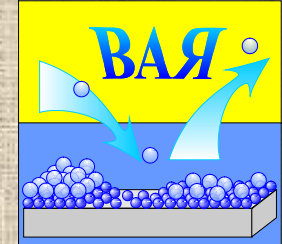


Національна академія наук України
Інститут фізики
Відділ адсорбційних явищ



Вплив адсорбції кисню на термостійкість
наношару берилію на поверхні Мо (110)

Д.Ю. Балакін, Л.Ю. Лопандя

Київ 2019

Актуальність — створення нових наноматеріалів з унікальними властивостями на базі оксиду берилію і підкладки (тугоплавких перехідних металів). Для формування поверхонь із заданими властивостями можна використовувати несумірність кристалічних ґраток адсорбата (Be) і адсорбента (Mo), що сприяє утворенню нанокластерної структури покриття.

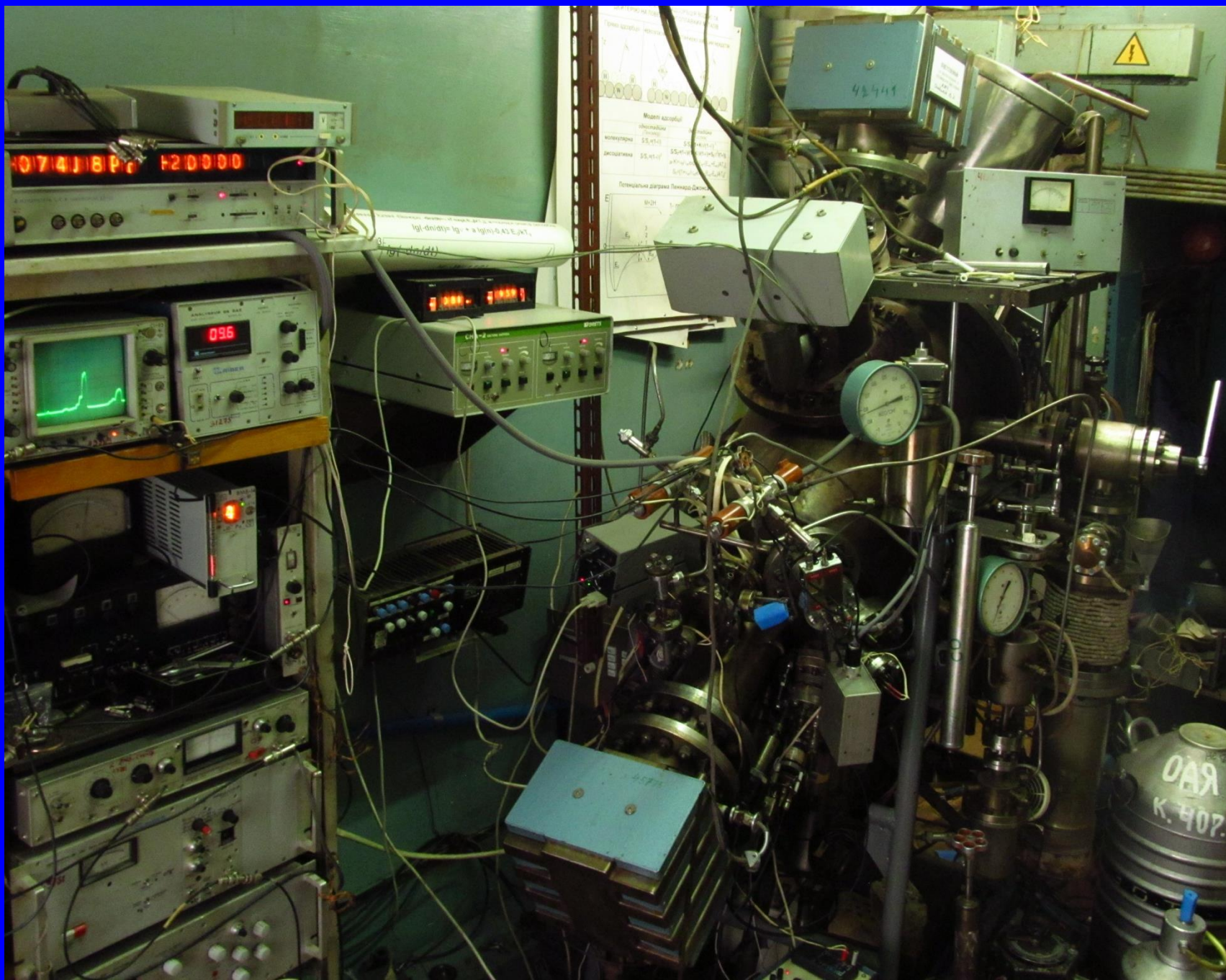
Мотивація

- ◆ Застосування: у ядерних і авіо-космічних технологіях
- ◆ Аномальні властивості берилію як представника лужноземельної групи елементів:
 - *велика теплопровідність BeO,*
 - *значна електронегативність (1,47-1,57),*
 - *відносно слабкий зв'язок з киснем.*
- ◆ Електронно-адсорбційні властивості адплівок Be на поверхні тугоплавких перехідних металів вивчені вкрай недостатньо.

Основна мета роботи:

- Вивчити умови формування металічних та оксидних наноплівки берилію (Be, BeO) на орієнтованій поверхні (110) монокристала молібдену.
- Дослідити кінетику адсорбційної взаємодії кисню з адсорбційною системою з Be/Mo(110).
- Вивчити процес окислення наноплівки Be.
- Дослідити продукти десорбції адсистем.
- Встановити термостійкість наносистем та виробити відповідні практичні рекомендації.

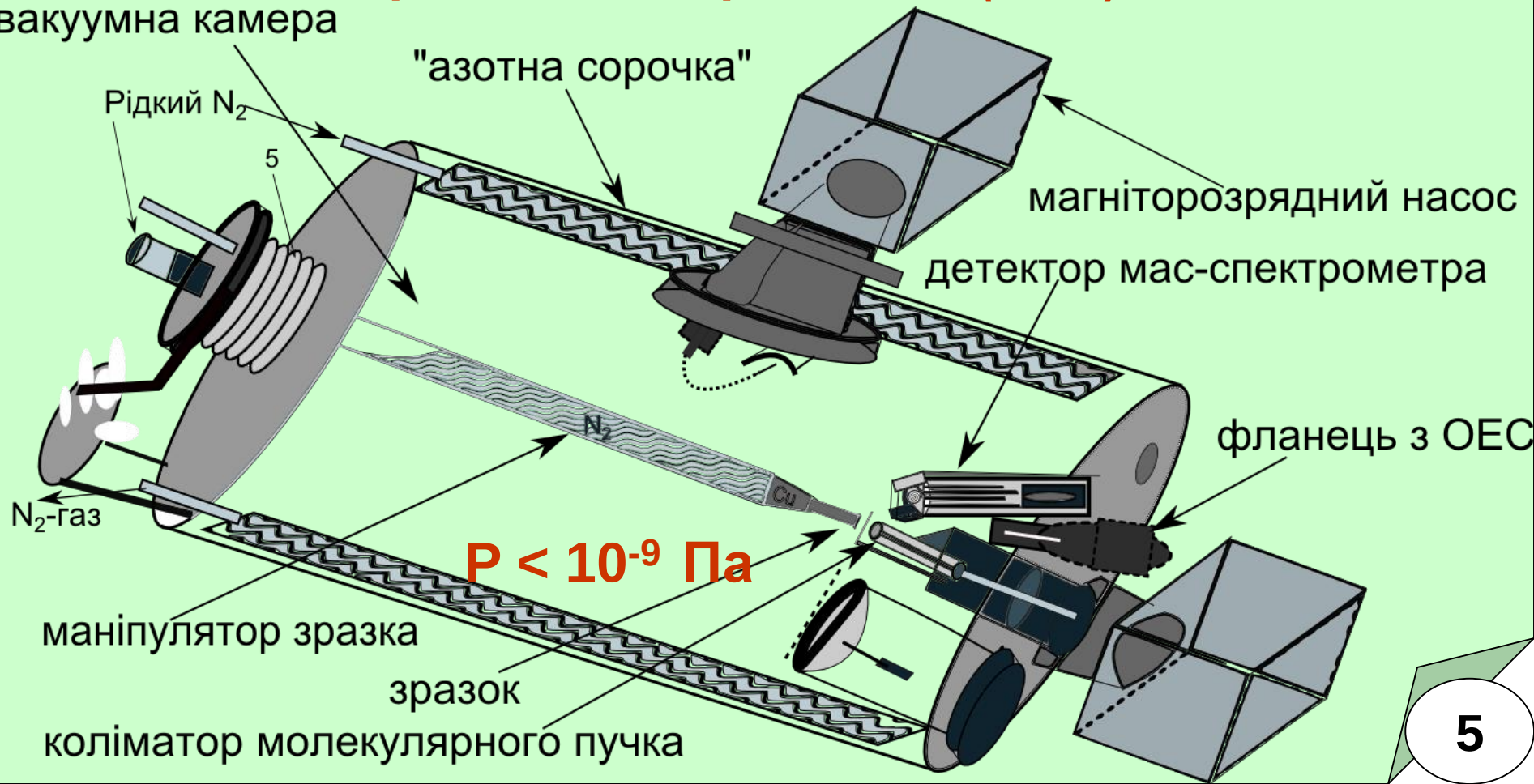
Експериментальна установка “Чорна камера”



