

УДК 539.186.2

М.М. Ердеві, В.В. Звенигородський, П.П. Маркуш, О.Б. Шпеник

Інститут електронної фізики НАН України, 88017, Ужгород, вул. Університетська, 21

e-mail: talium@iep.org.ua

## СПЕКТРИ ВИПРОМІНЮВАННЯ ТЕЛУРУ ПРИ ЗБУДЖЕННІ ЕЛЕКТРОННИМ УДАРОМ

Методом оптичної спектроскопії вивчено спектри випромінювання атомів телуру при їх збудженні повільними електронами. Отримано спектри випромінювання в області 195-523 нм при збудженні електронами з енергіями 10, 15, 20 і 30 еВ, а також оптичні функції збудження ліній та смуг випромінювання атомів та димерів в енергетичному діапазоні від порогу збудження до 45 еВ.

**Ключові слова:** електрон, атом, збудження, оптична функція збудження, спектральні лінії.

### Вступ

Дослідженням елементарних процесів зіткнень повільних електронів з атомами фізики приділяють увагу протягом останніх 50-ти років. Достатньо ретельно вивчено процеси збудження електронами атомів I, II та III груп Періодичної системи, що зумовлено відносно нескладними умовами проведення експерименту. Це і простота оптичного спектру, його діапазон (видима і ультрафіолетова область) та невисокі температури (30-500°C для атомів I і II груп), достатні для отримання необхідного тиску парів робочої речовини. Значно гірша ситуація з вивченням процесів збудження повільними електронами атомів IV, V та VI груп, що зумовлено складністю оптичних спектрів і, особливо, високими температурами, необхідними для отримання потрібного тиску парів робочої речовини. Але протягом останніх років суттєво вдосконалено техніку експерименту з дослідження процесів збудження атомів електронним ударом, на базі персональних комп'ютерів впроваджено системи стабілізації параметрів і контролю умов експерименту, автоматизацію його проведення. В зв'язку з цим ми поставили за мету дослідити оптичні спектри випромінювання та оптичні функції збудження (ОФЗ) спектральних ліній деяких атомів VI-ї групи Періодичної системи. В цьому повідомленні представлено результати зі

збудження атомів Те пучком повільних моноенергетичних електронів.

### Експеримент

Виміри проведено оптичним методом з використанням паронаповненої комірки, в якій створювалася необхідна концентрація атомів Те. Пари подавалися в комірку через коротку трубку з резервуара з телуrom, який мав незалежний резистивний підігрів. При всіх вимірах температура резервуара підтримувалася в межах 290-295°C, а комірки зіткнень – близько 310°C. Тиск залишкових газів у вакуумній камері не перевищував  $10^{-6}$  Торр.

Пучок електронів, діаметром ~2 мм, сформований 4-х електродною гарматою, з величиною струму ~25μA, проходить через паронаповнену комірку і детектується циліндром Фарадея. Моноенергетичність пучка – повна ширина на напіввисоті максимуму розподілу, отриманого з продиференційованої вольт-амперної характеристики електронного пучка становила ~0,3 еВ.

Детектування випромінювання, яке виділялося дифракційним монохроматором МДР-2, здійснювалося фотоелектронним помножувачем (ФЕП) ФЭУ-106. Однофотоелектронні імпульси ФЕП попередньо підсилювалися, формувалися широкосмуговим підсилювачем-дискримінатором і через відповідну інтерфейсну карту РС поступали на лічильник.

Накопичення сигналу в кожній фіксованій точці виміру здійснювалось з експозицією від 10 до 50 секунд.

Спектри випромінювання в області 195-523 нм вимірювалися з кроком 0,814 нм та щілинами монохроматора 1 мм, тобто  $\Delta\lambda=2$  нм, при енергіях електронів 10, 15, 20 і 30 еВ з модуляцією електронного пучка. Таким чином, в них враховано фонове випромінювання засвітки від катода, але не враховані спектральна чутливість ФЕП та спектральна характеристика пропускання монохроматора. Енергія електронів при вимірах ОФЗ в інтервалі 1-45 еВ сканувалася з кроком 150 меВ, а при вимірах припорогових ділянок функцій збудження – 80 і 100 меВ.

Більш детальний опис експериментальної установки та методики вимірів наведено в [1-3].

### Результати та їх обговорення

Виміри проходили в два етапи. Спочатку вимірювалися спектри випромінювання парів телуру при їх збудженні електронами з фіксованими енергіями, а потім вивчалась енергетична залежність інтенсивності випромінювання найбільш інтенсивних спектральних ліній та смуг випромінювання. На рисунку 1 наведено спектри випромінювання парів телуру, виміряні в області 195-523 нм, при збудженні їх електронами з енергією 10, 15, 20 і 30 еВ.

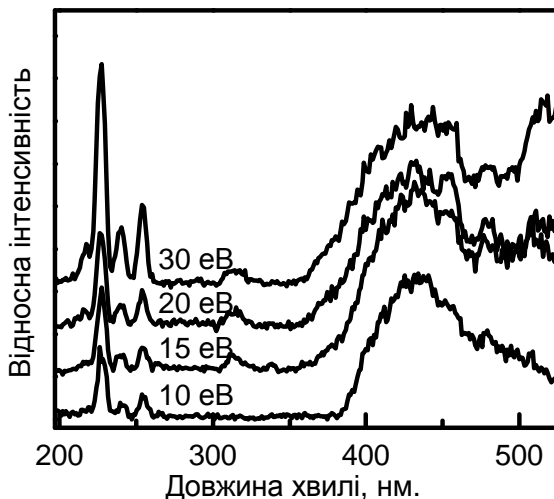


Рис. 1. Спектри випромінювання парів телуру.

Як видно з рисунка, у спектрі випромінювання наявні як окремі лінії, так і смуги, причому характер спектра мало змінюється при зміні енергії бомбардуючих електронів. Аналіз спектра показує, що в УФ області спостерігаються атомарні лінії телуру з максимумами при 215, 226, 242 і 253 нм і можна також виділити дві смуги – 309-320 та 363-463 нм. Лінії, які спостерігаються у спектрі, відповідають наступним переходам:

- найбільш інтенсивна лінія 226 нм – резонансний перехід  $5s^25p^4 \ ^3P_2 \text{—} 5s^25p^36s \ ^5S_2$  (225,9 нм);
- лінія 215 нм – перехід  $5s^25p^4 \ ^3P_2 \text{—} 5s^25p^36s \ ^3S_2^0$  (214,3 нм);
- лінія 253 нм – перехід  $5s^25p^4 \ ^3P_1 \text{—} 5s^25p^36s \ ^5S_2^1$  (253 нм);
- лінія 242 нм є суперпозицією трьох ліній: перехід  $5s^25p^4 \ ^3P_1^0 \text{—} 5s^25p^36s \ ^3S_1^0$  (238,5 нм), перехід  $5s^25p^4 \ ^1S_0 \text{—} 5s^25p^36s \ ^3S_1^0$  (242 нм) та перехід  $5s^25p^4 \ ^1S_0 \text{—} 5s^25p^36s \ ^1D_2^0$  (243 нм).

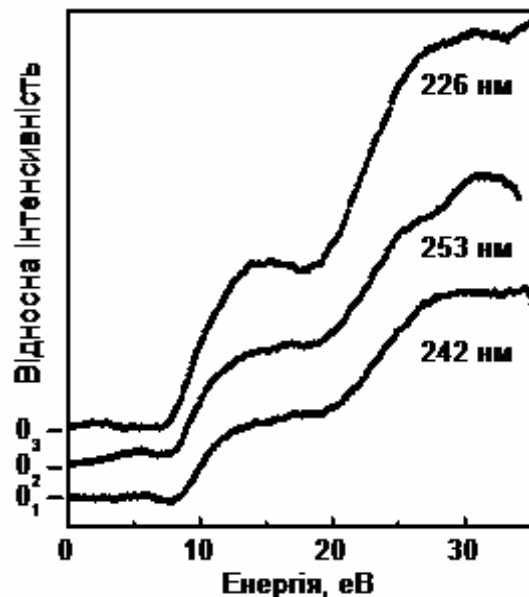
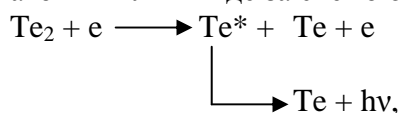


Рис. 2. ОФЗ смуг випромінювання 226, 242 і 253 нм

Фактично функції збудження схожі, тобто характер збудження вихідних рівнів схожий. Всі ОФЗ мають доволі складну форму з порогами при енергії  $\sim 7,5$  еВ та особливостями у вигляді зломів на функціях при енергіях  $\sim 12, 18, 25$  і  $27$  еВ. На всіх ОФЗ спостерігається також декілька широких максимумів. Враховуючи той факт, що пороги збудження вихідних

рівнів цих ліній з основного стану атома телуру 5,49 і 5,78 еВ, а визначені нами пороги по каналу збудження ліній складають ~7,5 еВ, можна зробити висновок, що в парах телуру при температурі ~290°C атомів телуру занадто мало, а збудження атомних ліній йде за схемою:



тобто різниця в енергіях збудження відповідає енергії дисоціації молекул. Про наявність атомів Te в комірці свідчить незначна інтенсивність ліній випромінювання при енергіях електронів нижче 7,5 еВ (див. рис. 2).

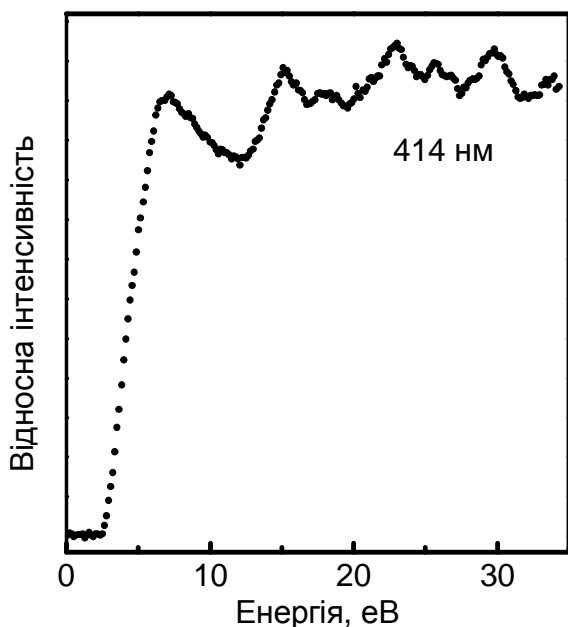


Рис. 3. ОФЗ смуги випромінювання 414 нм

Крім того, враховуючи схожий характер функцій і достатньо різкі пороги збудження цих ліній, можна припустити, що розвал молекули супроводжується резонансним процесом. Ріст залежностей збудження

після енергії 20 еВ свідчить про прямий розвал молекул з утворенням нейтральних фрагментів у збудженому стані.

Розглянемо збудження широкої смуги випромінювання телуру 363-463 нм. Нами виміряно функції збудження окремих ділянок цього спектру. Для прикладу на рис. 3 наведено ОФЗ при довжині хвилі 414 нм. Як бачимо вона має зовсім інший характер, ніж ОФЗ наведені на рис. 2 – чіткий поріг збудження при енергії 3,15 еВ, різкий ріст енергетичної залежності до енергії ~6,5 еВ з деякими особливостями, максимум при енергії ~7,4 еВ, спад до енергії 12,3 еВ і квазігоризонтальну ділянку в області енергії 15-34 еВ, з чіткими максимумами при енергіях 15, 23, 26 та 30 еВ.

Звертає на себе увагу низький поріг збудження ліній в межах цієї смуги – від 3 еВ для  $\lambda=460$  нм до 3,2 еВ для  $\lambda=400$  нм. Всі функції збудження в припороговій області для всіх ділянок смуги подібні.

### Висновки

Методом оптичної спектроскопії з використанням паронаповненої комірки досліджено процеси збудження парів телуру при їх зіткненнях з повільними електронами. Вивчено спектри випромінювання парів телуру в області 195-523 нм при їх збудженні електронами з енергіями 10, 15, 20 і 30 еВ. Виміряно енергетичні залежності збудження найбільш інтенсивних ліній та смуг випромінювання атомів та димерів телуру в інтервалі енергій збуджуючих електронів 1-35 еВ. Визначено енергетичні пороги збудження виявлених ліній та смуг випромінювання.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Эрдевди Н.М., Шпенник О.Б. Вукстич В.С. Прецизионные измерения оптических функций возбуждения атома кадмия // Оптика и спектроскопия. – 2004. – Т.97, №2. – С. 559-566.
2. Shpenik O.B., Erdevdy N.M., Vukstich V.S. Electron excitation of mercury atom spectral lines at meV resolution // Radiation Physics and Chemistry. – 2003. – V.68. – P. 281-284.

3. Ердевді М.М., Звенигородський В.М.  
Збудження молекули тиміну повільни-

ми електронами // Науковий вісник УжНУ.  
Серія Фізика. – 2009. - № 25. – С. 221-226.

Стаття надійшла до редакції 02.07.2012

M.M. Erdevdy, V.V. Zvenighorodsky, P.P. Markush, O.B. Shpenik  
Institute of Electron Physics, Ukr. NAS, 88017, Uzhhorod, Universytetska Str., 21

## THE TELLURIUM OPTICAL EMISSION EXCITED BY ELECTRON IMPACT

Using an optical spectroscopy technique, the tellurium atom excitation in collisions with slow electrons has been studied. The optical emission spectra within the 195 – 523 nm region have been obtained under the 10, 15, 20 30 eV electron impact. And give optical excitation functions the emission spectral lines and bands the atoms and dimers tellurium have been studied within the energy range from the excitation threshold up to 45 eV.

**Keywords:** electron, atom, excitation, optical excitation function, spectral line.

Н.М. Эрдевди, В.В. Звенигородский, П.П. Маркуш, О.Б. Шпеник  
Институт электронной физики НАН Украины, 88017, Ужгород, ул. Университетская, 21  
e-mail: talium@ier.org.ua

## СПЕКТРЫ ИЗЛУЧЕНИЯ ТЕЛУРА ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ ЭЛЕКТРОННЫМ УДАРОМ

Методом оптической спектроскопии изучены спектры излучения атомов телура при их возбуждении медленными электронами. Получены спектры излучения в области 195-523 нм при возбуждении электронами с энергиями 10, 15, 20 и 30 эВ, а также оптические функции возбуждения линий и полос излучения атомов и димеров в энергетическом диапазоне от порога возбуждения до 45 эВ.

**Ключевые слова:** электрон, атом, возбуждение, оптическая функция возбуждения, спектральные линии.