

## МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАВДАНЬ

### з дисципліни “Електронна та іонна спектроскопія твердих тіл та нанооб’єктів”

**За підсумками вивчення дисципліни “Електронна та іонна спектроскопія твердих тіл та нанооб’єктів” студент повинен знати відповіді на запитання:**

1. Основні кристалографічні позначення (індекси вузлів, напрямків, площин).
2. Кристалографія поверхні.
3. Методи вивчення поверхні твердого тіла (стисла характеристика).
4. Умови, що необхідні для дослідження поверхні. Методи отримання «чистих» поверхонь.
5. Дифракційні методи. ДУЕ.
6. ДЗШЕ
7. Метод зворотної ґратки.
8. Дифракція рентгеновських променей. Формулювання Бреґґа, Лауе.
9. Процеси, що відбуваються при взаємодії часток з поверхнею твердих тіл. Розподіл електронів за енергією  $N(E)$ .
10. РФЕС
11. УФЕС
12. Сутність ЕОС. Експериментальне обладнання для ЕОС.
13. На які характеристики Оже-піків впливає і на які не впливає енергія первинних електронів  $E_p$ ?
14. Чи для усіх хімічних елементів реєструються Оже-спектри? Чому?
15. В чому сутність метода спектроскопії характеристичних втрат енергії електронів (СХВЕ)?
16. Зобразити і пояснити енергетичний розподіл вторинних електронів  $N(E)$ , що породжуються первинними електронами з енергією  $E_p$ ?
17. Вкажіть загальне і різне в методах ДУЕ і ДЗШЕ.
18. Принцип роботи і будова АЗП в режимі дифракції.
19. Як відрізнити в енергетичному спектрі вторинних електронів Оже-піки від піків характеристичних втрат енергії?
20. Сутність Оже-переходів. Енергія Оже-електронів.
21. Принцип роботи і будова АЗП в режимі реєстрації спектрів характеристичних втрат енергії електронів.
22. Аналізатор «циліндричне дзеркало» Оже-спектрометра. Принцип роботи.
23. Принцип отримання НВВ в камерах Оже-спектрометра.
24. Поясніть, чому в Оже-спектроскопії використовують другу похідну загального току вторинних електронів по енергії?
25. Принцип роботи і будова АЗП в режимі реєстрації спектрів Оже-електронів.

26. Методи іонної спектроскопії. Загальна характеристика.
27. Сутність метода РУІ. Енергія розсіяних іонів. Експериментальне обладнання.
28. Метод РІШ.
29. Опишіть процеси, що відбуваються при взаємодії іонів з поверхнею твердих тіл.
30. Механізми обміну зарядом між іонами і поверхнею твердих тіл.
31. Метод ІНС. Енергія електронів, що виходять з поверхні.
32. Сутність метода ВІМС.
33. Опишіть експериментальне обладнання для ВІМС. Принцип роботи квадрупольного фільтра мас.
34. Будова, принцип роботи і призначення растрового електронного мікроскопа (РЕМ).
35. Похибки електронно-оптичних систем.
36. Природа топографічного контраста РЕМ в режимі вторинної електронної емісії.
37. Вакуумна система РЕМ. Привести вакуумну схему.
38. Тунельна мікроскопія. Принцип дії та будова тунельного мікроскопа.
39. Десорбційна спектроскопія. Термодесорбція.