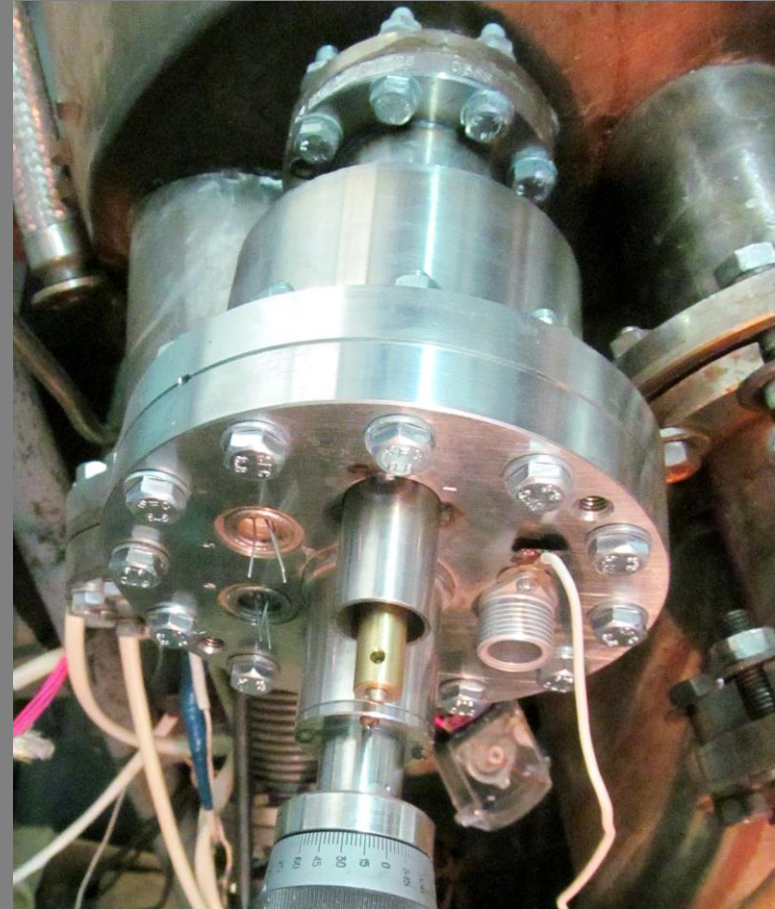
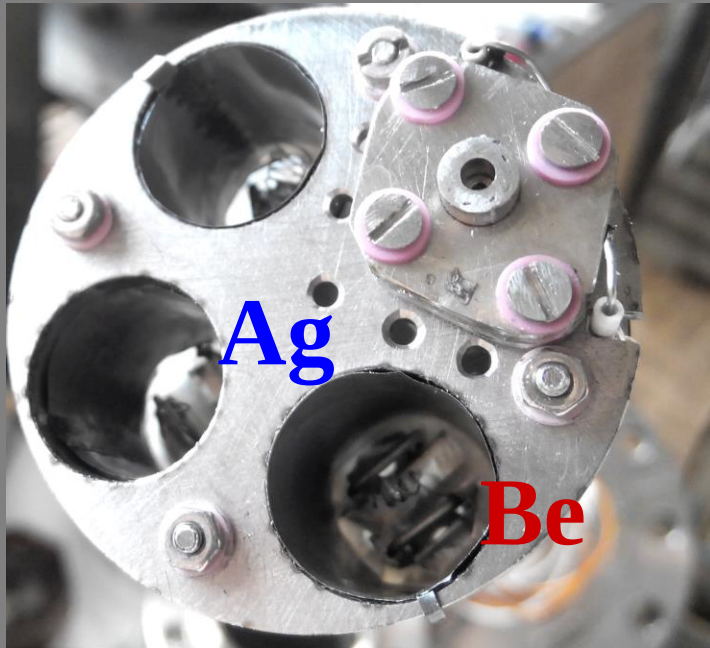
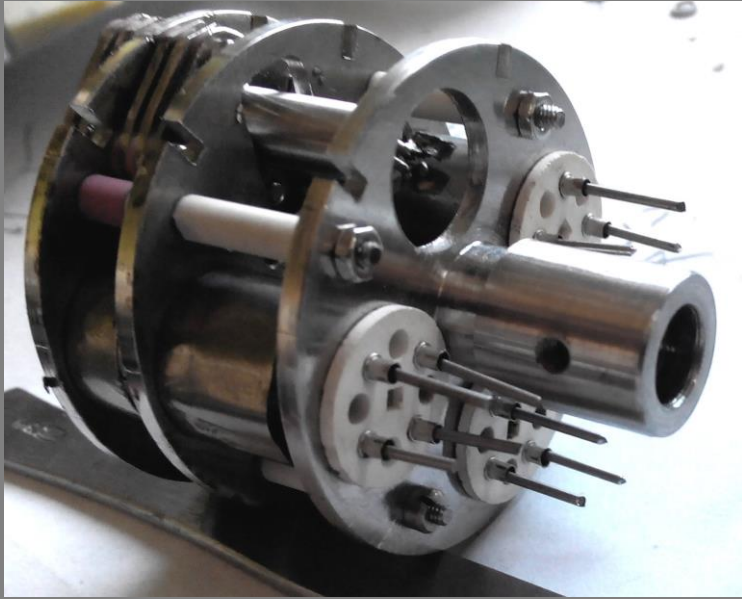
Експериментальні методи дослідження:

- ♦ метод молекулярного пучка (МП);
- ♦ температурно-програмована десорбція (ТПД);
- ♦ Ізотермічна десорбція (ІД);
- ♦ Оже-електронна спектроскопія (ОЕС)

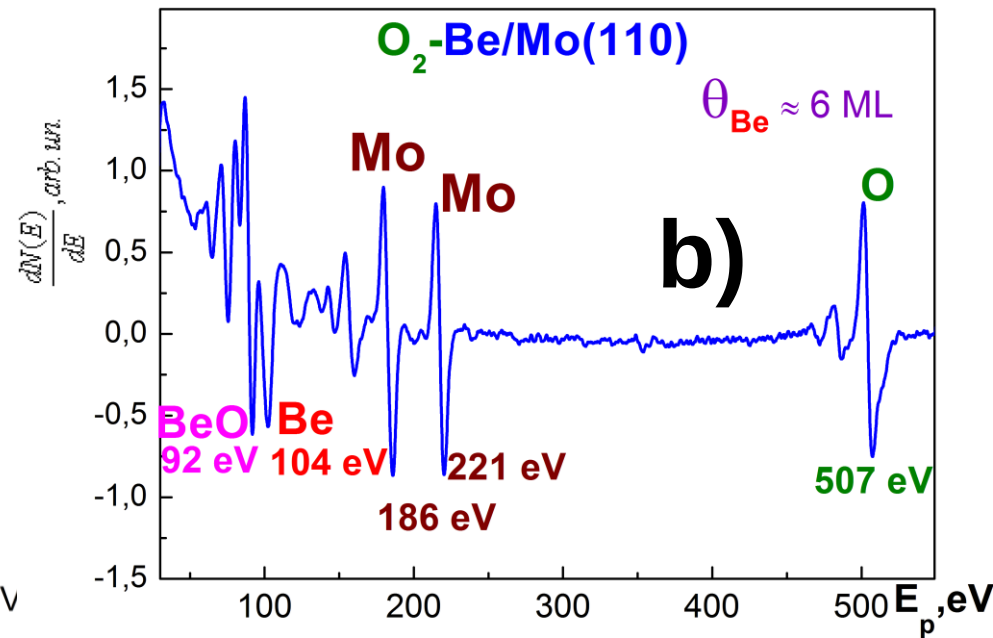
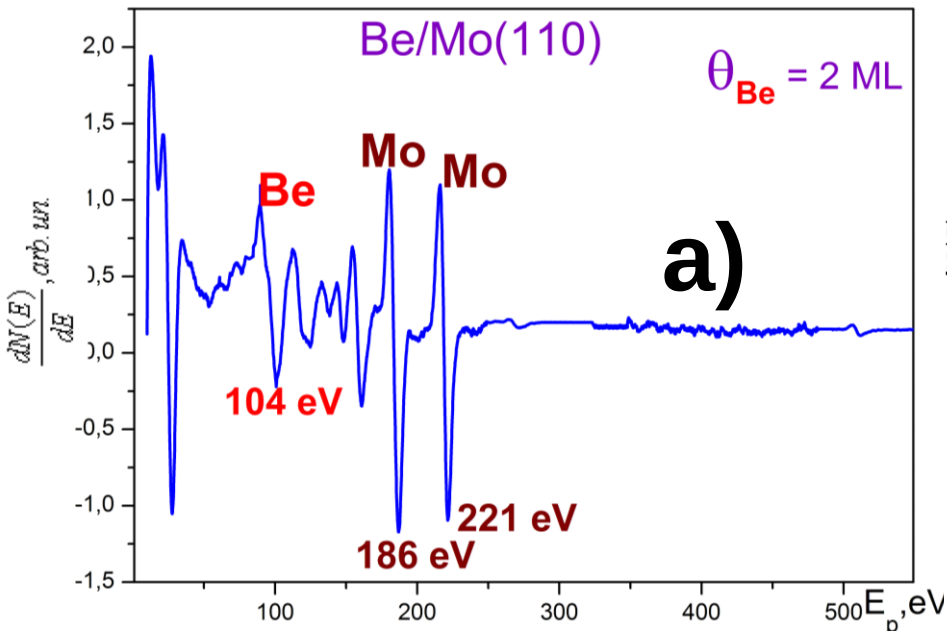
вакуумна камера



