні ЛГК. Є низка експериментальних робіт і з дослідження емісії фотонів при опроміненні ЛГК електронами.

Нами досліджено оптичне випромінювання, що виникає при опроміненні поверхні КВr електронами з різними енергіями (50–1000 еВ) і густинами струму ( $0,1 \div 5$  мА/см<sup>2</sup>). Вивчено види електрон-фотонної емісії (EFE) КВr в діапа-

зоні спектру 200–800 нм, а також залежність її характеристик від параметрів бомбардуючого пучка і температури досліджуваного зразка.

Інтерес до дослідження ЛГК оптичним методом зумовлений їх широким практичним застосуванням, їх доброю вивченістю іншими методами [1–8], перспективою одержання за характеристиками фотонної емісії інформації, яка важлива для встановлення деталей механізмів емісії фотонів як із кристала, так і відлітаючими частинками, тобто механізмів ЕСД збуджених частинок.

## 2. Техніка і методика експерименту

Експерименти проводились на новоствореному електрон-фотонному спектрометрі на базі вакуумної системи УСУ-4. В ролі мішені використовувався монокристал КВr. Поверхня мішені перед встановленням в камеру взаємодій очищувалась шляхом шліфування, полірування і промивання. Подальше очищення мішені здійснювалось у вакуумній камері нагріванням зразка до температури близько 400<sup>0</sup> С і десорбцією під дією пучка енергетичних електронів. Тиск залишкових газів у камері установки становив  $p \leq 5 \cdot 10^{-9}$  Тор. Мішень опромінювалась пучком електронів з енергією  $E$  від кількох до 1000 еВ. Густина струму електронів в пучку від 0,1 до 5 мА/см<sup>2</sup> регулювалась величиною напруги розжарю-



ання катода електронної гармати. Діаметр пучка електронів залишався незмінним. Бомбардування досліджуваного зразка здійснювалось під кутом  $\approx 15^\circ$  відносно нормалі до поверхні. Кут розсіювання вибирався близьким до нормалі ( $\theta \approx 0^\circ$ ).

Випромінювання в області довжин хвиль від 200 до 800 нм аналізувалось з допомогою світлосильного монохроматора МДР-12. Вхідна і вихідна щільності монохроматора були рівними 0,25 нм, що забезпечувало роздільну здатність 4 Å. Віділене монохроматором випромінювання детектувалось фотоелектронним множувачем типу ФЭУ-106, який працював в режимі підрахунку окремих фотоелектронів. Запис спектру здійснювався з допомогою самописця КСП-4.

### 3. Результати і їх обговорення

Спектрограму свічення, яке емітується при бомбардуванні очищеної поверхні кристала KBr електронами з енергією 900 еВ і густиною струму  $2 \text{ mA/cm}^2$  при кімнатній температурі мікроскопа, представлено для прикладу на рис. 1. Аналогічні спектрограми отримано для різних енергій і густин струму первинних електронів. У спектрі спостерігаються неперервна смуга випромінювання з двома максимумами ( $\lambda_1=420 \text{ нм}$ ,  $\lambda_2=500 \text{ нм}$ ) і спектральні лінії атомів К. Це два дублети KI 766,4/9,9 нм і KI 404,4/4,7 нм, що відповідають переходам з резонансного рівня (1,62/1,61 еВ) і наступного рівня (3,06 еВ). У спектрі відсутнє випромінювання збуджених атомів галогену. Аналогічна картина спостерігалась нами і раніше в спектрі NaCl [3], для якого мало місце випромінювання тільки резонансного дублету NaI 89,6/9,95 нм, а інші лінії в спектрі були відсутні. Шляхом спостереження випромінювання під різними кутами до поверхні (в т. ч. вздовж поверхні) встановлено, що спостережуване неперервне випромінювання (рис. 1) емітується безпосередньо бомбардуваною поверхнею.

Водночас випромінювання збуджених атомів калію локалізоване в прилеглому до поверхні ореолі. У представленій роботі ця протяжність не вивчалась. У випадку бомбардування електронами поверхні NaCl встановлено за доплерівським контуром лінії NaI, що кінетична енергія збуджених атомів натрію становить частки еВ [8]. Певно, і у нашому випадку збуджені атоми калію повільні і протяжність ореолу є невеликою, однак достатньою, щоб спостерігати свічення при орієнтації оптичної осі системи збору випромінювання вздовж поверхні.

