

УДК 537.534

PACS number(s): 42.30.Wb, 34.50.Dy

ДОПЛЕРІВСЬКА ТОМОГРАФІЯ ПОТОКУ ЗБУДЖЕНИХ АТОМІВ Na З ПОВЕРХНІ NaCl

**В. Кузьма, А. Бобровник, О. Конопльов,
В. Мастюгін, Г. Подгорецька, В. Дробнич**

*Ужгородський національний університет
проблемна науково-дослідна лабораторія фізичної електроніки
вул. Волошина, 54, 88000 Ужгород, Україна
e-mail: problemlab@gmail.com*

Методом доплерівської томографії виконано експериментальні дослідження іон-фотонної емісії кристала NaCl. Одержано кількісні дані щодо диференціальних характеристик фотонної емісії. Виміряно контури спектральної лінії Na 589,0 нм для 13 напрямків спостереження. З'ясовано, що кутовий розподіл емітованих збуджених атомів Na витягнутий вздовж нормалі до поверхні. Оцінено величину найбільш імовірної швидкості збуджених атомів Na.

Ключові слова: доплерівська томографія, іон-фотонна емісія, поверхня.

На сучасному етапі інтенсивно вивчено емісійні явища, що супроводжують бомбардування поверхні твердого тіла іонами середніх (кілоелектроновольтних) енергій. Одним із них є іон-фотонна емісія (ІФЕ) – випромінювання фотонів оптичного діапазону поверхнею мішені й атомними частинками, що емітуються. В експериментальному плані вивчення ІФЕ [1], як і багатьох інших емісійних явищ, зведено до вимірювання тих чи інших характеристик потоку емітованих атомних частинок при заданих параметрах системи “пучок первинних іонів–мішень”. У типовому експерименті цей потік стаціонарний і повністю описується своїми найбільш детальними диференціальними характеристиками – функціями розподілу розпорошених і розсіяних атомів та іонів за швидкостями $F_i(v)$, де індекс “i” нумерує сформовані у процесі емісії електронні стани частинок (основний, метастабільні і збуджені). Розподіли $F_i(v)$ містять максимальну кількість експериментальної інформації щодо емісії частинок, а вивчення таких характеристик для атомів та іонів є головним напрямом фундаментальних досліджень розпорошення, розсіювання та іонної емісії.

Оскільки методом доплерівської томографії (ДТ) диференціальні характеристики емісії збуджених атомів з поверхні простих металів є добре вивченими [2–4], то становить інтерес дослідження емісії з поверхні лужно-галоїдних кристалів (ЛГК), що мають просту електронну структуру. Перші дослідження емісії збуджених частинок з поверхні ЛГК описано у працях [5, 6].

Експериментальні дослідження виконані на описаному в роботах [1, 2] доплерівському томографі при тиску залишкових газів у робочій камері $1 \cdot 10^{-8}$ Тор.

Бомбардування мішені проводили вздовж нормалі до поверхні NaCl іонами K^+ з енергією 7 кеВ. Схему експерименту зображено на рис. 1. Світіння 1, що випромінюється емітованими частинками у вибраному напрямі спостереження I , за допомогою системи дзеркал 2, 3 і лінзи 4 фокусується на вхідну щілину монохроматора 5. Випромінювання діапазону довжин хвиль досліджуваної спектральної резонансної лінії Na I 589,0 нм відфільтровується монохроматором і далі, за допомогою лінзи 6 формується в паралельний пучок променів, остаточно фільтрується скануючим інтерферометром Фабрі–Перо 7 і фокусується лінзою 8 на площину діафрагми 9. Інтенсивність ΔI_{ij} центральної частини інтерференційної картини, яка припадає на отвір діафрагми, вимірюється за допомогою фотоелектронного помножувача 10, що працює у режимі лічби окремих фотонів. Скануючи інтерферометром довжину хвилі, яка відповідає центру інтерференційної картини, вимірюють контур лінії $\Delta I_{ij}(\nu_l)$. Для того, щоб за $\Delta I_{ij}(\nu_l)$ можна було знайти її справжній доплерівський контур $f_i(\nu_l)$, визначають апаратну функцію інтерферометра. Її одержують шляхом вимірювання контуру достатньо вузької спектральної лінії, використовуючи як джерело випромінювання лампу з порожнистим катодом 11.

