

УДК 337.533,2:535,14  
PACS number(s): 07.65.Gj

## ПОЛЯРИЗАЦІЯ ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ПІД ЧАС БОМБАРДУВАННЯ ПОВЕРХНІ КРИСТАЛА РУБІНУ ЕЛЕКТРОНАМИ СЕРЕДНЬОЇ ЕНЕРГІЇ

А. Яльч, М. Приходько, С. Поп

*Ужгородський національний університет,  
вул. Волошина, 54, 88000 Ужгород, Україна  
e-mail: QEL@univ.uzhgorod.ua*

Методом електрон-фотонної спектроскопії досліджено спектральний склад оптичного випромінювання при бомбардуванні електронами середньої енергії поверхні кристала рубіну, легованого хромом. У дослідженому спектрі виявлено неперервне випромінювання з максимумом при 330 нм. Воно локалізоване на бомбардованій поверхні, куди потрапляє потік електронів. Виявлено також характеристичне випромінювання, пов'язане з випромінювальною релаксацією збуджених іонів  $\text{Cr}^{3+}$  у кристалі. Виміряно ступінь поляризації компонентів спектра.

*Ключові слова:* рубін, поляризація, електрон-фотонна емісія.

Опубліковано значну кількість робіт з люмінесценції рубіну при різних способах збудження (швидкими електронами, рентгенівськими, гамма- і катодними променями і фотонами) [1–6]. Зацікавленість до цього об'єкта дослідження не згасає, оскільки рубін широко застосовують на практиці (квантова електроніка, ядерна енергетика тощо). Ці дослідження важливі також з погляду отримання фундаментальних знань про механізми генерації збуджень у ґратці кристалів та про їх релаксацію з випромінюванням світла, про вплив на ці процеси мікроскопічних характеристик кристалів.

Отримані нині результати не завжди піддаються однозначній інтерпретації, а іноді є суперечливими. Дотепер немає ясності щодо природи спостережуваних в емісійних спектрах ліній, смуг і неперервного випромінювання (НВ), щодо кількісного взаємозв'язку їхньої інтенсивності з характеристиками кристалічної ґратки.

У попередній нашій праці встановлено [3], що при взаємодії електронів середньої енергії (до 1 000 eV) з поверхнею рубіну емітується НВ в широкому діапазоні довжин хвиль 250–550 нм з максимумом при 330 нм, а також характеристичне випромінювання іонів  $\text{Cr}^{3+}$  з найбільш інтенсивною лінією при 694 нм.

У статті поставлено завдання дослідити ступінь лінійної поляризації цього випромінювання.

Дослідження виконано на надвисоковакуумному електрон-фотонному спектрометрі [7]. Залишковий тиск атмосферних газів у камері взаємодії становив  $\sim 10^{-9}$  Тор. Для експерименту брався зразок рубіну, додатково легований хромом. Поверхню кристала бомбардували пучком електронів під кутом  $15^\circ$  відносно нормалі до поверхні. Кут спостереження випромінювання був близьким до нормалі. Схему експерименту показано на рис. 1.

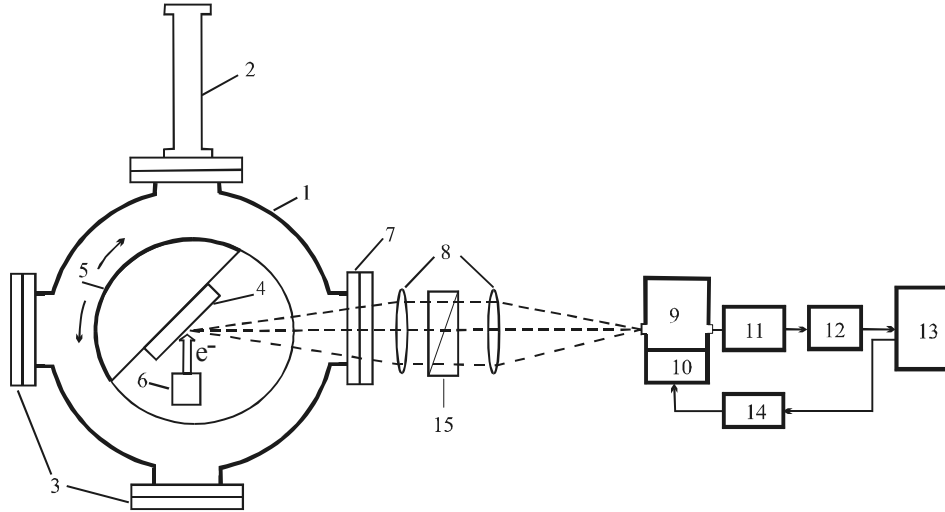


Рис. 1. Схема експерименту: 1 – робоча камера; 2 – шток шлюзового пристрою; 3 – допоміжні фланці; 4 – досліджувана мішень; 5 – робочий стіл; 6 – електронна гармата; 7 – сапфірове віконце; 8 – конденсор; 9 – монохроматор; 10 – кроковий двигун обертання дифракційної ґратки; 11 – фотопомножувач; 12 – підсилювач-дискримінатор; 13 – самописець; 14 – блок правління кроковим двигуном; 15 – поляризатор