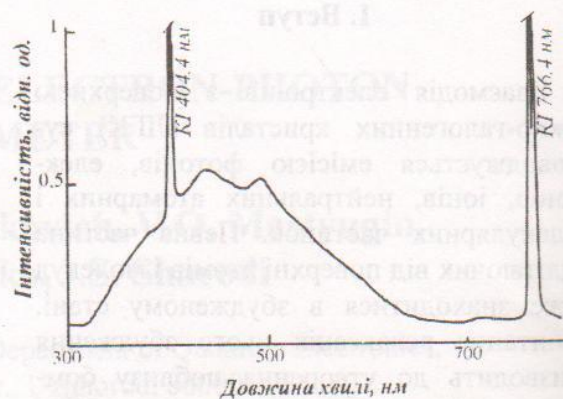


Рис. 1. Спектр свічення кристала KBr при опроміненні його поверхні електронами з енергією  $E_p = 900 \text{ eV}$ , густиною струму  $j = 2 \text{ mA/cm}^2$ .



Рис. 2. Залежність інтенсивності спектральних ліній KI 404,4 нм і KI 766,4 нм від струму первинних електронів ( $E_p = 530 \text{ eV}$ ).



На рис. 2 і 3 представлено залежності інтенсивностей ліній КІ 766,4 нм і КІ 404,4 нм від густини струму і енергії первинних електронів. Видно, що інтенсивність спектральних ліній залежить лінійно від струму первинних електронів у широких межах (рис. 2). Лінійна залежність свідчить про незначний вклад збудження первинними електронами атомів К в газовій фазі, тобто це вказує на домінуючий механізм формування збуджених станів атомів К в однократних актах їх стимульованої десорбції з поверхні. Це підтверджує спостереження авторів робіт [6–8] і не узгоджується з висновками авторів [10], які вважають домінуючим механізм збудження атомів лужного металу в газовій фазі. При більш великих густинах струму первинних електронів ми спостерігаємо більш стрімкий ріст ефективності утворення збуджених атомів К. Ймовірно, має місце включення додаткового чинника, який спричинює збільшення потоку десорбованих частинок К (або ймовірності їх збудження). Не виключається вплив густини струму первинних електронів на деяку зміну температури зразка. Її збільшення, як видно з рис. 4, веде до збільшення інтенсивності лінії КІ. На рис. 4 представлена також залежність інтенсивності смуги випромінювання з максимумом при 420 нм від температури мішені. Видно, що в цьому інтервалі температур інтенсивність смуги 420 нм стрімко зменшується, тобто змінюється антибатно відносно інтенсивності лінії КІ.

Подібне неперервне випромінювання спостерігалось і авторами роботи [9], при бомбардуванні ЛГК іонами середніх енергій. Воно пов'язувалося з наявністю в кристалі дефектів типу F-центрів різної кратності та радіаційним розпадом самозахоплених екситонів. Певно, ці ж механізми емісії неперервного випромінювання мають місце і у випадку бомбардування КВг електронами. В такому разі зменшення інтенсивності неперервного випромінювання, яке ми спостерігаємо при підвищенні температури кристала (рис. 4), можна пояснити відпалюванням дефектів у кристалі.

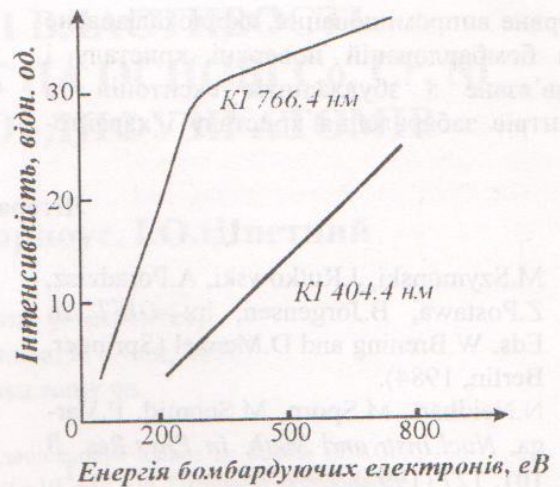


Рис.3. Залежність інтенсивності спектральних ліній КІ 404,4 нм і КІ 766,4 нм від енергії бомбардуючих електронів ( $j=1 \text{ мА/см}^2$ ).

