

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЗАГАЛЬНОЇ ТА НЕОРГАНІЧНОЇ ХІМІЇ ім.В.І.ВЕРНАДСЬКОГО

ЗАТВЕРДЖЕНО

Вченою радою Інституту загальної та неорганічної хімії
ім. В.І. Вернадського НАН України

протокол № 9

від « 4 » жовтня 2024 року

Голова Вченої ради Інституту

 Сергій СОЛОПАН



РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ (СИЛАБУС)

Електрохімічне матеріалознавство

(назва навчальної дисципліни)

Рівень вищої освіти: **Третій (освітньо-науковий)**

Галузь знань: **10 Природничі науки**

Спеціальність: **102 Хімія**

Освітньо- наукова програма: **Неорганічна і координація хімія, фізична хімія, електрохімія**

Київ
2024

Робоча програма навчальної дисципліни «Електрохімічне матеріалознавство» -
Київ, 2024. – 20 с.

РОЗРОБНИКИ РОБОЧОЇ ПРОГРАМИ:

Пірський Юрій Кузьмич, провідний науковий співробітник
ІЗНХ ім. В.І. Вернадського НАН України, доктор хімічних наук,
старший науковий співробітник


(підпис)

Погоджено із гарантом ОНП



Анатолій ОМЕЛЬЧУК

Програму затверджено на засіданні Вченої ради
Інституту загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України
протокол № 9
від « 4 » жовтня 2024 року

Вчений секретар Інституту



Людмила ЛИСЮК

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Характеристика навчальної дисципліни
Загальна кількість:	Дисципліна вільного вибору аспіранта
кредитів – 6	- Електрохімічне матеріалознавство
годин – 180	Рік підготовки – 3 курс, 1 семестр
змістових модулів – 2	Лекції - 40 год.
	Практичні - 10 год.
	Лабораторні заняття не передбачені
	Консультації 10 год.
	Самостійна робота – 120 год.
	Форма підсумкового контролю: згідно з навчальним планом - іспит

2. Мета та завдання навчальної дисципліни «Електрохімічне матеріалознавство»

Мета та навчальної дисципліни:

- підготовка фахівців високої кваліфікації, що володіють науково обґрунтованими методами та принципами створення функціональних матеріалів із заданими властивостями для потреб енергетики та екології;
- поглиблення знань про фізичний зміст електрохімічних явищ та процесів, отриманих із курсів фізичної хімії та електрохімії, інших навчальних дисциплін;
- формування сучасного рівня знань в області електрохімії, що дозволяє ефективно використовувати їх для всебічного дослідження найрізноманітніших електрохімічних явищ та процесів і створення на їх основі нових технологічних процесів та матеріалів для сучасної науки та техніки

Завдання навчальної дисципліни:

Сформувати у аспірантів розуміння парадигми матеріалів – загально визнаного науковою спільнотою взаємозв'язку: обробка (синтез)→структура→властивості для поглибленого опанування фізичним змістом та природою електрохімічних явищ та процесів, вміння правильно підбирати інформативні методи їх кількісного та якісного дослідження, а також узагальнювати та інтерпретувати отримані результати.

Предмет дисципліни:

Предметом вивчення даної навчальної дисципліни є властивості сполук та матеріалів (електрохімічні, фізичні, хімічні, механічні тощо), особливо твердих тіл в залежності від умов синтезу, складу, структурних особливостей, дії зовнішніх факторів впливу, зокрема електричного поля.

Сучасне електрохімічне матеріалознавство включає в себе елементи хімії твердого тіла, фізичної хімії, електрохімії, фізики та хімії. З середини минулого сторіччя матеріалознавство здобуло собі визнання як окрема самостійна область науки, а провідні наукові центри світу почали створювати спеціальні наукові школи для її вивчення. Сучасне електрохімічне матеріалознавство – це свого роду науково обґрунтований набір правил, законів та принципів, який забезпечує створення функціональних матеріалів із заданими властивостями для найрізноманітніших галузей сучасної науки та техніки, зокрема таких, як енергетика та екологія.