Пучок електронів, сформований електронною гарматою 6, спрямовується на поверхню досліджуваного зразка. Випромінювання поверхні, на яку потрапляє пучок електронів, виводиться із вакуумної камери через сапфірове віконце 7. За допомогою конденсора 8 випромінювання фокусується на вхідну щілину монохроматора МДР-12 (9). Вхідна і вихідна щілини монохроматора становили 0,3 мм, що забезпечувало роздільну здатність 0,48 нм. Виділене монохроматором випромінювання детектується фотоелектронним помножувачем ФЭУ-106 (11). Сигнал з фотопомножувача після підсилювача-дискримінатора 12 реєструють в режимі підрахунку фотоелектронів частотоміром або за допомогою електронного потенціометра КСП (13) записується досліджуваний спектр.

Для вимірювання поляризації між кварцевими лінзами конденсора 8 розміщено поляризатор 15 (призма Глана-Фуко). Поляризацію досліджували при кутах спостереження  $45^\circ$  і  $90^\circ$  до поверхні кристала і при енергіях бомбардуючих електронів від 300 до 1 000 еВ. Ступінь лінійної поляризації випромінювання  $P_{(\lambda)}$  визначався за допомогою співвідношення:

$$P_{(\lambda)} = \frac{I_{p(\lambda)} - I_{s(\lambda)}}{I_{p(\lambda)} + I_{s(\lambda)}}, \quad (1)$$

де  $I_{p(\lambda)}$  – інтенсивність лінійно поляризованого випромінювання з електричним вектором, що коливається в площині спостереження і проходить через нормаль до

поверхні і напрям спостереження ( $p$ -компонента),  $I_{s(\lambda)}$  – інтенсивність лінійно поляризованого випромінювання з електричним вектором, що коливається в площині, перпендикулярній до площини спостереження ( $s$ -компонента).

Спектрограму свічення, яка емітується при бомбардуванні поверхні рубіну електронами, показано на рис. 2.

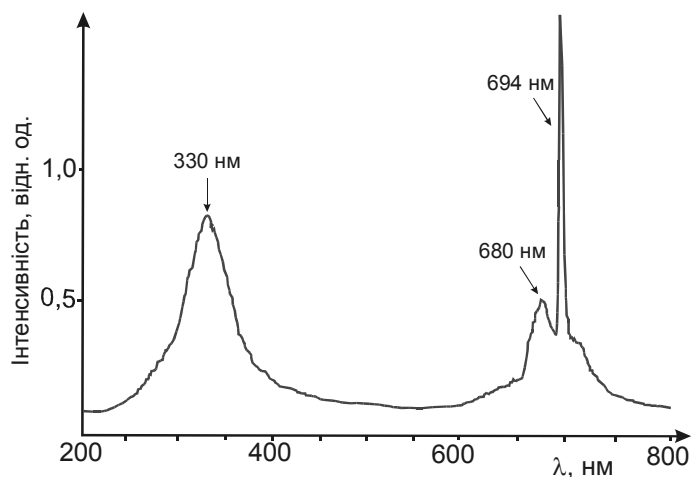


Рис. 2. Спектр електрон-фотонної емісії рубіну:  $E_p=600$  еВ,  $j_p=8$  мА/см<sup>2</sup>

У спектрі наявна широка смуга з максимумом при 330 нм, яку також простежували при збудженні лейкосафіру і легованих кристалів корунду швидкими електронами [2, 4, 5], Х-випромінюванням та під час бомбардування сафіру іонами [6]. У праці [1] ця смуга свічення пов'язується з трьома типами дефектів:  $F^+$ -центрами, міжвузловими іонами алюмінію і автолокалізованими екситонами в аніонній підґратці. Оскільки свічення цих дефектів відрізняється напівширинами смуг, внутрішньоцентровими часами затухання і температурними залежностями, то вигляд цієї смуги і положення максимуму може змінюватися залежно від часу опромінення і складу зразка. Справді, ми в [3] подібні зміни простежували. Встановлено, що це випромінювання є неполяризованим.

У червоній області спектра спостерігається інтенсивна лінія з максимумом при 694 нм, яка є характеристичним випромінюванням домішок іонів  $Cr^{3+}$  у кристалі, що збуджуються первинними електронами з подальшим випромінювальним зняттям цього збудження. Це найсильніша лінія серед низки інших  $R$ -ліній (зокрема  $R_1=694,3$  нм,  $R_2=692,9$  нм). Ці лінії погано розділяються через їх суттєве розширення внаслідок взаємодії частинок у кристалі, тобто розширені енергетичні рівні, між якими відбуваються оптичні переходи.

Водночас визначено, що ступінь поляризації характеристичного випромінювання є високою і становить 80 %. Він не залежить ні від кута спостереження, ні від енергії бомбардуючих електронів. Тобто існує суттєва відмінність поляризації характеристичного випромінювання порівняно з неперервним. Це свідчить про те, що збудження іонів  $Cr^{3+}$  здійснюється в об'ємі кристала і при виході із приповерхневих шарів перепоглинається, що призводить до його поляризації через анізотропію оптичних властивостей кристала.

У кристалі, легovanому хромом, інтенсивність лінії  $R_1=694,3$  нм значно перевищує інтенсивність максимуму смуги НВ при 330 нм. Для нелегованих кристалів інтенсивності смуги НВ і лінії  $R_1$  близькі [3].

Також у червоній області спектра простежено НВ з максимумом при 680 нм, яке є лінійно поляризованим. Ступінь поляризації цього випромінювання становить 60 %. Зважаючи на цей факт, а також на те, що цієї смуги немає в спектрі електрон-фотонної емісії сапфіру [3], природу цього випромінювання пов'язуємо з присутністю в кристалі іонів хрому.

Отже, у цій роботі отримано дані про спектральний склад і поляризацію оптичного випромінювання під час бомбардування електронами поверхні рубіну. Встановлено, що в спектрі наявні два типи випромінювання, які є різними за природою випромінювачів, місцем локалізації, механізмом генерації та ступенем поляризації. НВ, яке локалізоване на поверхні кристала, зумовлено трьома типами дефектів:  $F^+$ -центрами, міжвузловими іонами алюмінію і автолокалізованими екситонами в аніонній підгратці, і є неполяризованим. НВ з максимумом при 680 нм є значно  $p$ -поляризованим. Характеристичне випромінювання іонів  $Cr^{3+}$  утворюється в об'ємі кристала і є переважно  $p$ -поляризоване.

Автори висловлюють подяку професору Д.І. Блецкану за наданий для дослідження зразок рубіну.

1. Алукер Э.Д., Гаврилов В.В., Коневский В.С. и др. Влияние расстехиометрии на люминисцентные свойства  $\alpha-Al_2O_3$  // Оптика и спектроскопия. 1991. Т. 70. № 1. С. 75–81.
2. Бессонова Т.С., Станиславский М.П., Хаимов-Мальков В.Я., Молев Г.В. Спектры и кинетика радиolumинисценции легированных кристаллов корунда // Журн. прикл. спектроскопии. 1979. Т. 31. № 1. С. 74–79.
3. Бессонова Т.С., Станиславский М.П., Туманов В.И., Хаимов-Мальков В.Я. Радиolumинисценция лейкосапфира и рубина при электронном возбуждении // Оптика и спектроскопия. 1974. Т. 37. №2. С. 278–285.
4. Лінтур М.І., Маркович Л.М., Мастюгін В.О., Приходько М.В., Шароді І.С. Надвисоковакуумний електрон-фотонний спектрометр // Наук. вісн. Ужгород. ун-ту. Сер. фіз. 2001. № 10. С. 191–194.
5. Муминов В.А., Турсуметов М.А. Изучение собственных и примесных центров свечения в  $\alpha-Al_2O_3$  при электронном возбуждении // Известия АН Узбекской ССР. 1977. № 3. С. 60–65.
6. Поп С.С., Бельх С.В., Дробнич В.Г., Ферлегер В.Х. Ионно-фотонная эмиссия металлов. Ташкент: Фан, 1989. 200 с.
7. Яльч А.П., Малек Али. Електрон-фотонна емісія сапфіру і рубіну // Наук. вісн. Ужгород. ун-ту. Сер. фіз. 2003. № 14. С. 128–133.

**POLARIZATION OF THE LIGHT EMISSION UNDER MEDIUM ENERGY  
ELECTRON BOMBARDING THE SURFACE OF A RUBY****A. Yalch, M. Prihodko, S. Pop**

*Uzhhorod National University,  
Voloshin str., 54, UA-88000 Uzhhorod, Ukraine  
e-mail: qel@univ.uzhgorod.ua*

Electron-photon spectroscopy was employed to investigate the spectral constitution of the photon emission from the surface of ruby which is alloyed by chromium, bombarded by electrons with medium energy. The continuous emission with maximum of 330 nm was detected in the investigated spectrum. It is localized on the bombarding surface where the electrons fall. The characteristic emission associated with a radiant relaxation of excited ions  $\text{Cr}^{3+}$  is also detected in the spectrum of a ruby. The degree of polarization of both spectral components is measured.

*Key words:* ruby, polarization, electron-photon emission.

Стаття надійшла до редколегії 19.05.2004

Прийнята до друку 21.11.2005