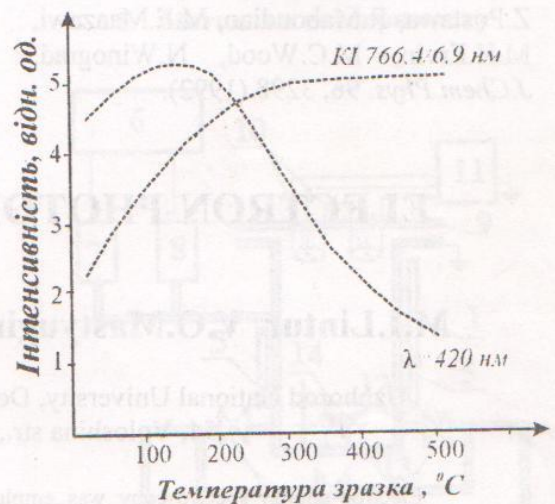


Рис.4. Залежність інтенсивності спектральної лінії КІ 766,4 нм та неперервного випромінювання з максимумом при  $\lambda=420 \text{ нм}$  від температури досліджуваного зразка ( $E_p=600 \text{ eV}$ ,  $j=2 \text{ мА/см}^2$ ).

Таким чином, отримано дані про спектральний склад оптичного випромінювання при бомбардуванні електронами поверхні КВг і вивчено залежність його характеристик від параметрів пучка первинних електронів та від температури мішені. Встановлено, що в спектрі наявні два види випромінювання, які є різними за природою випромінювачів, місцем локалізації, механізмами генерації. Це непе-



первне випромінювання, яке локалізоване на бомбардованій поверхні кристалу і пов'язане з збудженням екситонів та центрів забарвлення кристалу і характе-

ристичне випромінювання атомів калію, які десорбуються з поверхні у збудженому стані. Десорбовані атоми галогену у збудженому стані не спостерігаються.

### Література

1. M.Szymonski, J.Rutkowski, A.Poradzisz, Z.Postawa, B.Jorgensen, in: *DIET II*, Eds. W.Brening and D.Menzel (Springer, Berlin, 1984).
2. N.Neidhart, M.Sporn, M.Schmid, P.Varga, *Nucl.Instr.and Meth. in Phys.Res. B* **101**, 127 (1995).
3. J.Kolodziej, P.Czuba, P.Piatkowski, A.Poradzisz, Z.Postawa, *Nucl.Instr.and Meth. in Phys.Res. B* **65**, 507 (1992).
4. S.N.Schauer, R.Thomas, P.Williams, *Surf. Science* **290**, 277 (1993).
5. Z.Postawa, R.Maboudian, M.E.Maazawi, M.H.Ervin, M.C.Wood, N.Winograd, *J.Chem.Phys.* **96**, 3298 (1992).
6. N.H.Tolk, L.C.Feldman, J.S.Kraus, R.J.Morris, M.M.Traum, J.C.Tully, *Phys.Rev.Lett.* **46**, 134 (1981).
7. L.T.Hudson, N.H.Tolk, C.Bao, P.Nordlander, D.P.Russell, J.Xu, *Phys.Rev. B* **62**, 1035 (2000).
8. В.Г.Дробнич, В.А.Мастюгин, С.В.Охрименко, С.С.Поп, *Изв. Росс. Акад. Наук, Сер.Физ.* **62**, 836 (1998).
9. Q.Yan, A.Y.Barnes, N.Seifert, R.Aldridge, N.Tolk, *Nucl.Instr.and Meth. in Phys.Res. B* **115**, 415 (1996).
10. Z.Postawa, J.Rutkowski, A.Poradzisz, P.Czuba, M.Szymonski, *Nucl.Instr.and Meth. in Phys.Res. B* **18**, 574 (1987).

## ELECTRON-PHOTON EMISSION OF KBr

M.I.Lintur, V.O.Mastyugin, M.V.Prikhodko, S.S.Pop

Uzhhorod National University, Department of Quantum Electronics,  
54, Voloshina str., Uzhhorod, 88000

Electron-photon spectroscopy was employed to investigate the photon emission from KBr bombarded by electrons with medium energy. In the spectrum two species of light emission with different nature, localization and mechanism of the generation were detected. The intensities of these kinds of light emission versus energy, current density of bombarding electrons and target temperature were investigated. Possible channels of creating excited sputtered particles at electron bombardment were analyzed.