Ця дисципліна є фундаментом та теоретичною базою підготовки фахівців з електрохімії різної спеціалізації. Вона сприяє формуванню в аспірантів широкого наукового кругозору, спрямована на розширення знань в області природничих наук.

Засвоєння курсу електрохімічного матеріалознавства повинно сприяти ознайомленню аспірантів з пріоритетними здобутками вчених в галузі сучасної науки та техніки.

Процес вивчення дисципліни спрямований на формування елементів наступних **компетентностей:**

В рамках даної дисципліни поглиблюються і розвиваються такі компетенції:

а) загальні компетенції:

ЗК1, ЗК2, ЗК4, ЗК5, ЗК6, ЗК7

б) спеціальні компетенції:

СК1, СК2, СК6, СК7, СК8, СК10, СК11, СК13

Програмні результати навчання (ПРН): ПРН 2, ПРН 4, ПРН 9, ПРН 14, ПРН 15, ПРН 16, ПРН 17, ПРН 19, ПРН 20, ПРН21, ПРН23, ПРН27, ПРН28.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми аспіранти після засвоєння даної навчальної дисципліни повинні **знати:**

- що таке матеріалознавство як наука та її виникнення, технологія матеріалів, хімія твердого тіла, роль вітчизняних та зарубіжних вчених у розвитку цієї науки;
- сучасні теоретичні уявлення про явища переносу заряду та маси у твердих електролітах та методи їх дослідження;
- основні типи розупорядкованості в твердих електролітах;
- фактори, що впливають на транспортні властивості твердих електролітів;
- гальванічні комірки з твердими електролітами;
- електрорушійні сили гальванічних ланцюгів з твердими електролітами;
- Red/Ox-процеси на межі розділу фаз електрод/твердий електроліт;
- поняття про кінетику електродних процесів в комірках з твердими електролітами;
- сучасні методи дослідження твердих електролітів;
- використання електрохімічних комірок з твердими електролітами,

а також **уміти:** використовувати набуті знання при вирішенні практичних задач сучасної електрохімії, а саме:

- планувати та вирішувати завдання власного професійного та особистого розвитку;
- самостійно здійснювати науково-дослідну діяльність в області електрохімічного матеріалознавства з використанням сучасних методів досліджень та інформаційно-комунікаційних технологій;
- виконувати критичний аналіз та оцінку сучасних наукових досягнень, генерувати нові ідеї при вирішенні дослідницьких та практичних задач в області електрохімії;
- приймати участь в роботі творчих колективів (у тому числі міжнародних) та/або вміти створювати такі колективи для вирішення актуальних проблем сучасної електрохімії.

Міждисциплінарні зв'язки: Навчальна дисципліна «Електрохімічне матеріалознавство» належить до циклу дисциплін професійної підготовки аспірантів.

Необхідною умовою засвоєння даної дисципліни є володіння загальноосвітніми курсами з філософії та методології науки, фізики, хімії твердого тіла, фізичної хімії, електрохімії, кристалографії, теорії хімічного зв'язку тощо, які вивчають у вищих навчальних закладах при підготовці спеціалістів та магістрів по спеціальності «Хімія».

Матеріал курсу слугує теоретичною основою для формування умінь і навичок, необхідних для ефективної дослідницької роботи, аналізу прикладних аспектів в галузі теоретичної та прикладної електрохімії із застосуванням фундаментальних знань для розв'язання практичних задач.