Виготовлення та монтаж джерела Be та Ag



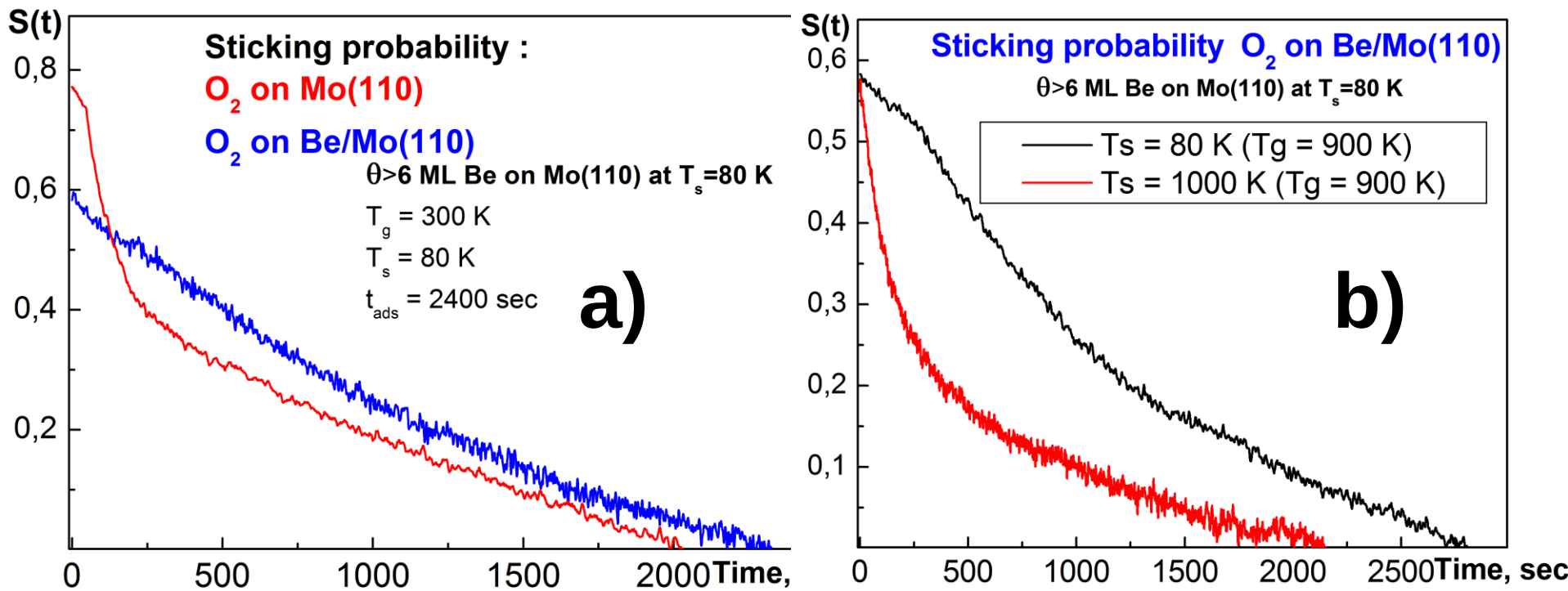
Оже спектри адсистем Be/Mo(110) та O₂-Be/Mo(110)



При напорошенні берилію на Mo(110) в Оже спектрі (a) з'являється Оже пік берилію (104 eV).

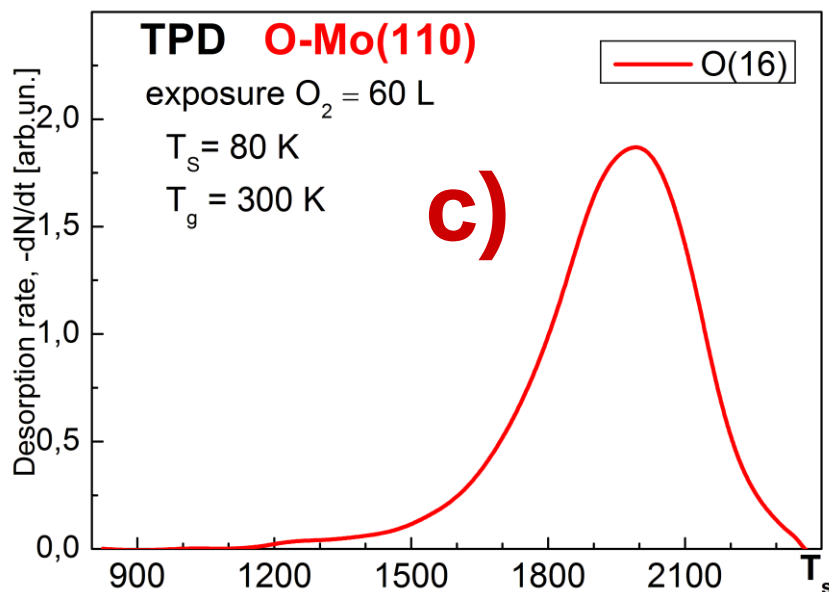
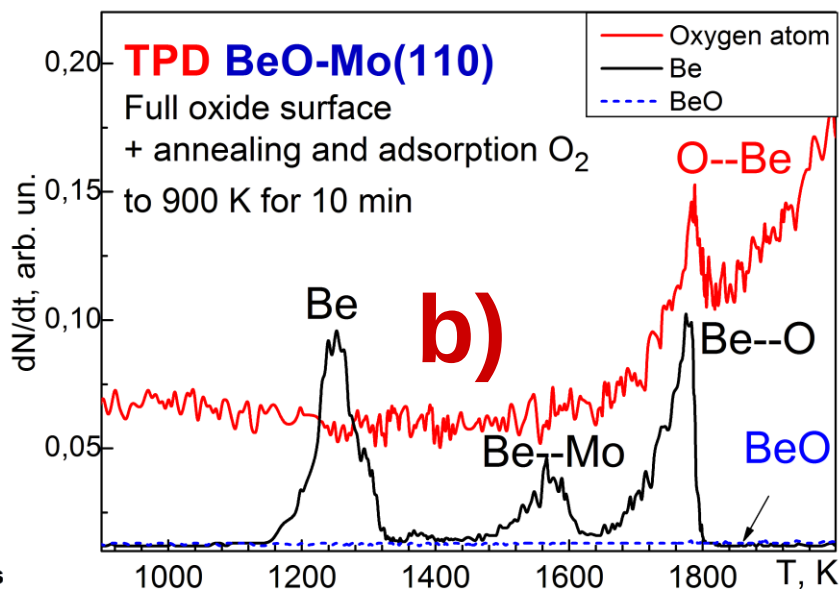
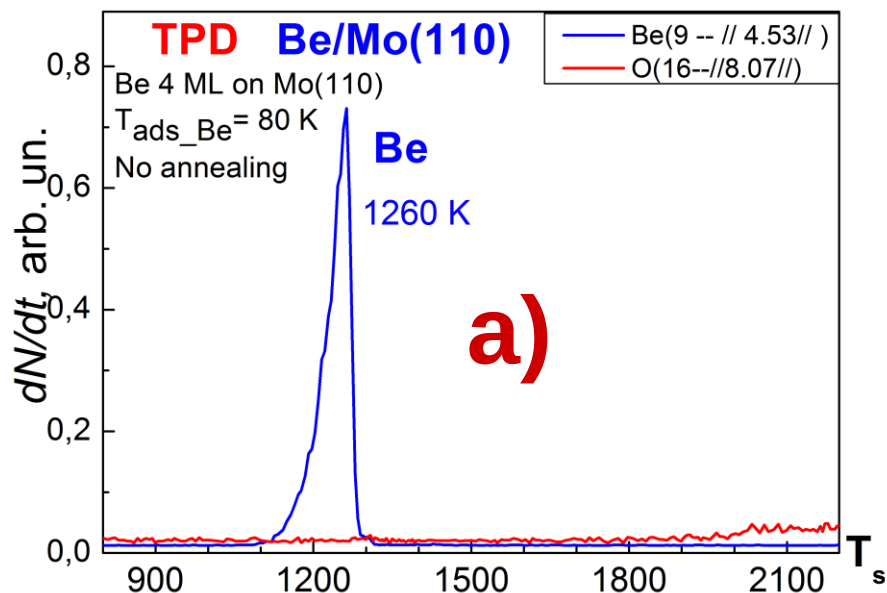
При взаємодії кисню з Be/Mo(110), берилій окислюється і утворюється оксид BeO, відбувається хімічний зсув. На спектрі (b) з'являються піки-сателіти BeO – 86, 92 eV.

Кінетика адсорбції молекул O_2 на чистій поверхні $Mo(110)$ та на модифікованій наночаром Be



Часова залежність коефіцієнта прилипання кисню до чистої та модифікованій поверхні $Mo(110)$ (a). Сталість початкового коефіцієнту прилипання S_0 (рис. (b)) свідчить проте, що на початкових стадіях адсорбція проходить прямо – без участі власного передстану.

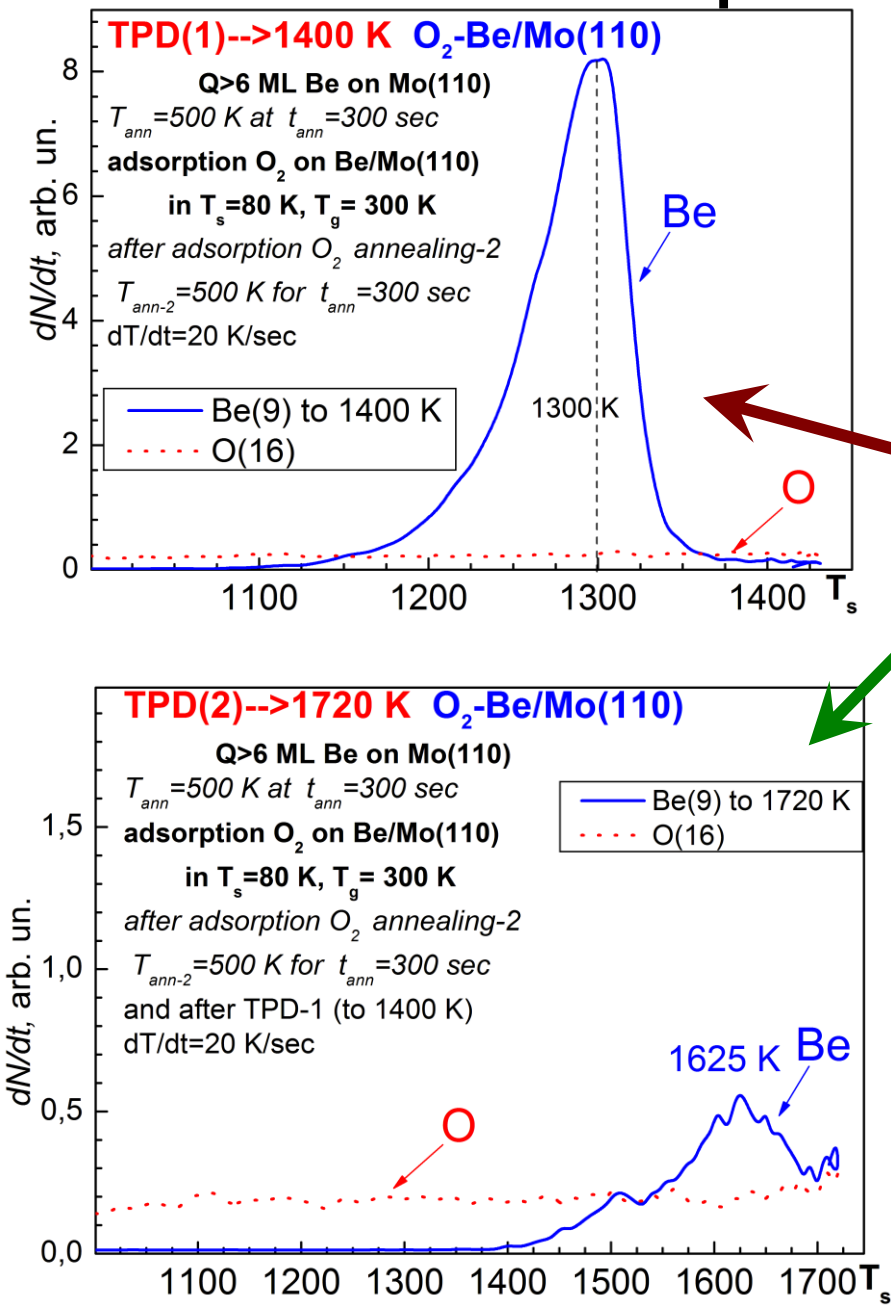
Спектри термодесорбції з адсорбційних систем Be/Mo (a), BeO/Mo(b) та O/Mo (c)



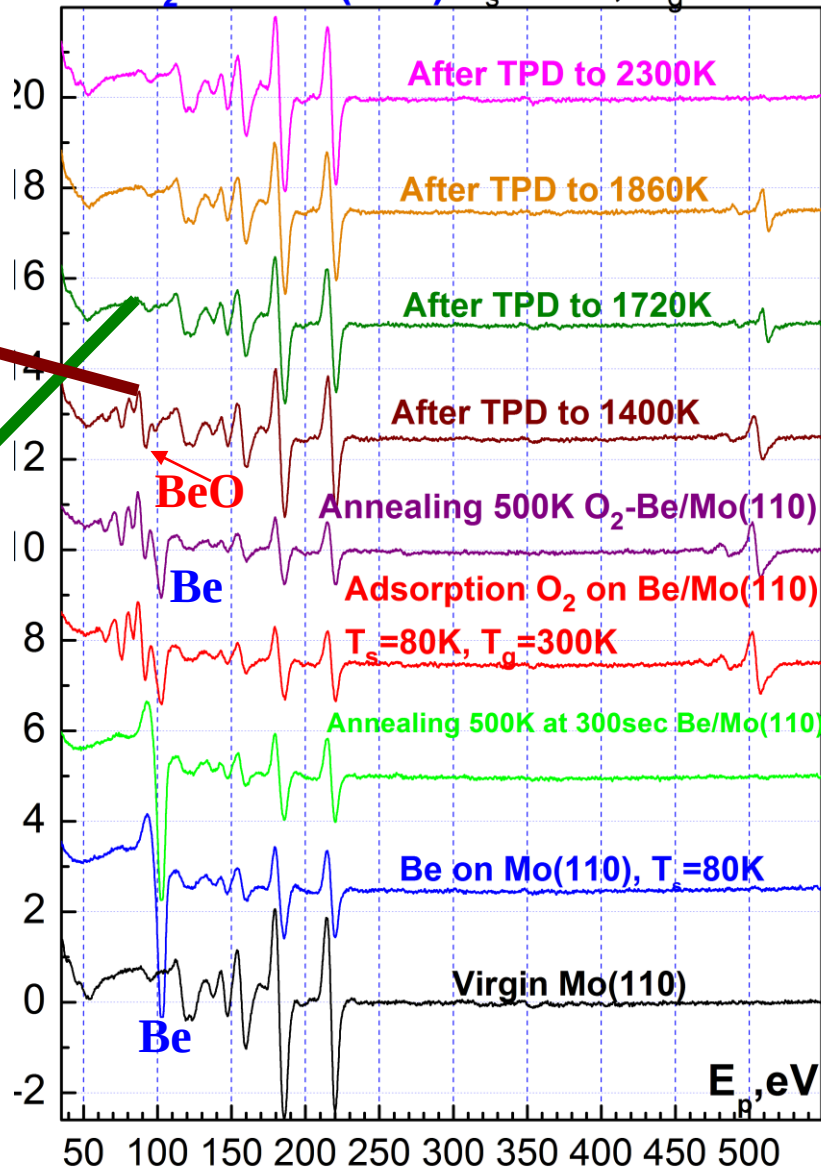
Спектри TPD з металічної плівки берилію (a), оксидованої - BeO (b) та з підкладки молібдену насиченої киснем (c).

Наявність адсорбованого кисню на поверхні молібдену збільшує термостійкість шару берилію.

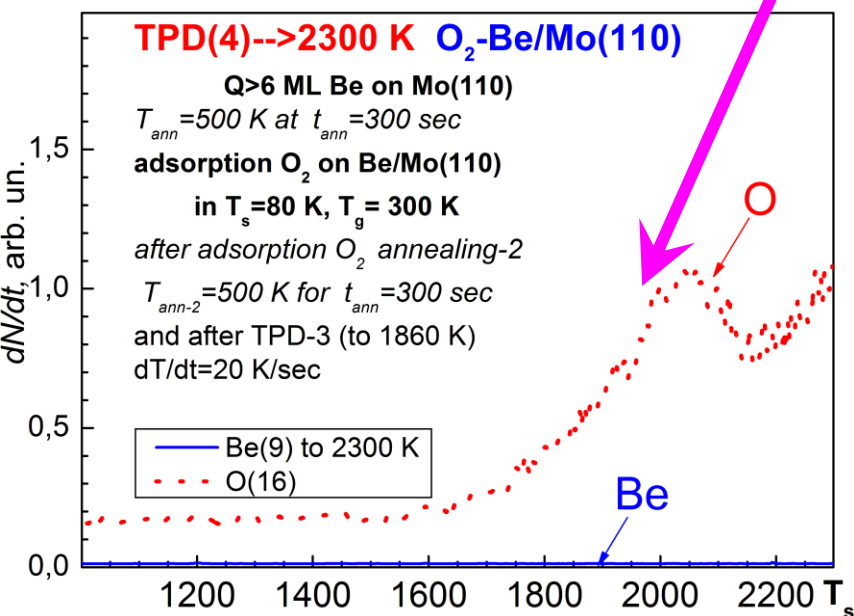
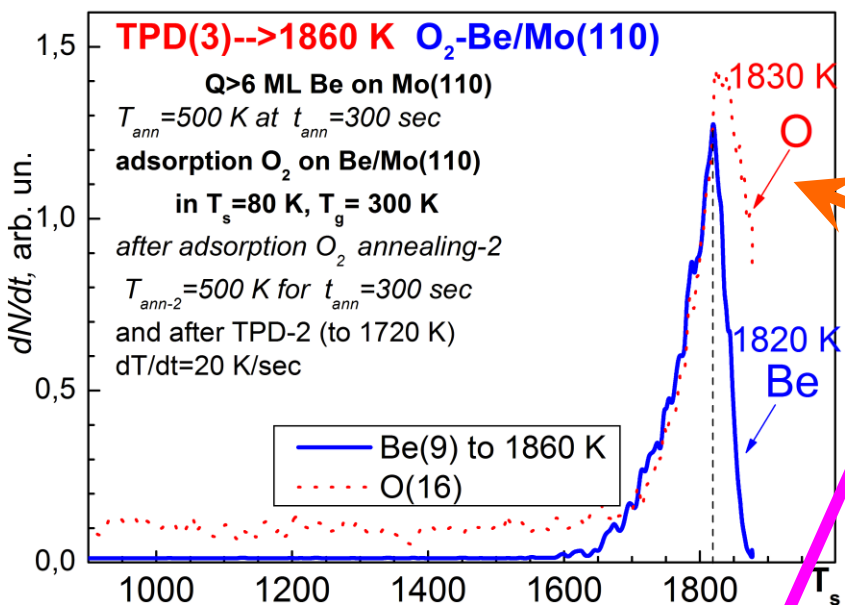
Комплекс досліджень адсистеми BeO/Mo з використанням TPD і AES



