

## ХАРАКТЕРНІ ШВИДКОСТІ ЗБУДЖЕНИХ АТОМІВ Na, РОЗПОРОШЕНИХ ІОНАМИ $K^+$ З ПОВЕРХНІ МОНОКРИСТАЛА NaCl

В.В.Кузьма, О.М.Конопльов, В.О.Мастюгін,  
Г.Ю.Подгорецька, В.Г.Дробнич

Ужгородський національний університет,  
кафедра квантової електроніки,  
вул. Волошина, 54, Ужгород, 88000  
e-mail: qel@univ.uzhgorod.ua

Виміряно доплерівські контури лінії NaI 589,0 нм у випадку бомбардування кристала NaCl вздовж нормалі до поверхні іонами  $K^+$  з енергією 7 кеВ та струмом 40 мкА. Полярні кути спостереження оптичного випромінювання становили  $85^\circ$ ,  $45^\circ$  і  $15^\circ$ . Встановлено, що проекції характерних швидкостей вторинних збуджених атомів Na на зазначені напрямки спостереження випромінювання охоплюють інтервали відповідно  $(-1,1 \pm 1) \cdot 10^6$  см/с,  $(-0,6 \pm 1,4) \cdot 10^6$  см/с та  $(-0,2 \pm 2) \cdot 10^6$  см/с. З отриманих даних зроблено висновок, що кутовий розподіл вторинних збуджених атомів Na суттєво витягнутий вздовж нормалі до поверхні.

На даний час досить повно вивчено диференціальні характеристики емісії збуджених частинок при опроміненні поверхні металів іонами кілоелектронвольтних енергій [1–5]. Зокрема, одержано дані якісного і кількісного характеру про розподіли  $f_i(v)$  збуджених у різні стани  $i$  вторинних атомів за проекціями їх швидкостей на різні просторові напрямки  $l$ . Залишається актуальним вивчення диференціальних характеристик вторинної емісії збуджених атомів з поверхні діелектриків, особливо з простою електронною структурою. Адже такі діелектрики (наприклад, лужно-галогенні кристали), як і прості метали, є найбільш цікавими з точки зору побудови теорії явища вторинної емісії збуджених частинок. У зв'язку з цим метою даної роботи було дослідження емісії збуджених атомів Na з поверхні кристала NaCl. У роботі представлено результати, одержані на шляху досягнення цієї мети, а саме досліджено ряд одновимірних розподілів  $f_i(v)$ , що відповідають резонансній лінії NaI 589,0 нм.

Експерименти проводились на доплерівському томографі, схематично зображеному на рис. 1 [4–7]. Бомбардування мішені  $l$  здійснювалося вздовж нормалі до поверхні іонами  $K^+$  в надвисоковакуумній камері (сорбційні та магніторозрядні насоси забезпечували безмасляний вакуум з тиском залишкових газів менше ніж  $10^{-8}$  Тор). Для виключення ефектів, пов'язаних із зарядкою поверхні первинними іонами і вторинними зарядженими частинками, на неї накладалась металічна сітка.

Пучок іонів  $K^+$  формувався за допомогою джерела, що працює на принципі поверхневої іонізації. Джерело дозволяло одержувати густину струму іонів до  $1 \text{ mA/cm}^2$  при прискорюючому потенціалі до 10 кВ.

Світіння збуджених частинок у об'єкті за допомогою дзеркал 2, 3 просторовому напрямку  $l$  фокусувалось лінзою 4 на вхідну щілину монохроматора 5. Виділене монохроматором випромінювання на довжинах хвиль лінії NaI 589,0 нм за допомогою лінзи 6 формувалося в паралельний пучок променів і фільтрувалося скануючим інтерферометром Фабрі-Перо 7.

Випромінювання, яке проходило через інтерферометр, фокусувалося лінзою 8 на площину діафрагми 9. Інтенсивність  $\Delta I_{ij}$  центральної частини інтерференційної картини, що припадає на отвір діафрагми, вимірювалася за допомогою фотопомножувача (ФЕП) ФЭУ-106 10, який працював у режимі лічби окремих фотонів. Сканоуючи інтерферометром довжину хвилі, що відповідає центру інтерференційної картини, вимірювали контур  $\Delta I_{ij}(v)$  досліджуваної лінії. Апаратну функцію  $a(v)$  інтерферометра Фабрі-Перо одержували за виміряним контуром лінії NaI 589,0 нм лампи з порожнистим катодом 11.

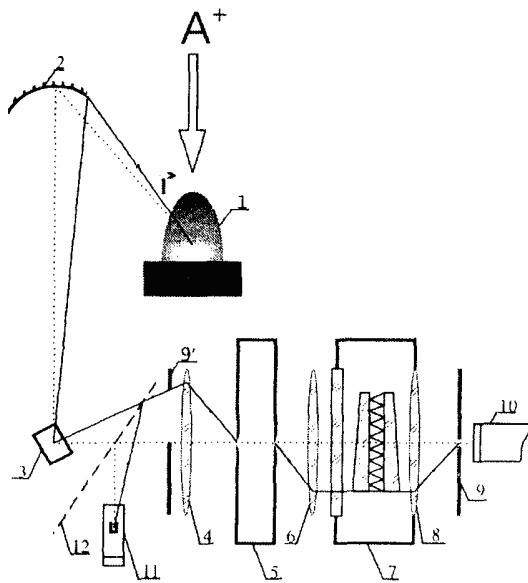


Рис. 1. Схема доплерівського томографа: 1 – мішень; 2 – сферичне дзеркало; 3 – плоске дзеркало; 4, 6, 8 – лінзи; 5 – монохроматор; 7 – інтерферометр Фабрі-Перо; 9, 9' – діафрагми; 10 – ФЕП; 11 – лампа з порожнистим катодом; 12 – зйомне дзеркало для спостереження випромінювання лампи з порожнистим катодом.

Як відомо, контур  $\Delta I_{ij}(v)$  пов'язаний із шуканим розподілом  $f_i(v)$  співвідношенням

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

де  $v_T$  – швидкість, що відповідає половині вільного спектрального інтервалу інтерферометра [3–5]. Тому у випадку, коли апаратна функція значно вужча за  $\Delta I_{ij}(v)$ , деякі важливі якісні характеристики роз-

поділу  $f_i(v)$  можна одержати безпосередньо з контуру  $\Delta I_{ij}(v)$ . До таких характеристик належать, зокрема, характерні швидкості вторинних збуджених атомів, тобто швидкості, що відповідають ширині контуру  $\Delta I_{ij}(v)$  на половині його висоти.

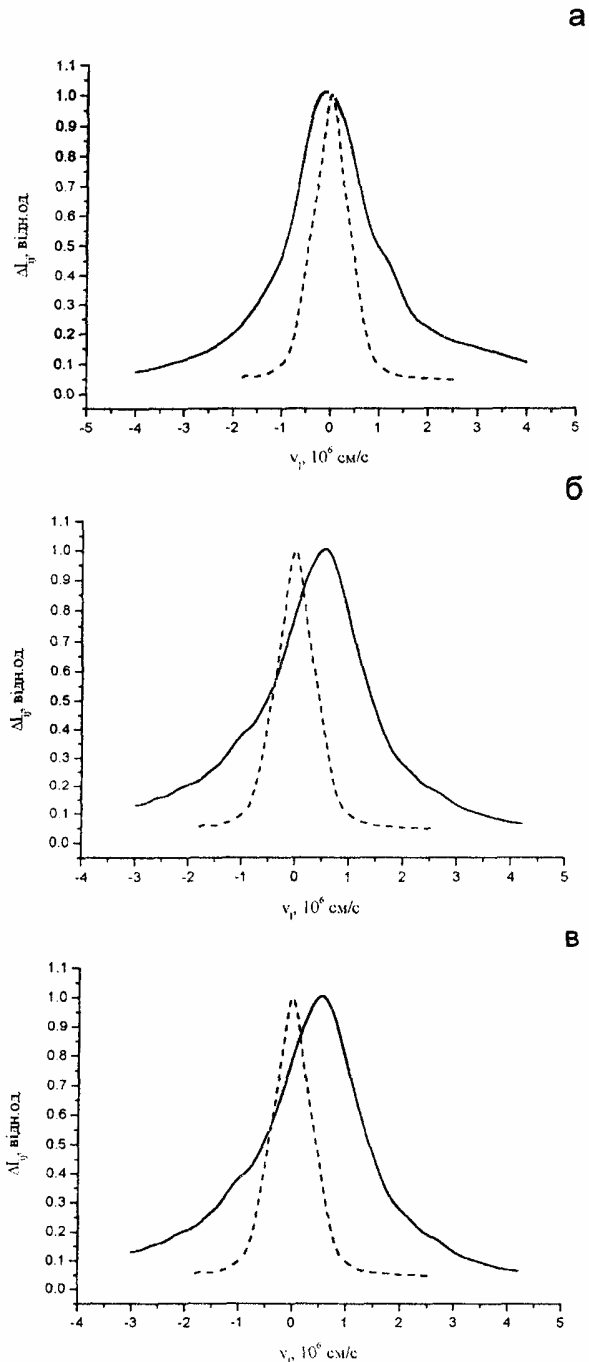


Рис. 2. Контур  $\Delta I_{ij}(v)$  лінії NaI 589,0 нм і апаратна функція  $a(v)$  при а)  $\alpha=85^\circ$ , б)  $\alpha=45^\circ$  і в)  $\alpha=15^\circ$ .

На рис. 2 представлено контури  $\Delta I_{ij}(v)$  спектральної лінії NaI 589,0 нм, виміряні у випадку бомбардування поверхні NaCl

іонами  $K^+$  з енергією 7 кеВ та струмом 40 мкА при полярних кутах спостереження випромінювання  $\alpha = 85^\circ, 45^\circ$  і  $15^\circ$  (кут  $\alpha$  відраховується від нормалі OZ до поверхні). Азимутальний кут спостереження випромінювання не варіювався, оскільки в умовах нашого експерименту потік вторинних частинок має аксіальну симетрію.

Як видно з рисунків, інтервали проєкцій характерних швидкостей на обрані просторові напрямки  $l$  спостереження випромінювання охоплюють інтервали  $(-1,1 \div 1) \cdot 10^6$  см/с,  $(-0,6 \div 1,4) \cdot 10^6$  см/с та  $(-0,2 \div 2) \cdot 10^6$  см/с відповідно для  $\alpha = 85^\circ, 45^\circ$  і  $15^\circ$ .

Із цих даних видно, що максимальні значення проєкцій характерних швидкостей помітно зростають у міру наближення

напрямку  $l$  до нормалі OZ. Звідси випливає, що при розпорошенні кристала NaCl в зазначених експериментальних умовах кутовий розподіл збуджених у резонансний стан атомів Na суттєво витягнутий вздовж нормалі до поверхні. Тобто він помітно відрізняється від кутового розподілу загального потоку вторинних атомів [4], причому характер відмінності однозначно вказує на швидке зростання імовірності збудження атомів Na із збільшенням нормальної до поверхні складової їх швидкості. Дана обставина дозволяє скоригувати побудову теоретичної моделі формування збуджених станів атомів, що емітуються з поверхні діелектрика.

### Література

1. Г.М.Полякова, А.И.Ранюк, В.И.Герасименко, О.А.Опалев. ЖТФ 52, 52 (1982).
2. В.Г.Дробнич, В.А.Мастюгин, Изв. АН СССР. Сер.физ. 54, 1258 (1990).
3. V.G.Drobnich, V.A. Mastyugin, S.S. Pop, Nucl. Instr. and Meth. B 58, 443 (1991).
4. В.Г.Дробнич, С.С.Поп, В.А.Есаулов, Доплеровская томография потока атомных частиц (Закарпаття, Ужгород, 1998).
5. В.Г.Дробнич, Изв. РАН. Сер.физ. 62, 1382 (1998).
6. В.Г.Дробнич, А.М.Коноплев, В.А.Крицкий, С.В.Охрименко, Изв. РАН. Сер. физ. 58, 26 (1994).
7. В.Г.Дробнич, О.М.Конопльов, С.В.Охрименко, С.С.Поп, І.С.Шароді. (Україна), Пат. №44612А, G01N23/00. Офіц.бюл.№2. 2002.

## CHARACTERISTIC VELOCITIES OF EXCITED ATOMS OF Na, SPUTTERED BY $K^+$ IONS FROM THE SURFACE OF NaCl SINGLE CRYSTAL

V.V.Kuz'ma, A.N.Konoplev, V.A.Mastyugin,  
G.Yu.Podhoretska, V.G.Drobnich

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

The Doppler shape of the NaI 589,0 nm line in the case of bombardment of the NaCl crystal normally to the surface by the  $K^+$  ions with the energy of 7 keV for the primary ions current of 40 mkA was measured. The measurements were carried out for fixed azimuthal and different polar angles of observation of radiation  $\alpha = 85^\circ, 45^\circ$  and  $15^\circ$ . The intervals of the characteristic velocities projections on the direction of the radiation observation were determined to be  $(-1,1 \div 1) \cdot 10^6$  cm/c,  $(-0,6 \div 1,4) \cdot 10^6$  cm/c and  $(-0,2 \div 2) \cdot 10^6$  cm/c for  $\alpha = 85^\circ, 45^\circ$  and  $15^\circ$ , respectively. From the obtained results the angular distribution of the excited Na atoms are shown to be substantially stretched along the normal to the surface.