3. Зміст навчальної дисципліни "Електрохімічне матеріалознавство"

МОДУЛЬ 1. ЕЛЕКТРОХІМІЯ ТВЕРДИХ ЕЛЕКТРОЛІТІВ

Тема 1. Явища переносу в твердих електролітах. Тверді електроліти та їх класифікація. Дефекти в йонних кристалах та нестехіометрія. Тверді електроліти із власною та домішковою розупорядкованістю. Структурна розупорядкованість кристалів. Аморфні тверді електроліти. Відхилення від стехіометричного складу та вплив на електропровідність йонних сполук. Тверді розчини та їх класифікація. Йонний зв'язок у твердих тілах. Особливості термодинаміки твердих електролітів. Хімічні потенціали точкових дефектів. Закон діючих мас для квазіхімічних взаємодій між точковими дефектами. Хімічний потенціал йонів у дефектних кристалах, хімічний потенціал йонних сполук у твердих розчинах. Рівноважні концентрації дефектів. Фазові переходи зі структурним розупорядкуванням. Рухливість дефектів та йонна провідність. Основне рівняння переносу в твердих електролітах. Самодифузія та хімічна дифузія. Термоелектричні явища. Протікання струму через межу розділу фаз: твердий електроліт/електрод. Імпеданс межі розділу фаз. Фактори, що впливають на транспортні властивості твердих

електролітів (розміри йонів, концентрація домішок, поверхня зерен у полікрystalах). Електронна провідність.

Тема 2. Електрорушійні сили гальванічних ланцюгів з твердими електролітами. Поняття подвійного електричного шару у твердих електролітах. Подвійний електричний шар в твердих електролітах з об'ємною та домішковою розупорядкованістю. Електроди в гальванічних комірках з твердими електролітами. Електроди з електрохімічно активним компонентом у вільному та хімічно зв'язаному стані. Блокуючі електроди. Електроди порівняння. Електроди висотемпературних гальванічних комірок з окисними твердими електролітами. Електроди низькотемпературних хімічних джерел струму. Гальванічні комірки з твердими електролітами з йонною провідністю. Тверді електроліти зі змішаною провідністю. Електрорушійні сили хімічних ланцюгів з твердими електролітами з різною природою провідності (йонна, змішана). Електрорушійні сили комірок з неоднорідними електролітами. Паливні елементи з твердими протонпровідними електролітами. Паливні елементи з твердими кисеньпровідними електролітами.

Тема 3. Нерівноважні явища в комірках з твердими електролітами. Основні типи поляризації в комірках з твердими електролітами. Поняття перехідного опору. Електродні реакції на межі розділу фаз. Особливості поляризації кисневого електроду та типи дифузійних процесів (атомарний, молекулярний, субйонний кисень, електронні дірки). Поляризаційні явища у високотемпературних паливних комірках. Дифузія оксидів карбону, гідрогену, води, електронів. Кінетика електродних процесів в комірках з високотемпературними твердими електролітами. Електродні процеси в комірках з твердими електролітами в атмосфері кисню. Поляризація платинових електродів. Кінетика встановлення стаціонарного потенціалу. Поляризація пористих електродів. Електродні процеси (на катоді, на аноді) в атмосферах гідрогену та води, оксидів карбону. Вплив природи металу на поляризаційні процеси. Анодне окиснення металів. Кінетика електродних процесів у комірках з низькотемпературними твердими електролітами. Характеристика можливих процесів на електродах. Газові електроди.

Тема 4. Експериментальні методи досліджень твердих електролітів і електродних процесів. Огляд методів досліджень та можливостей їх використання при вивченні твердих тіл. Методи дослідження поляризаційних явищ. Способи вимірювання перенапруги процесів на електродах. Імпедансні вимірювання Метод прямокутного імпульсу. Дослідження дифузійних процесів. Метод Хебба-Вагнера. Оцінка електронної провідності твердих електролітів. Кінетичний режим протікання електричних струмів. Вимірювання електрорушійної сили комірок з твердими електролітами, аналіз можливих похибок при вимірюванні електрорушійної сили. Похибка, обумовлена проникністю електроліту. Визначення чисел переносу. Спектральні методи дослідження. Оптична мікроскопія, електронна мікроскопія. Метод ЯМР-спектроскопії. КР- та ІЧ-спектроскопія. Месбауерівська спектроскопія. Дифракційні методи дослідження твердого тіла. Розсіювання рентгенівського, електронного та нейтронного випромінювання. Термічний аналіз. Диференційний термогравіметричний аналіз. Диференційна скануюча калориметрія. Комп'ютерне моделювання. Загальні положення методу молекулярної динаміки. Метод Монте-Карло. Йонні потенціали.

Тема 5. Використання електрохімічних комірок з твердими електролітами. Матеріали для мікроелектроніки, тонкі плівки суперйонних провідників. Твердотільні електрохімічні функціональні матеріали. Інтегратори неперервної та дискретної дії. Хімічні джерела струму: первинні та вторинні джерела струму. Високотемпературні паливні елементи. Інші хімічні джерела струму. Сенсори, йон-селективні електроди. Термодинамічні дослідження з використанням твердих електролітів.

МОДУЛЬ 2. ЕЛЕКТРОХІМІЧНЕ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛІВ.

Тема 1. Матеріалознавство та технологія тугоплавких металів. Поняття про матеріалознавство, як науку, та її виникнення. Роль вітчизняних та зарубіжних вчених у розвитку цієї науки. Матеріалознавство тугоплавких металів та сполук. Загальні відомості про тугоплавкі сполуки. Тугоплавкі сполуки з металевим типом хімічного зв'язку (карбіди, нітриди, борида, силіциди

тугоплавких металів). Тугоплавкі метали та сплави на їх основі.. Основи технології виробництва тугоплавких металів. Тугоплавкі метали та їх роль у новій техніці. Основні металургійні процеси.

Тема 2. Основи електрохімічного отримання тугоплавких металів із розплавів. Особливості електрохімії розплавлених електролітів. Електрохімічне отримання тугоплавких металів за класичною схемою. Відновлення галогенідних сполук тугоплавких металів із розплавлених електролітів. Пряме електрохімічне відновлення оксидів тугоплавких металів. FFC Cambrige Process. Загальна характеристика процесу. Виробництво титану методом FFC Cambrige Process.

Тема 3. Електрохімічне отримання сплавів тугоплавких металів. Сумісне відновлення оксидів декількох металів методом FFC Cambrige Process. Механізм відновлення оксидів у розплавах на снові хлориду кальцію. Відновлення сумішей простих оксидів: $\text{TiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$, $\text{WO}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$, $\text{Nb}_2\text{O}_5\text{-NiO-TiO}_2$, $\text{Ta}_2\text{O}_5\text{-Nb}_2\text{O}_5$. Відновлення ільменіту та його суміші з діоксидом титану.

Тема 4. Електрохімія тугоплавких металів. Електродні потенціали тугоплавких металів. Електродні процеси при виділенні газів та з їх участю. Анодне окислення тугоплавких металів. Механізми електровиделення тугоплавких металів. Процеси під опроміненням і електрохемохромізм. Отримання тугоплавких металів. Гальванічні покриття. Гальванопластика. Електросинтез. Енергоакумуючі та перетворюючі пристрої. Обробка та корозія металів.

4. Теми лекційних занять

№, з/п	Назва теми	Кількість годин
	Модуль 1 Електрохімія твердих електролітів	
1	Явища переносу в твердих електролітах. Тверді електроліти та їх класифікація. Дефекти в йонних кристалах та нестехіометрія. Тверді електроліти із власною та домішковою розупорядкованістю. Структурна розупорядкованість кристалів. Аморфні тверді електроліти.. Тверді розчини та їх класифікація. Йонний зв'язок у твердих тілах. Особливості термодинаміки твердих електролітів. Хімічні потенціали точкових дефектів. Закон діючих мас для квазіхімічних взаємодій між точковими дефектами.	2

2	Явища переносу в твердих електролітах. Основне рівняння переносу в твердих електролітах. Самодифузія та хімічна дифузія. Термоелектричні явища. Протікання струму через межу розділу фаз: твердий електроліт/електрод. Імпеданс межі розділу фаз. Фактори, що впливають на транспортні властивості твердих електролітів (розміри йонів, концентрація домішок, поверхня зерен у полікристалах). Електронна провідність	2
3	Електрорушійні сили гальванічних ланцюгів з твердими електролітами. Поняття подвійного електричного шару у твердих електролітах. Подвійний електричний шар в твердих електролітах з об'ємною та домішковою розупорядкованістю. Електроди в гальванічних комірках з твердими електролітами. Електроди з електрохімічно активним компонентом у вільному та хімічно зв'язаному стані. Блокуючі електроди. Електроди порівняння.	2
4	Електрорушійні сили гальванічних ланцюгів з твердими електролітами. Гальванічні комірки з твердими електролітами. Тверді електроліти зі змішаною провідністю. Електрорушійні сили хімічних ланцюгів з твердими електролітами з різною природою провідності (йонна, змішана).	2
5	Нерівноважні явища в комірках з твердими електролітами. Основні типи поляризації в комірках з твердими електролітами. Поняття перехідного опору. Електродні реакції на межі розділу фаз. Поляризаційні явища у високотемпературних паливних комірках. Дифузія оксидів карбону, гідрогену, води, електронів..	2
6	Нерівноважні явища в комірках з твердими електролітами. Кінетика електродних процесів в комірках з високотемпературними твердими електролітами. твердими електролітами в атмосфері Кінетика встановлення стаціонарного потенціалу. Поляризація пористих електродів. Вплив природи металу на поляризаційні процеси. Аодне окиснення металів. Кінетика електродних процесів у комірках з низькотемпературними твердими електролітами.. Газові електроди	2
7	Експериментальні методи досліджень твердих електролітів і електродних процесів. Огляд методів досліджень та можливостей їх використання при вивченні твердих тіл. Методи дослідження поляризаційних явищ. Способи вимірювання перенапруги процесів на електродах. Імпедансні вимірювання Метод прямокутного імпульсу. Дослідження дифузійних процесів. Метод Хебба-Вагнера.	2

	Оцінка електронної провідності твердих електролітів. Кінетичний режим протікання електричних струмів. Вимірювання електрорушійної сили комірок з твердими електролітами, аналіз можливих похибок при вимірюванні електрорушійної сили. Похибка, обумовлена проникністю електроліту. Визначення чисел переносу.	
8	Експериментальні методи досліджень твердих електролітів і електродних процесів. Спектральні методи дослідження. Оптична мікроскопія, електронна мікроскопія. Метод ЯМР-спектроскопії. КР- та ІЧ-спектроскопія. Месбауерівська спектроскопія.	2
9	Експериментальні методи досліджень твердих електролітів і електродних процесів. Дифракційні методи дослідження твердого тіла. Розсіювання рентгенівського, електронного та нейтронного випромінювання. Термічний аналіз. Диференційний термогравіметричний аналіз. Диференційна скануюча калориметрія. Комп'ютерне моделювання. Загальні положення методу молекулярної динаміки. Метод Монте-Карло. Йонні потенціали.	2
10	Використання електрохімічних комірок з твердими електролітами. Матеріали для мікрояоніки, тонкі плівки суперйонних провідників. Твердотільні електрохімічні функціональні матеріали. Інтегратори неперервної та дискретної дії.	2
11	Використання електрохімічних комірок з твердими електролітами. Хімічні джерела струму: первинні та вторинні джерела струму. Високотемпературні паливні елементи. Інші хімічні джерела струму. Сенсори, йон-селективні електроди. Термодинамічні дослідження з використанням твердих електролітів.	2
	Модуль 2. Електрохімічне матеріалознавство тугоплавких металів	
1	Електродні потенціали тугоплавких металів. Стан окислення. Деякі особливості хімічної поведінки. Електродні потенціали у водних розчинах. Електродні потенціали в розплавах.	2
2	Електродні процеси при виділенні газів та з їх участю. Перенапруга водню. Іонізація водню. Електрохімічне відновлення молекулярного азоту	2
3	Анодне окислення металів. Твердофазний поліповерхневий механізм окислення в водних розчинах. Експериментальні результати.	2
4	Механізми електровиделення металів. Поліповерхнева модель соосаження тугоплавких металів з металами тріади	2

	заліза. Механізм електровиделення тугоплавких металів з водних розчинів при надвисокої щільності струму. Механізм отримання оксидів, сполук типу бронз і металів з розплавів.	
5	Процеси під опроміненням і електрохемохромізм. Фотоелектрохімічні процеси на сполуках тугоплавких металів. Електрохемохромні процеси.	2
6	Отримання металів. Гальванічні покриття. Гальванопластика. Електровиделення тугоплавких металів з водних і неводних розчинів. Електроосадження сплавів з водних і неводних розчинів. Електроліз розплавів. Отримання і рафінування. Гальваностегія і гальванопластика.	2
7	Електросинтез. Синтез у водних розчинах. Фіксація азоту. Синтез у розплавах.	2
8	Енергоакумулюючі та перетворюючі пристрої. Джерела струму. Електрохемохромні індикатори. Перетворювачі променевої енергії.	2
9	Обробка та корозія металів. Електрохімічна обробка і суміжні операції. Нанесення гальванічних покриттів на тугоплавкі метали. Корозійна стійкість. Інгібування.	2

5. Теми семінарських занять

Семінарські заняття не передбачені.

6. Теми практичних занять

№, з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Гальванічні комірки з твердими електролітами. Тверді електроліти зі змішаною провідністю.	2
2	Електрорушійні сили хімічних ланцюгів з твердими електролітами з різною природою провідності (йонна, змішана).	2
3	Хімічні джерела струму: первинні та вторинні джерела струму. Високотемпературні паливні елементи.	2
4	Експериментальні методи досліджень твердих електролітів і електродних процесів.	2
5	Електродні потенціали у водних розчинах. Електродні потенціали в розплавах. Деякі особливості хімічної поведінки.	2

7. Теми лабораторних занять

Лабораторні заняття не передбачені.

8. Самостійна робота

№, з/п	Назва теми	Кількість годин
1.	Явища переносу в твердих електролітах. Електрорушійні сили гальванічних ланцюгів з твердими електролітами	15
2.	Нерівноважні явища в комітках з твердими електролітами	15
3.	Експериментальні методи досліджень твердих електролітів і електродних процесів	15
4.	Використання електрохімічних комірок з твердими електролітами	15
5.	Матеріалознавство та технологія тугоплавких металів	15
6.	Основи електрохімічного отримання тугоплавких металів із розплавів	15
7.	Електрохімічне отримання сплавів тугоплавких металів	15
8.	Електрохімія тугоплавких металів	15

9. Форми контролю і методи оцінювання

(у т.ч. критерії оцінювання результатів навчання)

Поточний контроль здійснюється під час проведення практичних занять і має на меті перевірку засвоєння аспірантами навчального матеріалу. Формами поточного контролю є:

- а) тестові завдання з вибором однієї правильної відповіді, з визначенням правильної послідовності дій, з визначенням відповідності, з визначенням певної ділянки на фотографії чи схемі («розпізнавання»);
- б) індивідуальне усне опитування, співбесіда;
- в) розв'язання типових ситуаційних задач;
- д) контроль практичних навичок;

Комплексне оцінювання навчальної діяльності здійснюється виставлення традиційної оцінки, яка конвертується у бали відповідно у кожному з занять, аспірант отримує на практичному занятті: оцінку «відмінно» - якщо він виконав правильно не менше 90% навчальних завдань; оцінку «добре» - якщо він виконав правильно не менше 80% навчальних завдань; оцінку «задовільно» - якщо він виконав правильно не менше 60% навчальних завдань; оцінку «незадовільно» - якщо він виконав правильно менше 60% навчальних завдань; На кінцевому етапі

заняття викладач виставляє набрану суму балів і традиційну оцінку в журналі успішності.

Самостійна робота аспіранта оцінюється на практичних заняттях і є складовою підсумкової оцінки аспіранта.

Підсумковий контроль. Загальна система оцінювання проводиться по завершенню вивчення дисципліни у вигляді заліку. Шкали оцінювання національна та ECTS.

10. Питання для підсумкового контролю дисципліни вільного вибору

“Електрохімічне матеріалознавство”

1. Тверді електроліти та їх класифікація. Дефекти в йонних кристалах та нестехіометрія. Тверді електроліти із власною та домішковою розупорядкованістю. Структурна розупорядкованість кристалів. Аморфні тверді електроліти.
2. Кінетика електродних процесів в комірках з високотемпературними твердими електролітами. твердими електролітами в атмосфері Кінетика встановлення стаціонарного потенціалу. Поляризація пористих електродів. Анодне окиснення металів.
3. Електродні процеси при виділенні газів на тугоплавких металах. Перенапруга водню. Іонізація водню. Електрохімічне відновлення молекулярного азоту.
4. Електрорушійні сили гальванічних ланцюгів з твердими електролітами Поняття подвійного електричного шару у твердих електролітах. Подвійний електричний шар в твердих електролітах з об'ємною та домішковою розупорядкованістю.
5. Експериментальні методи досліджень твердих електролітів і електродних процесів. Огляд методів досліджень та можливостей їх використання при вивченні твердих тіл. Методи дослідження поляризаційних явищ. Способи вимірювання перенапруги процесів на електродах. Імпедансні вимірювання Метод прямокутного імпульсу. Дослідження дифузійних процесів.
6. Електродні потенціали тугоплавких металів. Стан окиснення. Деякі особливості хімічної поведінки. Електродні потенціали у водних розчинах. Електродні потенціали в розплавах.
7. Тверді розчини та їх класифікація. Йоний зв'язок у твердих тілах. Особливості термодинаміки твердих електролітів. Хімічні потенціали точкових дефектів. Закон діючих мас для квазіхімічних взаємодій між точковими дефектами.
8. Високотемпературні паливні елементи. Інші хімічні джерела струму. Сенсори, йон-селективні електроди. Термодинамічні дослідження з використанням твердих електролітів.

9. Анодне окислення металів. Твердофазний поліповерхневий механізм окислення в водних розчинах. Експериментальні результати.
10. Основне рівняння переносу в твердих електролітах. Самодифузія та хімічна дифузія. Термоелектричні явища. Протікання струму через межу розділу фаз: твердий електроліт/електрод. Імпеданс межі розділу фаз.
11. Нерівноважні явища в комітках з твердими електролітами ч.2. Кінетика електродних процесів у комітках з низькотемпературними твердими електролітами.. Газові електроди
12. Механізми електровиделення металів. Поліповерхнева модель соосаження тугоплавких металів з металами тріади заліза. Механізм електровиделення тугоплавких металів з водних розчинів при надвисокої щільності струму. Механізм отримання оксидів, сполук типу бронз і металів з розплавів.
13. Фактори, що впливають на транспортні властивості твердих електролітів (розміри йонів, концентрація домішок, поверхня зерен у полікристалах). Електронна провідність.
14. Використання електрохімічних комірок з твердими електролітами. Хімічні джерела струму: первинні та вторинні джерела струму.
15. Процеси під опроміненням і електрохемохромізм. Фотоелектрохімічні процеси на сполуках тугоплавких металів. Електрохемохромні процеси.
16. Електрорушійні сили гальванічних ланцюгів з твердими електролітами. Електроди в гальванічних комітках з твердими електролітами. Електроди з електрохімічно активним компонентом у вільному та хімічно зв'язаному стані. Блокуючі електроди. Електроди порівняння.
17. Оцінка електронної провідності твердих електролітів. Кінетичний режим протікання електричних струмів. Вимірювання електрорушійної сили комірок з твердими електролітами, аналіз можливих похибок при вимірюванні електрорушійної сили. Похибка, обумовлена проникністю електроліту. Визначення чисел переносу.
18. Отримання металів. Гальванічні покриття. Електровиделення тугоплавких металів з водних і неводних розчинів. Електроосадження сплавів з водних і неводних розчинів.
19. Електрорушійні сили гальванічних ланцюгів з твердими електролітами. Гальванічні комірки з твердими електролітами. Тверді електроліти зі змішаною провідністю.
20. Використання електрохімічних комірок з твердими електролітами. Матеріали для мікроелектроніки, тонкі плівки суперйонних провідників.
21. Електросинтез. Синтез у водних розчинах. Фіксація азоту. Синтез у розплавах.
22. Електрорушійні сили хімічних ланцюгів з твердими електролітами з різною природою провідності (йонна, змішана).

23. Твердотільні електрохімічні функціональні матеріали. Інтегратори неперервної та дискретної дії.
24. Енергоакумуючі та перетворюючі пристрої. Джерела струму. Електрохемохромні індикатори. Перетворювачі променевої енергії.
25. Нерівноважні явища в комірках з твердими електролітами Основні типи поляризації в комірках з твердими електролітами. Поняття перехідного опору. Електродні реакції на межі розділу фаз.
26. Дифракційні методи дослідження твердого тіла. Розсіювання рентгенівського, електронного та нейтронного випромінювання. Термічний аналіз. Диференційний термогравіметричний аналіз. Диференційна скануюча калориметрія. Комп'ютерне моделювання. Загальні положення методу молекулярної динаміки. Метод Монте-Карло. Йонні потенціали
27. Отримання тугоплавких металів. Гальванічні покриття з тугоплавких металів.. Електроліз розплавів. Отримання і рафінування. Гальваностегія і гальванопластика.
28. Поляризаційні явища у високотемпературних паливних комірках. Дифузія оксидів карбону, гідрогену, води, електронів.
29. Спектральні методи дослідження. Оптична мікроскопія, електронна мікроскопія. Метод ЯМР-спектроскопії. КР- та ІЧ-спектроскопія. Месбауерівська спектроскопія. Дифракційні методи дослідження твердого тіла. Розсіювання рентгенівського, електронного та нейтронного випромінювання.
30. Обробка та корозія металів. Електрохімічна обробка і суміжні операції. Нанесення гальванічних покриттів на тугоплавкі метали. Корозійна стійкість. Інгібування.

11. Розподіл балів

Форма для іспиту

Поточний та періодичний контроль		Підсумковий контроль (іспит)	Сума балів
Змістовий модуль №1	Змістовий модуль №2		
40	20	40	100

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для іспиту	для заліку
90-100	A	відмінно	зараховано
82-89	B	добре	
74-81	C		

64-73	D	задовільно	
60-63	E		
35-59	Fx	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
0-34	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

12. Рекомендована література

Основна:

1. Атаманюк В.В. Технологія конструкційних матеріалів. – Київ: Кондор, 2006.- 528 с.
2. Гумен В.С. Матеріалознавство: Конспект лекцій з дисципліни "Основи матеріалознавства" для студентів хіміко-технологічного факультету спеціальності 25.08. Ч. 1. — К.: КПІ, 1991. — 212 с.
3. Хільчевський В.В., Кондратюк С.Є., Степаненко В.О., Лопатько К.Г. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів. – Київ: «Либідь», 2002.-326 с.
4. Васько А.Т., Ковач С.К. Электрохимия тугоплавких металлов. – Київ: Техника, 1983. — 160 с.
5. Матеріалознавство та технологія матеріалів. Конспект лекцій /Уклад. Т.М. Курська, Г.О. Чернобай, С.Б. Єрьоменко. – Х.: УЦЗУ, 2008. – 136 с.
6. