

УДК 539.196.5

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

Інститут електронної фізики НАН України, 88017, Ужгород, вул. Університетська, 21
e-mail: talium@iep.org.ua

ЗБУДЖЕННЯ МОЛЕКУЛИ ЕТИЛЕНГЛІКОЛЮ ПОВІЛЬНИМИ ЕЛЕКТРОНАМИ

Методом оптичної спектроскопії вивчено спектри випромінювання молекул етиленгліколю при їх зіткненнях з повільними електронами. Отримано спектри випромінювання в області 258 – 504 нм при збудженні молекул електронами з енергіями 30, 50, 70, 100 та 150 еВ, а також оптичні функції збудження смуг випромінювання в енергетичному діапазоні від порогу збудження до 120 еВ. Показано, що смуги 283 і 309 нм обумовлені випромінюванням ОН – фрагмента молекули. Ідентифіковано також природу випромінювання смуг 391, 398, 412, 433 – 435 та 487 нм.

Ключові слова: електрон, молекула, збудження, іонізація, фрагментація.

Вступ

Великий інтерес до вивчення процесів взаємодії повільних електронів з молекулами спиртів викликаний, насамперед, їх широким промисловим використанням. Крім того, виявлення молекул спиртів у міжзоряному просторі і в атмосферах планет викликає зацікавлення з точки зору фундаментальної науки в питаннях радіаційної стійкості органічних речовин, а також розуміння механізмів радіаційного пошкодження біологічних об'єктів [1, 2].

Важливими процесами, які відбуваються у молекулах при їх взаємодії з повільними електронами є процеси збудження. Як правило, збудження молекул електронним ударом супроводжується випромінюванням молекулярних смуг та спектральних ліній уламків молекул. При поглинанні енергії молекула, яка спочатку знаходилася в основному стані, переходить в один із можливих збуджених станів. Оскільки кожен стійкий електронний стан характеризується своєю потенційною поверхнею і своїм набором коливних, а при наявності обертання також обертальних рівнів, то при взаємодії з бомбардуючим електроном переходить з одного електронно-коливного-обертального стану в інший електронно-коливно-обертальний стан. Тому використання моноенергетичних пучків електронів для збудження молекул зі скануванням енергії з невели-

ким кроком дозволяє отримати інформацію про положення і структуру енергетичних рівнів молекули і оцінити відносну імовірність їх збудження.

Нами було поставлено за мету вивчити процеси збудження молекули етиленгліколю повільними електронами. Були досліджені спектри випромінювання етиленгліколю в газовій фазі та виміряні оптичні функції збудження (ОФЗ) окремих смуг випромінювання та виявлені механізми їх збудження.

Експеримент

Дослідження проводились оптичним методом з використанням паронаповненої комірки, в якій створювалася необхідна концентрація молекул етиленгліколю в газовій фазі. При всіх вимірах температура резервуара з етиленгліколем підтримувалася в межах 50–60°C, а комірки зіткнень ~100°C. Тиск залишкових газів у вакуумній камері не перевищував 10^{-6} Торр.

Колімований пучок моноенергетичних електронів діаметром 2 мм, сформований 4 – х електродною гарматою, дозволяв отримувати струм ~20 мкА в інтервалі енергій 1–150 еВ. Пучок електронів проходить через паронаповнену комірку і детектується циліндром Фарадея. Моноенергетичність електронного пучка у вакуумі – повна ширина на напіввисоті продиференційованої вольт-амперної ха-

рактики становила 0,4 еВ.

Детектування випромінювання, яке виділялося дифракційним монохроматором МДР-2, здійснювалося фотоелектронним помножувачем (ФЕП) ФЭУ-106. Однофотоелектронні імпульси ФЕП підсилювалися, формувалися і надходили через відповідну інтерфейсну карту РС на лічильник імпульсів. Накопичення сигналу в кожній точці здійснювалося з експозицією від 10 до 40 сек. Спектри випромінювання в області 258 – 504 нм вимірювалися з кроком 0,814 нм та щільностями монохроматора 1 мм при фіксованих енергіях електронів 30, 50, 70, 100 і 150 еВ. В приведених спектрах не враховані спектральна чутливість ФЕП та спектральна характеристика пропускання монохроматора. Енергія електронів при вимірах ОФЗ в заданому інтервалі енергій сканувалася з кроком 400 меВ, а при вимірах припорогових ділянок – 150 меВ.

Більш детальний опис експериментальної установки та методики досліджень наведено в [3–5].

Результати та їх обговорення

Етиленгліколь $C_2H_4(OH)_2$ (1,2 – ethanediol) – це спирт з двома ОН – групами, рідина, в чистій формі – прозора, без запаху. Молярна маса – 62,068 г/моль, густина – 1,1132 г/см³, температура замерзання – 12,9°С, температура кипіння – 197 °С.

Дослідження проходили в два етапи. Спочатку вимірювалися спектри випромінювання молекул етиленгліколю при бомбардуванні їх електронами з різними фіксованими енергіями, а потім – ОФЗ найбільш інтенсивних смуг випромінювання. На рис. 1 наведено спектри випромінювання молекули, отримані в діапазоні 258–504 нм при збудженні їх електронами з енергіями 30, 50, 70, 100 та 150 еВ. Як видно, чітко фіксуються сім смуг випромінювання різної форми та інтенсивності з максимумами ~283, 309, 391, 398, 412, 433 – 435 і 487 нм. У спектрах наявні як широкі смуги – 283, 309, 391, 398 нм і 433 – 435 нм з вираженою структурою, так і достатньо

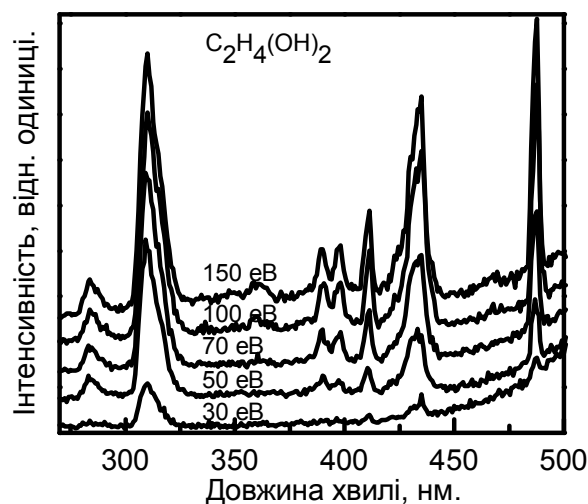


Рис. 1. Спектри випромінювання молекул етиленгліколю.

вузькі смуги – 412 і 487 нм.

Як видно з рис. 1, в залежності від енергії збуджуючих електронів, форма та інтенсивність смуг випромінювання помітно змінюються. Різні також і енергії порогів появи випромінювання спектральних смуг. Якщо для широких смуг 283 і 309 нм енергія порогу випромінювання становить ~10 еВ (див. ОФЗ рис. 2), то для всіх інших смуг – ~22 еВ (див. ОФЗ рис. 3, 4).

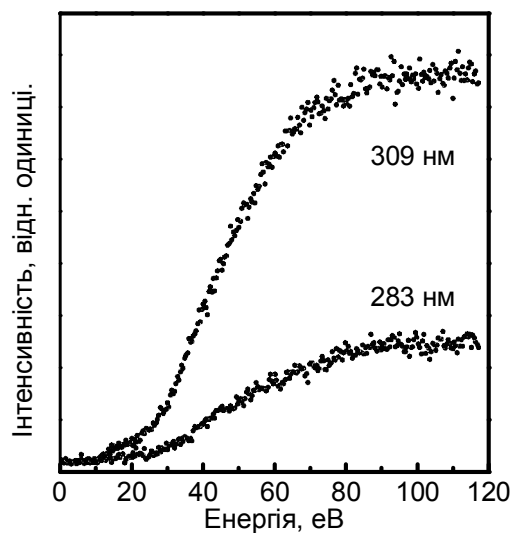


Рис. 2. ОФЗ смуг випромінювання 283 та 309 нм.

Виходячи з величин енергій порогів збудження смуг випромінювання, можна зробити висновок, що ці смуги випромінювання належать не самій молекулі етиленгліколю, а збудженим фрагментам молекули.

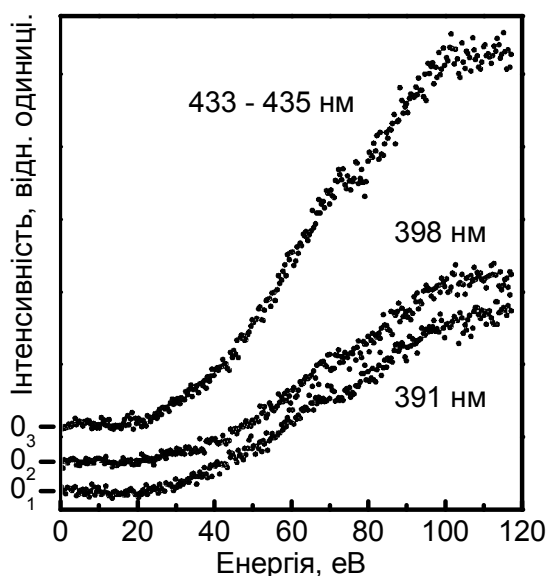


Рис. 3. ОФЗ смуг випромінювання 391, 398 та 433 – 435 нм.

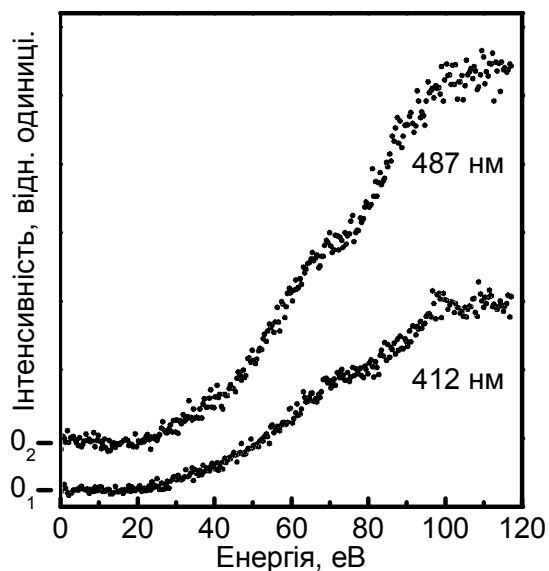


Рис. 4. ОФЗ смуг випромінювання 412 та 487 нм.

Однак, помітно, що широкі смуги 283 та 309 нм (рис. 2) обумовлені електронним переходом $X^2\Pi - A^2\Sigma^+$ молекули-фрагмента ОН. Про це свідчить спектр випромінювання цього переходу, який виміряно з катодної плями розряду постійного струму в парах води в роботі [6] і який співпадає з нашим спектром в цій області довжин хвиль. Зазначимо також, що ОФЗ смуги 309 нм (рис. 2) має достатньо складний характер. Поріг збудження цієї смуги знаходиться при енергії близько 10 еВ, далі є ділянка зростання залежності до енергії ~ 15 еВ з виходом на практично горизонтальну ділянку з другим порогом при енергії ~ 21 еВ

і наступним ростом енергетичної залежності ефективності збудження цієї смуги. Це свідчить про включення нового каналу збудження у випромінювання смуги 309 нм. В області енергій збуджуючих електронів ~ 80 -120 еВ маємо горизонтальну ділянку функції.

В роботі [7] вивчалися процеси іонізації, дисоціативної іонізації та фрагментації молекули етиленгліколю при взаємодії з повільними електронами. Виміряно мас-спектри молекули, визначено порогови появи іонів-фрагментів молекули та визначено залежності ефективності іонізації молекулярного і фрагментарного іонів молекули етиленгліколю у припороговій області енергій. Виходячи з величини енергії порогу іонізації фрагмента CHO^+ – 17,79 еВ і характеру кривої ефективності іонізації (особливість при енергії ~ 20 еВ) та враховуючи енергії порогів збудження можемо припустити, що смуги свічення 412 і 433 – 435 нм обумовлені електронними переходами молекули СН, яка утворюється в результаті відриву O^+ від фрагмента CHO^+ .

Найвужча смуга 487 нм, скоріш за все, є суперпозицією декількох механізмів випромінювання, про що свідчить складний характер енергетичної залежності ефективності збудження смуги і наявність особливостей при енергіях 30, 40, 70 та 90 еВ (рис. 4). Зауважимо, особливості при вказаних вище енергіях спостерігаються і на ОФЗ смуг 391, 398, 412 та 433 – 435 нм, що свідчить про вклад у спільний механізм збудження вихідних рівнів цих спектральних рівнів.

Висновки

Методом оптичної спектроскопії з використанням паронаповненої комірки вивчено спектри випромінювання молекул етиленгліколю в області 258 – 504 нм при їх збудженні електронами з енергіями 30, 50, 70, 100 і 150 еВ. Зареєстровано сім смуг випромінювання молекули та її фрагментів різної інтенсивності та форми.

Вперше виміряно енергетичні залежності ефективності збудження смуг випромінювання молекули і її фрагментів в

інтервалі енергій 10 – 120 еВ. Визначено енергетичні пороги збудження смуг

випромінювання, які знаходяться в області 10–22 еВ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Keating G.M., Shorthill R.W., Mazursky H. and Elson L.S. Planetary studies. Proceedings of the Topical Meeting of COSPAS, V.7-№12. (1987).
2. Kissel J. and Kruger F.R. Mass-Spectrometric in situ studies of cometary organics for p/Halley and options for the future. Adv. Space Res. – 1995. – V.15. – P. 59-63.
3. Эрдевди Н.М., Шпеник О.Б., Вукстич В.С. Прецизионные измерения оптических функций возбуждения атома кадмия // Оптика и спектроскопия. – 2004. – Т.97. – №2. – С. 559-566.
4. 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.63. – P. 281–284.
5. Эрдевди М.М., Звенигородский В.В. Збудження молекули тиміну повільними електронами // Науковий вісник Ужгородського ун-ту. Серія Фізика. – 2009 – Вип. 25. – С. 221-226.
6. Соскида М.Т.І. Дослідження випромінювання постійного розряду над поверхнею води // Науковий вісник Ужгородського ун-ту. Серія Фізика. – 2004 – Вип. 16. – С. 54-58.
7. Микита М.І., Романова Л.Г., Завілопуло А.М., Шпеник О.Б. Іонізація молекули етиленгліколю електронним ударом. Укр.фіз.журн. – 2011. – Т.56 – №2. – С. 116-120.

Стаття надійшла до редакції 20.09.2012

V.V. Zvenigorodsky, M.M. Erdevdy, O.B. Shpenik

Institute of Electron Physics, Ukr. NAS, 88017, Uzhhorod, Universytetska Str., 21

ETHYLENE GLYCOLE MOLECULE EXCITATION BY SLOW ELECTRONS

Using an optical spectroscopy technique, the ethylene glycol molecule excitation in collisions with slow electrons has been studied. The emission spectra within the 258 – 504 nm region have been obtained under the 30, 50, 70, 100 and 150 eV electron impact. It has been shown that the 283 and 309 nm bands are due to the emission of the excited OH-fragment of the initial molecule. The origin of the 391, 398, 412, 433 – 435 and 487 nm emission bands has also been identified.

Keywords: electron, molecule, excitation, fragmentation.

В.В. Звенигородский, Н.М. Эрдевди, О.Б. Шпеник

Институт электронной физики НАН Украины, 88017, Ужгород, ул. Университетская, 21

ВОЗБУЖДЕНИЕ МОЛЕКУЛЫ ЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ МЕДЛЕННЫМИ ЭЛЕКТРОНАМИ

Методом оптической спектроскопии изучены спектры излучения молекул этиленгликоля при их столкновениях с медленными электронами. Получены спектры излучения в области 258 – 504 нм при возбуждении молекул электронами с энергиями 30, 50, 70, 100 и 150 эВ, а также оптические функции возбуждения полос излучения в энергетическом диапазоне от порога возбуждения до 120 эВ. Показано, что полосы 283 и 309 нм обусловлены излучением ОН – фрагмента молекулы. Идентифицирована также природа излучения полос 391, 398, 412, 433 – 435 и 487 нм.

Ключевые слова: электрон, молекула, возбуждение, ионизация, фрагментация.