**Студенти повинні вміти розв'язувати наступні типові задачі:**

1. Електрон, енергія якого відповідає різниці потенціалів  $U_0$ , попадає у вакуумі в поле циліндричного конденсатора (радіуси циліндрів  $R_1$  й  $R_2$ ). Напрямок швидкості електрона в початковий момент є перпендикулярним до площини, що проходить через вісь конденсатора. При якій напрузі між обкладками конденсатора електрон буде літати усередині конденсатора по колу?
2. Вузкий потік електронів у вакуумі пролітає крізь плоский конденсатор паралельно його пластинкам і змушує світитися флюоресцентний екран, що відстоїть від кінця конденсатора на відстані  $l=15$  см. При накладенні на конденсатор напруги  $U=50$  В світла пляма на екрані зміщається на  $s=21$  мм. Відстань між пластинками конденсатора  $d=18$  мм; довжина конденсатора  $b=6$  см. Визначити швидкість електрона.
3. Потік електронів, що одержали свою швидкість під дією напруги  $U=5000$  В, влітає в середину між пластинками плоского конденсатора. Яку найменшу напругу потрібно накласти на конденсатор, щоб електрони не вилітали з нього, якщо розміри конденсатора такі: довжина  $b=5$  см, відстань між пластинами  $d=1$  см.
4. Електрон, що рухається зі швидкістю  $v = 40\ 000$  км/год, влітає в простір між пластинами. Довжина пластин конденсатора  $b=6$  см, відстань між пластинами  $d=0,5$  см. На конденсатор накладена напруга

$U=40\text{В}$ . На скільки збільшиться швидкість електрона при виході його з конденсатора в порівнянні з початковою?

5. Траєкторія пучка електронів, що рухаються у вакуумі в магнітному полі  $B=7\cdot 10^{-3}$  Тл, - дуга окружності радіусом  $R=2$  см. Визначити швидкість і енергію електронів.
6. Електрон рухається в магнітному полі, індукція якого  $B=2$  мТл, по гвинтовій лінії радіусом  $R=2$  см і кроком  $h=5$  см. Визначити швидкість електрона.
7. Однорідне електричне ( $E=3$  В/см) і магнітне ( $B=1\cdot 10^{-4}$  Тл) поля направлені взаємно перпендикулярно. Які повинні бути напрямком і величина швидкості електрона, щоб його траєкторія була прямолінійною?
8. Які нормальне й тангенціальне прискорення електрона, що рухається в співпадаючим по напрямку електричному й магнітному полях? А) швидкість електронів спрямована уздовж полів. В) швидкість електрона спрямована перпендикулярно до них.
9. Електрон, пройшовши в плоскому конденсаторі шлях від однієї пластини до іншої, здобуває швидкість  $10^8$  см/с. Відстань між пластинами  $5,3$  мм. Знайти 1) різницю потенціалів між пластинами, 2) напруженість електричного поля усередині конденсатора, 3) поверхневу щільність заряду на пластинах.
10. Визначити, скільки атомів доводиться на один елементарний осередок у кристалах із простою, об'ємно-центрованою й гранецентрованою кубічною решіткою.
11. Гранецентрована кубічна решітка складається з атомів одного виду, має шість атомів у центрах граней і, крім того, вісім атомів у вершинах куба. Довести, що об'єм, займаний атомами осередку, становить  $\pi\sqrt{\frac{2}{6}}$  об'єму куба.
12. Визначити кути між наступними кристалографічними напрямками в кубічному кристалі: а)  $[001]$  і  $[111]$ ; б)  $[011]$  і  $[101]$ ; в)  $[101]$  і  $[111]$ .
13. У кубічній кристалічній решітці побудуйте площини з індексами Міллера  $(121)$  і  $(12\bar{1})$ .
14. У систему  $\{111\}$  кубічного кристала входять площини  $(111)$ ,  $(\bar{1}\bar{1}1)$ ,  $(\bar{1}1\bar{1})$ ,  $(1\bar{1}\bar{1})$ ,  $(11\bar{1})$ ,  $(\bar{1}11)$ ,  $(1\bar{1}1)$ , і  $(111)$ . Які із цих площин паралельні? Яку просторову фігуру утворять всі ці площини при взаємному перетинанні?