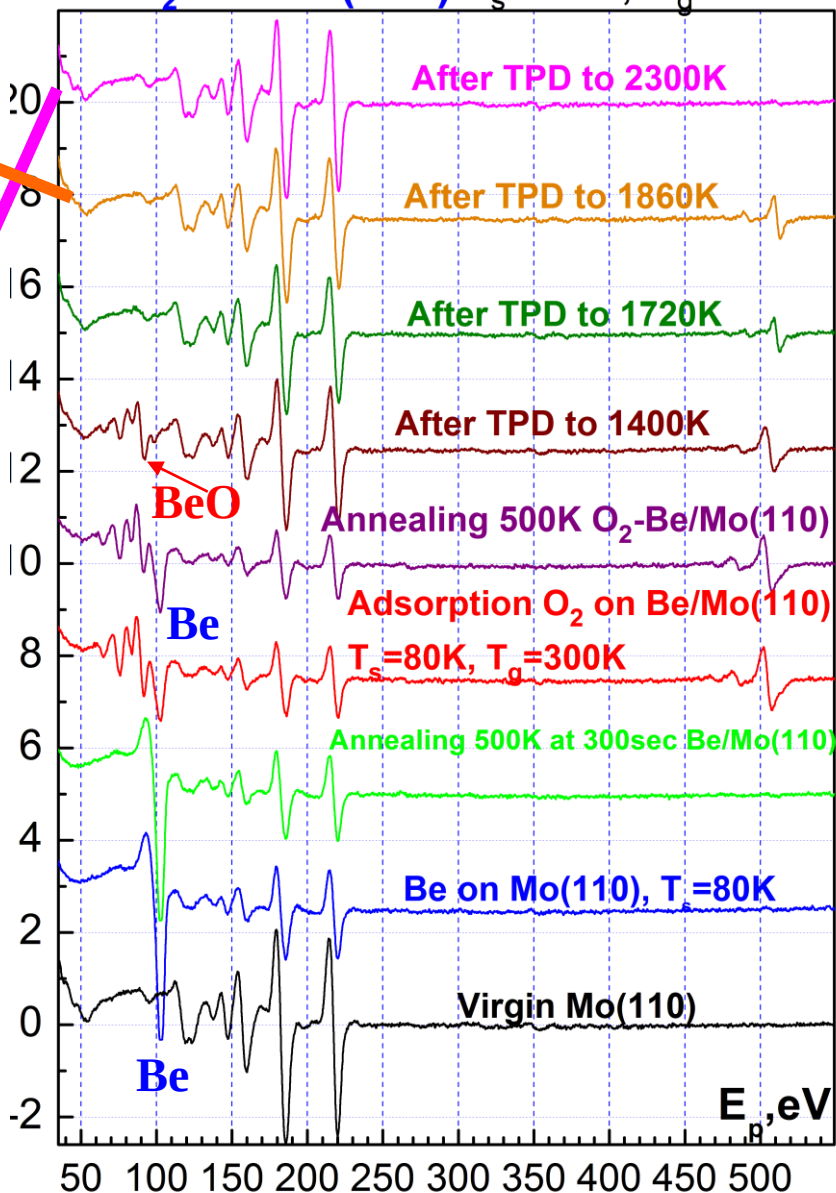
AES O_2 -Be/Mo(110) $T_s=80$ K, $T_g=300$ K



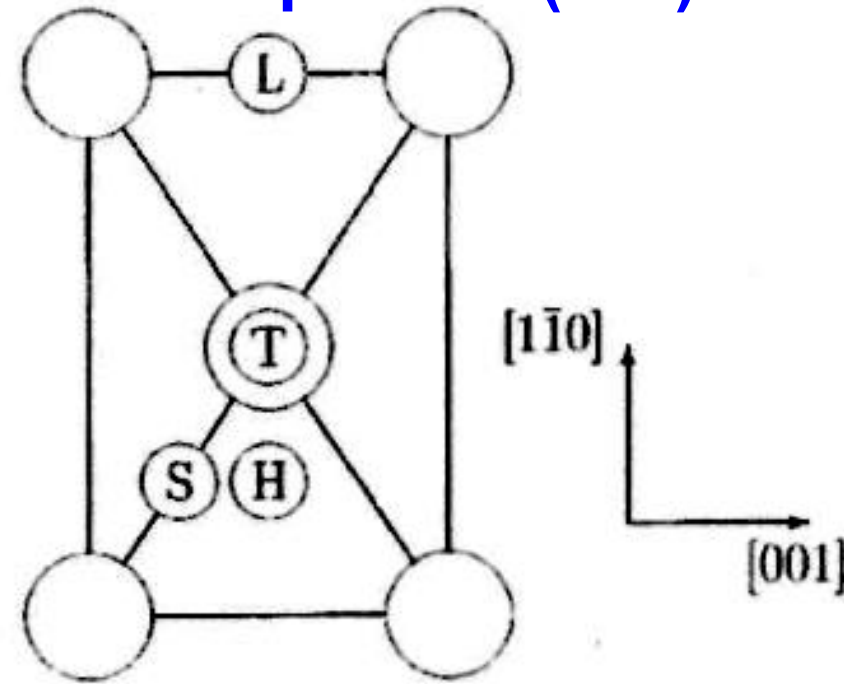
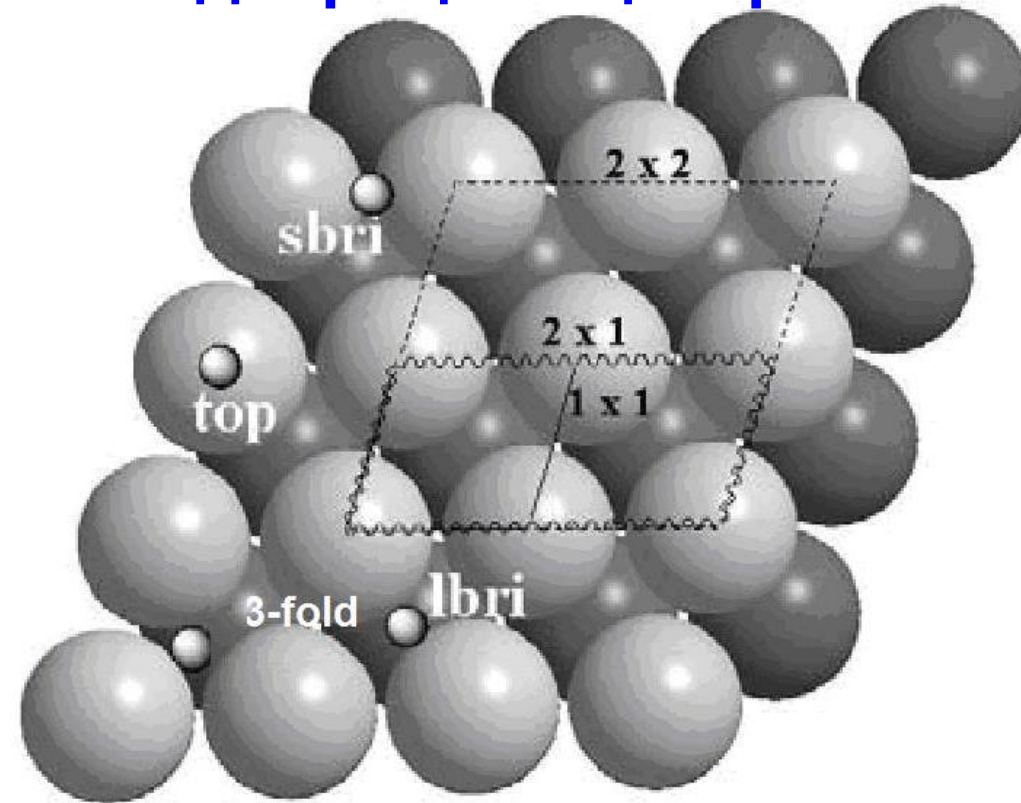
Комплекс досліджень адсистеми BeO/Mo з використанням TPD і AES



AES O₂-Be/Mo(110) $T_s=80$ K, $T_g=300$ K



Адсорбційні центри кисню на поверхні Mo(110)



Представлення адсорбційних центрів для O на поверхні Mo(110), вигляд зверху. Суцільна, хвильова і штрихпунктирна комірki відповідають елементарним коміркам (1×1) , (2×1) і (2×2) .

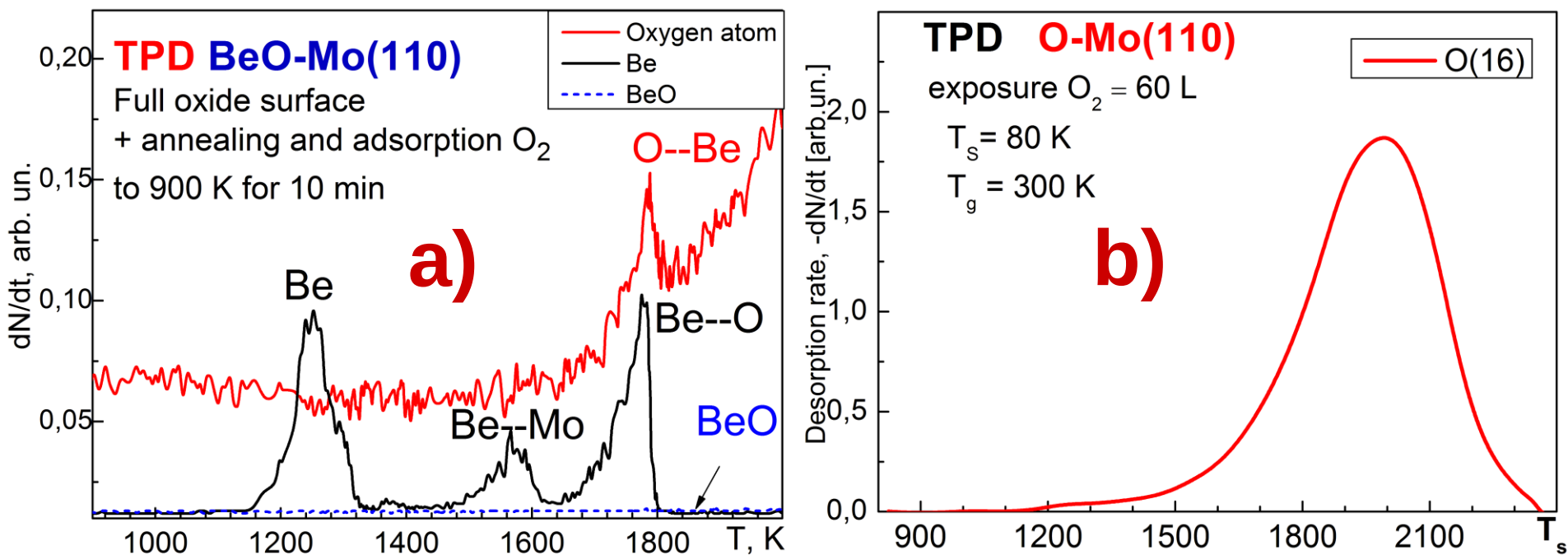
Позначенні місця перебування атомів кисню:

T (top) – на вершині, енергія зв'язку при 1ML – $E_{3e} = 5,2$ eV;

S (s-bri) – короткому мості, $E_{3e} = 5,7$ eV; **L (l-bri)** – у довгому мості,

$E_{3e} = 5,9$ eV; та **H (3-fold)** – тримірне місце, $E_{3e} = 6,7$ eV.

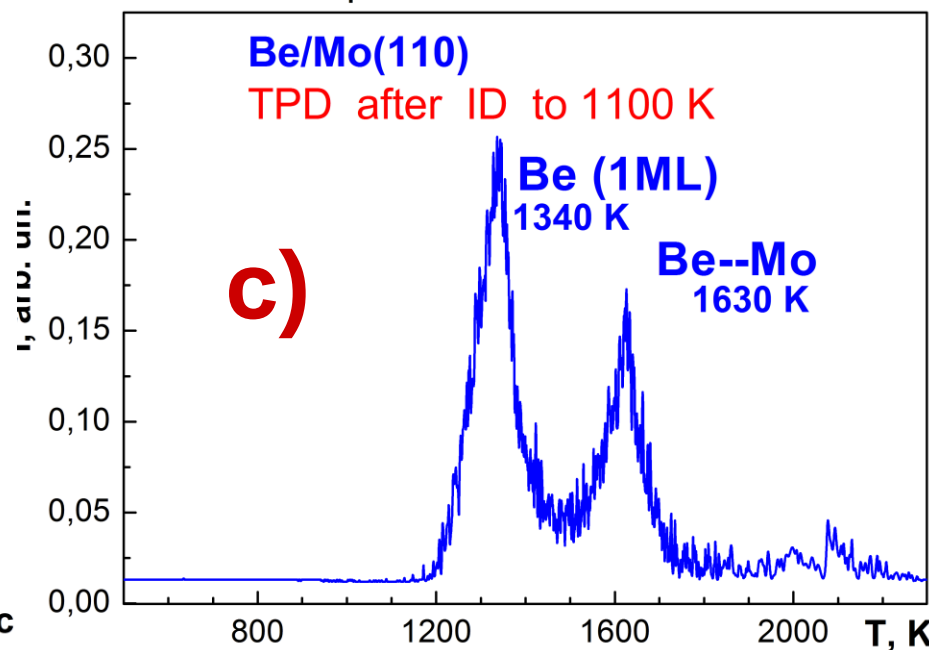
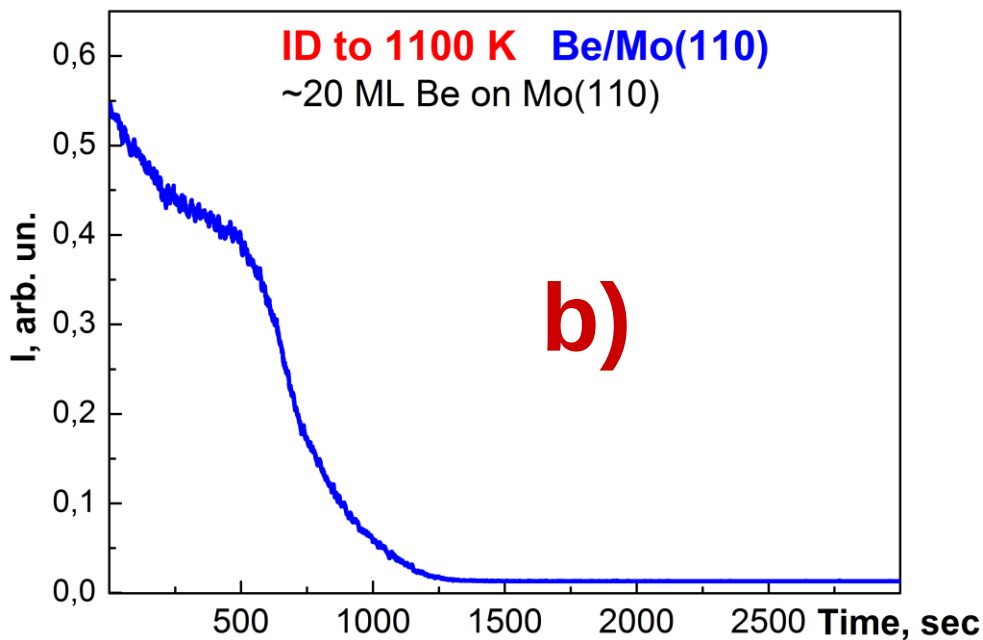
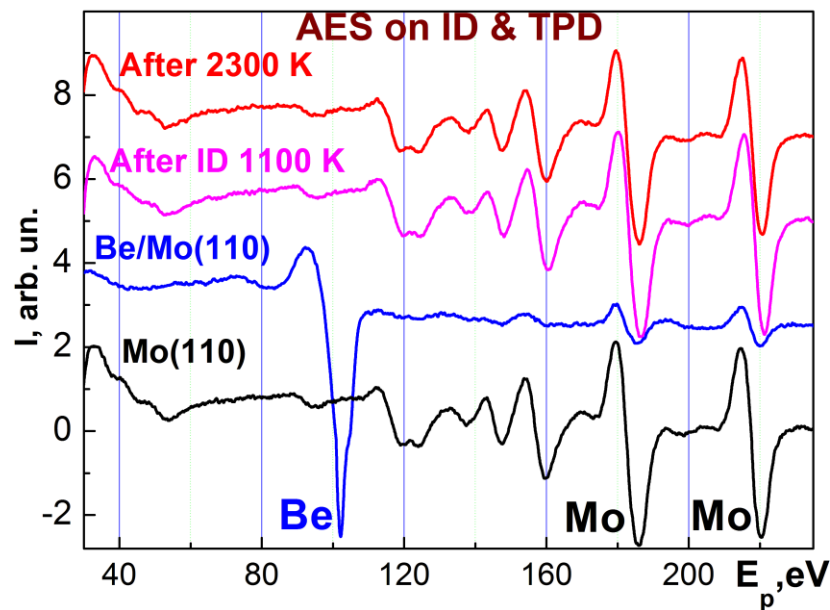
Продукти десорбції з адсистеми BeO/Mo та O/Mo при проведенні ТПД



Основними продуктами десорбції з адсистеми BeO/Mo (110) є атоми берилію та кисню, оскільки оксид берилію дисоціює. Піки O(16) і Be(9) вказують на те, що шар BeO оксиду дисоціює на поверхні при $T_s > 1620$ K і має вищу енергію зв'язування з поверхнею Mo(110), ніж металічна плівка Be ($T_s = 1260$ K).

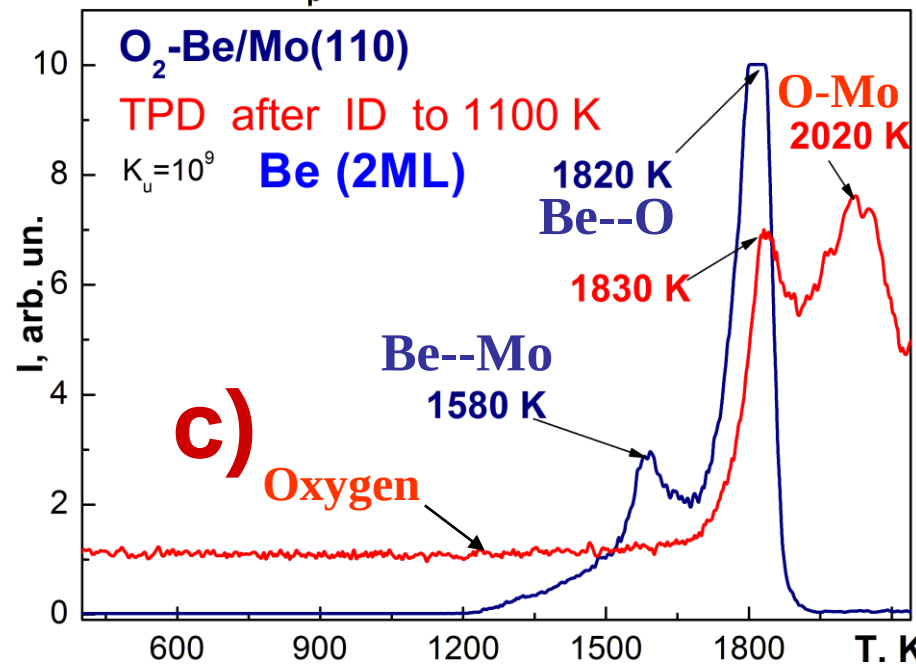
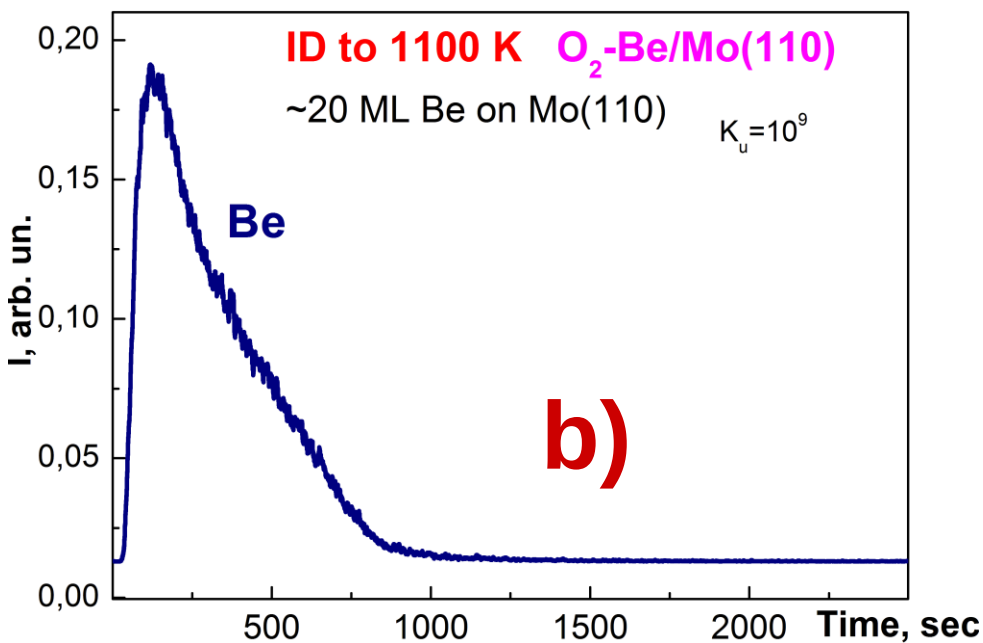
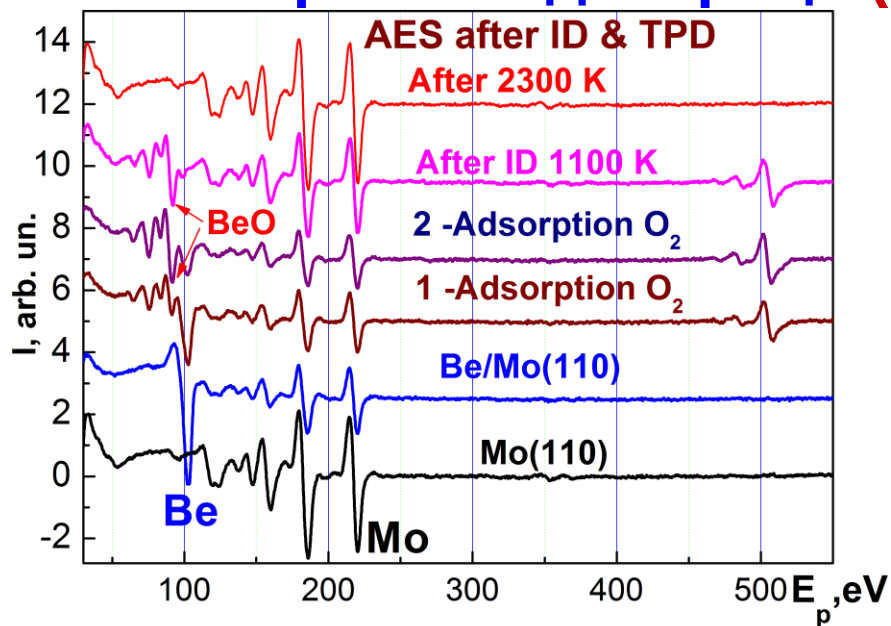
Комплекс досліджень адсистеми **Be/Mo** з використанням ізотермічної десорбції (ID) & TPD & AES

a)

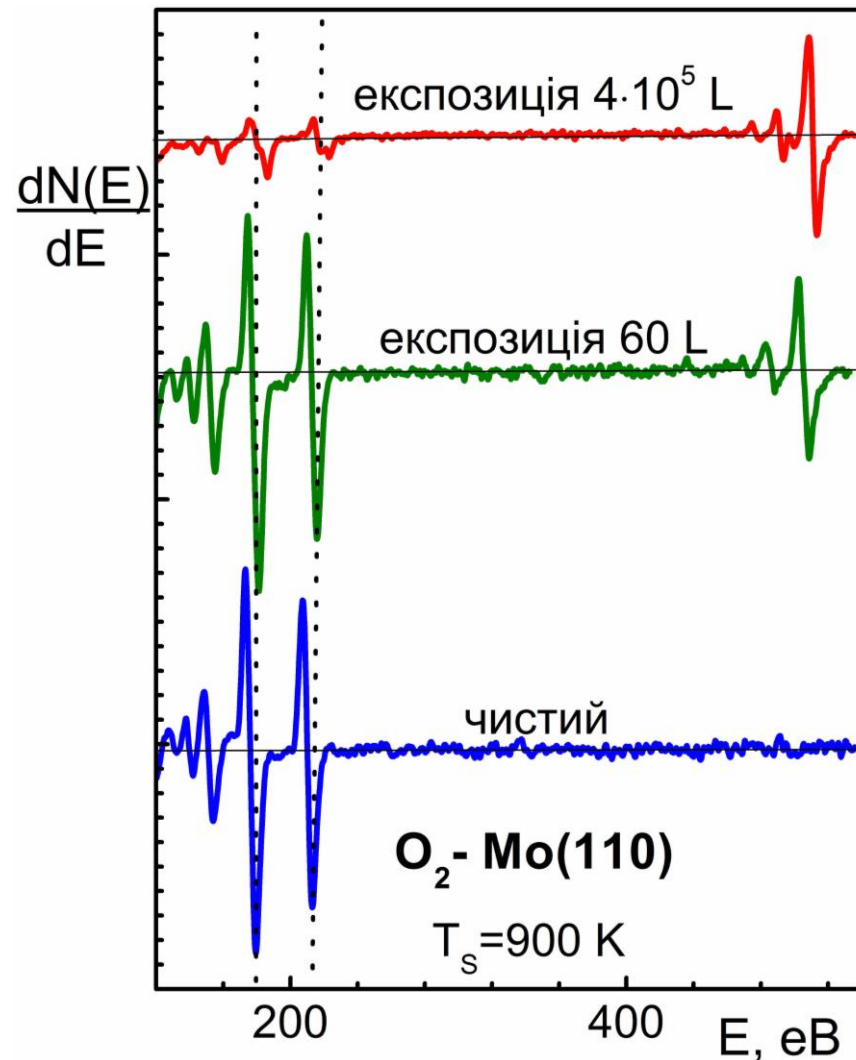
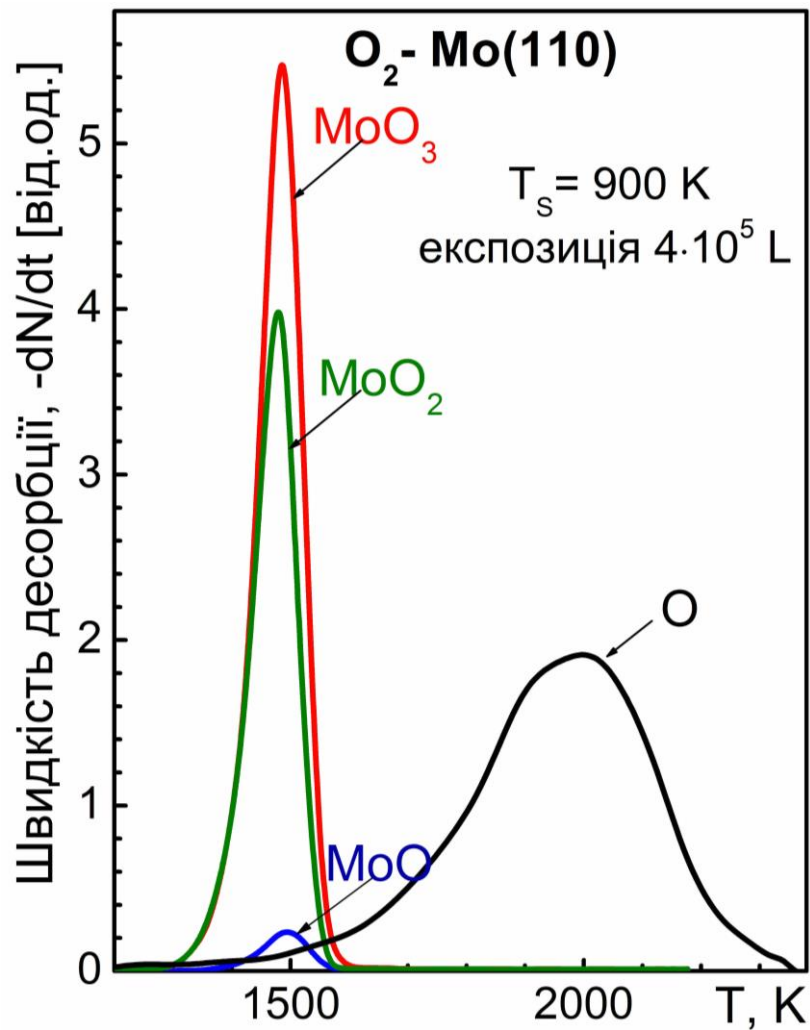


Комплекс досліджень адсистеми $\text{O}_2\text{-Be/Mo}$ з використанням ізотермічної десорбції (ID) & TPD & AES

a)

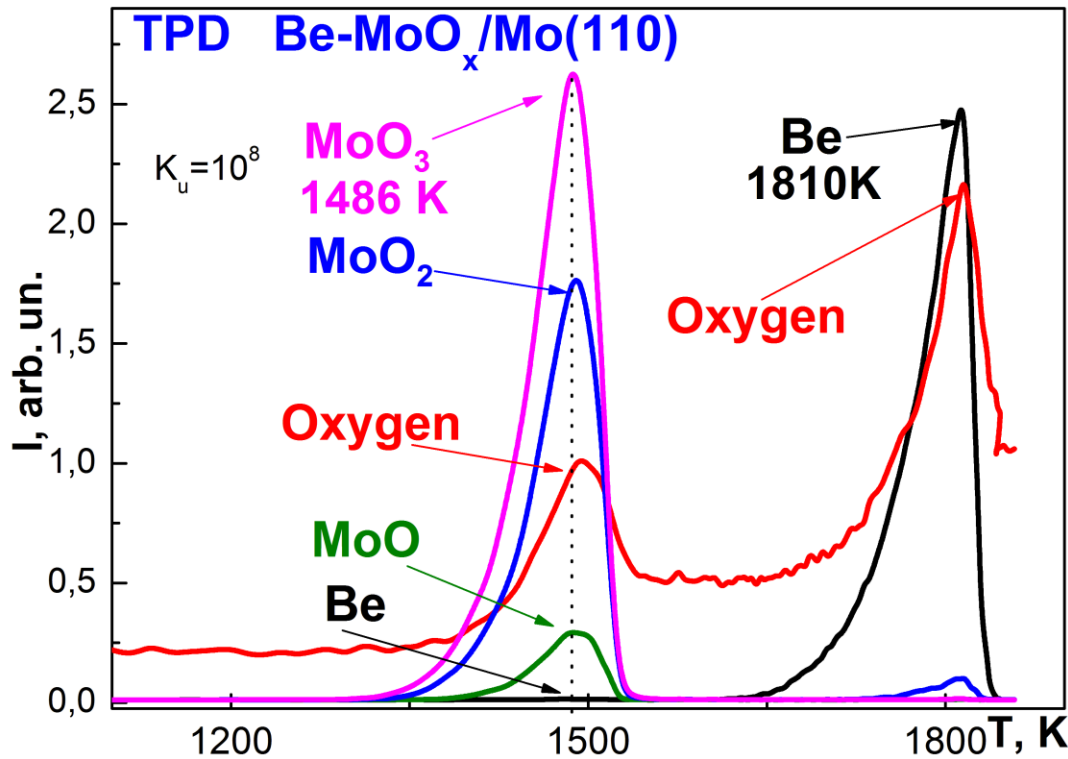


Спектри TPD та AES оксидів молібдену після адсорбції O_2 на чисту поверхню молібдену

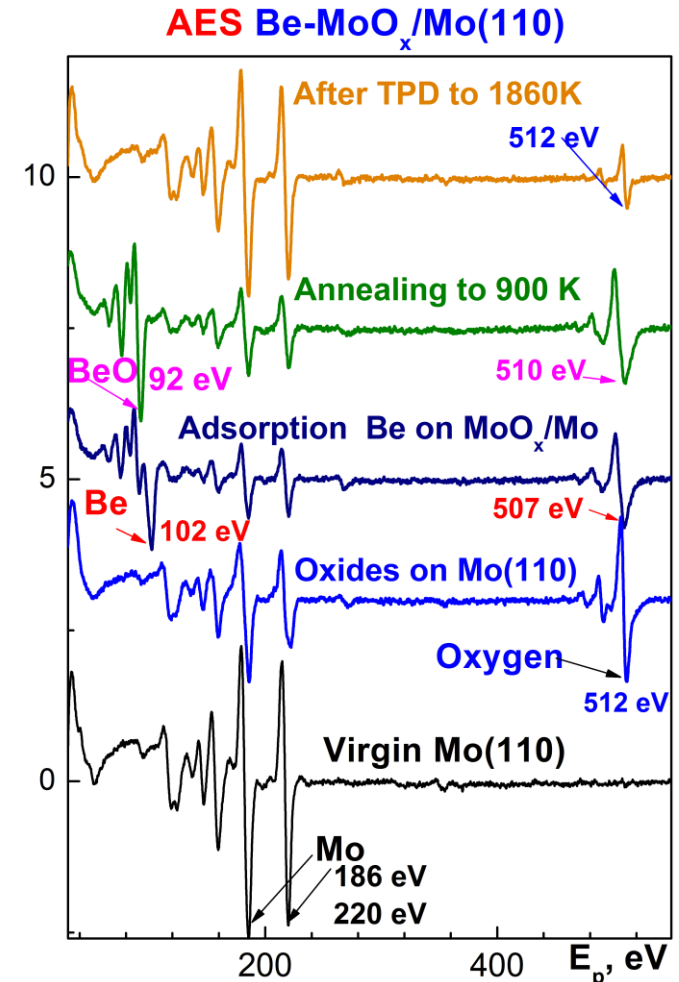


Оксиди молібдену утворюються на стадії адсорбції кисню і не є продуктом термічних перетворень при проведенні ТПД.

Спектри TPD та AES оксидів BeO та MoO_x з адсистеми Be-MoO_x/Mo(110)



Берилій окисляється на окисдованій
поверхні молібдену і дисоціює
на ній при $T_s > 1700$ K



Оксиди молібдену мають меншу енергію зв'язку з поверхнею молібдену ніж оксид BeO, оскільки атоми кисню утворюють сильний хімічний зв'язок з атомом молібдену і формують молекулу оксиду.

$$E_{36}(\text{MoO}_x) > E_{36}(\text{O-Mo}) > E_{36}(\text{BeO-Mo}) > E_{36}(\text{MoO}_x\text{-Mo}) > E_{36}(\text{Be-Mo})$$

ВИСНОВКИ

У роботі було експериментально вивчено формування наноплівки берилію на поверхні (110) молібдену та вплив адсорбції кисню на адсорбційну систему.

Зокрема було:

- Показано, що підкладка Mo(110) є зручною для вирощування ультратонких плівок оксиду берилію та дослідження адсорбційних і електронних явищ;
- Досліджено вплив адсорбції кисню на зміну поверхневого складу адсистеми Be/Mo(110);
- Визначено початковий коефіцієнт прилипання кисню $S_0 = 0,57$ та його залежність від кінетичної енергії;
- Виявлено участь зовнішнього передадсорбційного стану в механізмі адсорбції;
- Встановлено, що продуктами десорбції з адсистеми BeO/Mo(110) є атоми берилію та кисню (BeO – не виявлено);
- Показано, що оксидний шар BeO дисоціює на поверхні при $T_s > 1700$ K, і має більшу енергію зв'язку з поверхнею Mo(110) ніж металічна плівка берилію ($T_s \approx 1260$ K);
- З'ясовано вплив адсорбованого атомарного кисню на термостійкість наносистем BeO/Mo(110).

Наявність адсорбованого кисню на поверхні молібдену збільшує термостійкість шару берилію, оскільки атомарний кисень має сильний хімічний зв'язок з підкладкою молібдену $E_{ads} = 6,7$ eV.

**Результати роботи були представлені
на міжнародних конференціях і опубліковані :**

- 1.** *D.Yu. Balakin, L.Yu. Lopandya, D.V. Stryzhus*, Formation of BeO on molybdenum (110) surface // Proceedings of Ukrainian Conference with International participation "Chemistry, Physics and Technology of Surface" – Kyiv, (2018) p. 27.
- 2.** *D.Yu. Balakin, L.Yu. Lopandya, D.V. Stryzhus* // TPD-MS study of the desorption of beryllium from the BeO/Mo(110) // 16-th International conference on physics and technology of thin films and nanosystems (dedicated to memory Professor Dmytro Freik), (2017) p. 131.
- 3.** *D.Yu. Balakin, L.Yu. Lopandya, D.V. Stryzhus* // Adsorption of oxygen on Mo(110) surface covered with beryllium, (Подано до редакції *Appl. Surf. Sci.*, (2018)).

Експериментальна установка "Чорна камера"