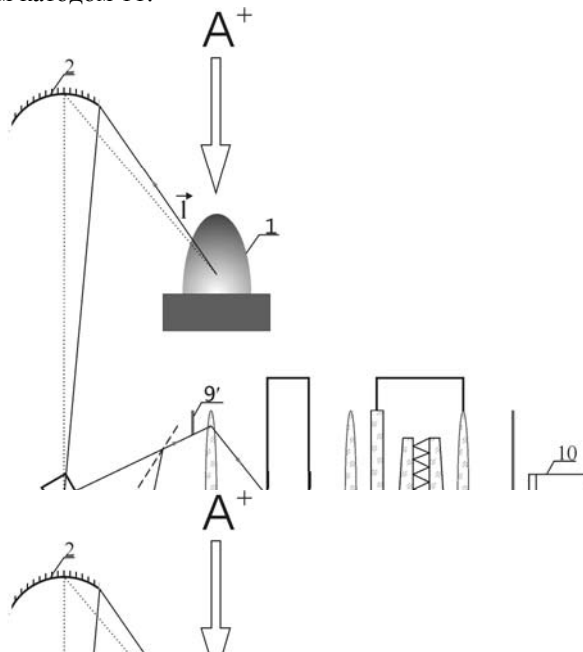


Рис. 1. Схема експерименту: 1 – мішень та ореол, що світиться; 2 – сферичне дзеркало; 3 – плоске дзеркало; 4, 6, 8 – лінзи; 5 – монохроматор; 7 – барокамера з інтерферометром Фабрі–Перо; 9, 9' – діафрагми; 10 – ФЕП; 11 – лампа з порожнистим катодом; 12 – зйомне дзеркало

Напрямок спостереження випромінювання змінюють за допомогою пристрою, що дає змогу обертати навколо загальної осі сферичне дзеркало 2 і плоске дзеркало 3.

Первинні експериментальні дані доплерівської томографії – контури $\Delta I_{ij}(v_l)$ спектральної лінії NaI 589,0 нм – виміряні для 13 напрямів спостереження випромінювання, що утворювали з нормаллю до поверхні мішені кути $\theta = 7, 11, 15, 19, 24, 30, 39, 47, 56, 66, 72, 75$ та 90 градусів. Наприклад, на рис. 2 наведено контури $\Delta I_{ij}(v_l)$, що були отримані для кутів спостереження 7 та 90 градусів. Там же наведено і апаратну функцію $a(v)$ інтерферометра Фабрі–Перо.

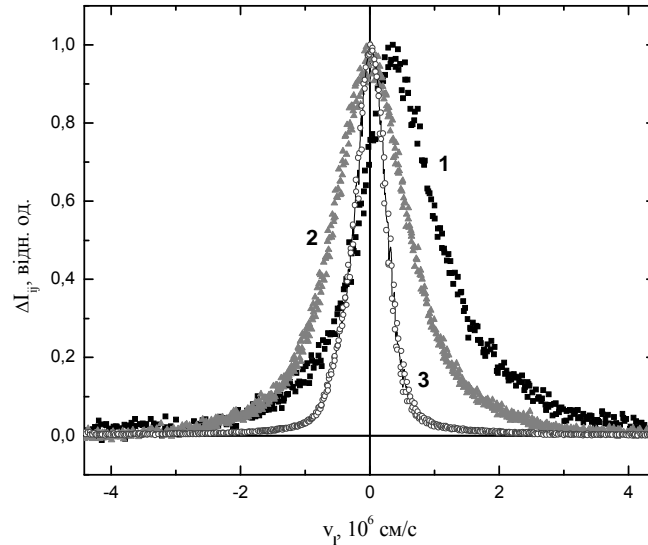


Рис. 2. Контури $\Delta I_{ij}(v_l)$ Na I 589,0 нм, виміряні під кутами $\theta = 7$ та 90 градусів у випадку опромінювання поверхні NaCl (графіки 1 і 2, відповідно). Крива 3 – апаратна функція $a(v)$

Враховуючи, що $\lambda = \lambda_0(1 - v_l/c)$, де λ_0 довжина хвилі світла на переході “i” \Rightarrow “j”, яке випромінюється нерухомим атомом, а c – швидкість світла, розподіл $f_i(v_l)$ знаходимо шляхом розв’язку відомого інтегрального рівняння першого роду [7]:

$$\Delta I_{ij}(v_l) = \int_{-v_T}^{v_T} a(v_l - v_l') \cdot f_i(v_l') \cdot dv_l', \quad (1)$$

де $\Delta I_{ij}(v_l)$ і $a(v)$ – відповідно, контур $\Delta I_{ij}^I(\lambda)$ і апаратна функція $a(\lambda)$, представлені у шкалі швидкостей, v_T - швидкість, що відповідає половині вільного спектрального інтервалу інтерферометру. Розподіли $f_i(v_l)$ для вище вказаних кутів спостереження представлені на рис. 3. Використовуючи останні дані, можна перейти від функції $f_i(v_l)$ до тривимірного розподілу $F_i(v)$, який показано на рис. 4.

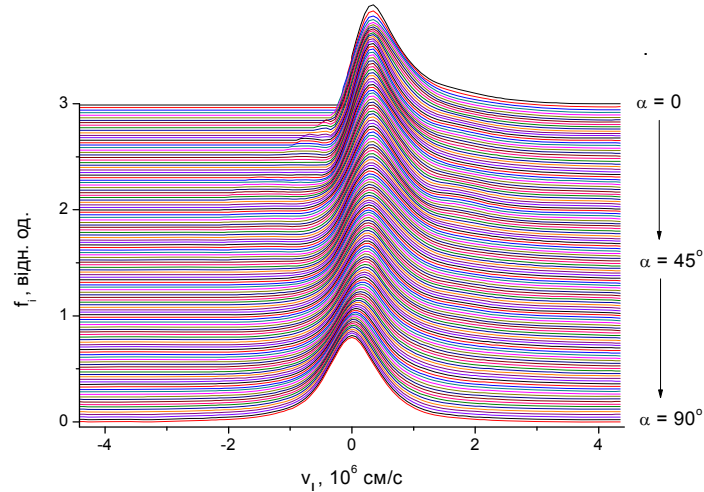


Рис. 3. Одновимірні швидкісні розподіли $f_1(v_1)$ для NaCl на рівномірній сітці кутів α і швидкостей v_1

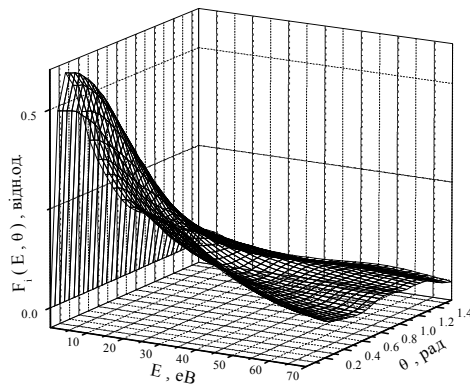


Рис. 4. Розподіл $F_1(E, \theta)$ частинок за кінетичними енергіями та полярними кутами вильоту

На підставі отриманих результатів видно, що розподіл збуджених атомів Na витягнутий вздовж нормалі поверхні NaCl, хоча й не так сильно, як у випадку бомбардування простих металів [2, 3]. Величина найбільш імовірної швидкості збуджених атомів Na відповідає енергії близько 20eV, що і зображено на рис. 4. Звідси робимо висновок, що в емісії збуджених частинок з поверхні ЛГК і простих металів немає суттєвих відмінностей.

1. Поп С.С., Бельх С.Ф., Дробнич В.Г., Ферлегер В.Х. Ионно-фотонная эмиссия металлов. Ташкент: ФАН, 1989. 200 с.
2. Дробнич В.Г., Поп С.С., Есаулов В.А. Доплеровская томография потока атомных частиц. Ужгород: Закарпаття, 1998. 128 с.
3. Дробнич В.Г. Доплеровская томография // Изв. РАН. Сер. физ. 1998. Т. 62. № 7. С. 1382–1396.

4. *Drobnich V.G., Medvedev S.Yu.* The model of secondary atom excited states formation //Nucl. Instr. & Meth. 1993. Vol. B78. N 1–4. P. 148–152.
5. *Дробнич В.Г., Мاستюгін В.А., Охрименко С.В., Пон С.С.* Дифференциальные характеристики эмиссии возбужденных атомов Na при бомбардировке поверхности NaCl ионами K⁺//Изв. РАН. Сер. физ. 1998. Т. 62. № 4. С. 836–839.
6. *Кузьма В.В., Конопльов О.М., Мастюгін В.О.* та ін. Характерні швидкості збуджених атомів Na, розпорошених іонами K⁺ з поверхні монокристалу NaCl // Наук. вісн. Ужгород. ун-ту. Сер. фіз. 2003. Вип. 14. С. 119–121.
7. *Gutierrez F.A., Jouin H., Jequier S., Riquelme M.* Atomic distortion effects for surface-plasmon-mediated proton neutralization // Surface Sci. 1999. Vol. 431. N 1–3. P. 269–277.

**THE DOPPLER TOMOGRAPHY OF THE STREAM RAISED
Na ATOMS FROM THE SURFACE OF NaCl**

**V. Kuzma, A. Bobrovnik, O. Konoplyov,
V. Mastyugin, G. Podgoretska, V. Drobnich**

*Uzhgorod National University, Radiophysic Department
Voloshyna Str., 54, UA-88000 Uzhgorod, Ukraine
e-mail: problemlab@gmail.com*

Experimental researches an ion-photon emission of crystal NaCl are executed by the method of Doppler tomography. Quantitative data about differential characteristics an ion-photon emission are obtained. Contours of spectral line Na of 589,0 nm for 13 directions of supervision are measured. It is found out, that angular distribution of emitted raised Na atoms is extended on a normal to a surface. The size of the most probable speed of raised atoms Na is estimated.

Key words: Doppler tomography, ion-photon emission, surface.

Стаття надійшла до редколегії 17.05.2006

Прийнята до друку 09.06.2008