15. Визначити відстань між найближчими паралельними площинами {111} у кубічній кристалічній решітці з періодом  $a$  елементарним осередком.
16. Обчислити, скільки атомів розташовується на  $1 \text{ мм}^2$  площин (100) і (111) у кристалічній решітці кремнію, якщо міжатомна відстань  $L=0,2352 \text{ нм}$ .
17. Відомо, що алюміній кристалізується в решітці гранецентрованого куба з періодом ідентичності,  $a=0,4041 \text{ нм}$ . Обчисліть концентрацію вільних електронів, вважаючи, що на кожний атом кристалічної решітки доводяться три електрони.
18. Обчисліть період кристалічної решітки міді, якщо її щільність дорівнює  $8920 \text{ кг/м}^3$ , а елементарний осередок являє собою гранецентрований куб. Визначте об'єм, що доводиться на один атом.
19. Відстань між найближчими атомами в кристалічній решітці вольфраму дорівнює  $0,2737 \text{ нм}$ . Відомо, що вольфрам має структуру об'ємноцентрованого куба. Знайдіть густину матеріалу.
20. Визначте концентрацію вільних електронів у натрії, елементарний осередок якого являє собою об'ємноцентрований куб з ребром  $a=0,428 \text{ нм}$ .
21. У чому складаються розходження між монокристалами, полікристалічними й аморфними речовинами?
22. Визначте площину найбільшого впакування атомів і напрямок найбільшого впакування в гцк структурі.
23. Визначити енергію фотонів рентгенівського випромінювання, необхідну для дослідження міжплоскостної відстані в гцк із параметром решітки  $a = 4 \text{ \AA}$ , бреггівський кут  $\theta = 45^\circ$ ?

### Приклади розв'язування задач:

#### Розв'язування задачі №1

При русі електрона усередині конденсатора по окружності на нього діє доцентрова сила, що врівноважується кулонівською силою, тобто  $\frac{mv^2}{r} = eE$ .

Робота поля по переміщенню заряду дорівнює:  $A = \frac{mv^2}{2} = eU_0$ .

Звідси одержуємо  $E = \frac{2U_0}{r}$ .

Як відома напруга визначається по формулі:  $U = \int_{R_1}^{R_2} E dr$ , підставляючи знайдене значення для напруженості електричного поля остаточно

одержимо:  $U = 2U_0 \int_{R_1}^{R_2} \frac{dr}{r} = 2U_0 \ln \frac{R_2}{R_1}$ .

## Розв'язування задачі №16

Кремній кристалізується в ґратці типу алмазу, де міжатомна відстань дорівнює  $\frac{1}{4}$  від просторової діагоналі куба. Тому період ґратки

$$a = \frac{4L}{\sqrt{3}} = 4 \cdot 0.2352 \cdot 10^{-9} / \sqrt{3} = 5.43 \cdot 10^{-10} \text{ м.}$$

В площині (100) елементарної ґратки знаходяться 2 атоми кремнію (оскільки кожен кутовий атом одночасно належить до чотирьох сусідніх комірок):

$$n = 4 \cdot \frac{1}{4} + 1 = 2. \quad \text{Звідки поверхнева густина атомів дорівнює:}$$

$$N_s = \frac{n}{S} = \frac{n}{a^2} = \frac{2}{(5.43 \cdot 10^{-10})^2} = 6.78 \cdot 10^{12} \text{ мм}^{-2}.$$

## КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЗНАНЬ І ВМІНЬ СТУДЕНТІВ

Залік отримується студентом на заліковому тижні. Необхідною умовою отримання заліку є повне виконання навчального плану, тобто: позитивні оцінки за виконання контрольних робіт та передбаченої програмою самостійної роботи, вичерпна відповідь на контрольні питання викладача безпосередньо при складанні заліку, відпрацювання пропущених занять (лабораторії спеціалізації) на консультаціях.

Порядок перерахунку рейтингових показників нормованої 100-бальної університетської шкали оцінювання в традиційну 4-бальну шкалу та європейську шкалу ECTS.

Інтервальна шкала оцінок встановлює взаємозв'язки між рейтинговими показниками і шкалами оцінок.

ЗА ШКАЛОЮ ECTS	За шкалою університету	За національною шкалою	
		Екзамен	Залік
A	90 – 100 (відмінно)	5 (відмінно)	Зараховано
B	80 – 89 (дуже добре)	4 (добре)	
C	70 – 79 (добре)		
D	65 – 69 (задовільно)	3 (задовільно)	
E	60 – 64 (достатньо)		

FX	35 – 59 (незадовільно – з можливістю повторного складання)	2 (незадовільно)	Не зараховано
F	1 – 34 (незадовільно – з обов’язковим повторним курсом)		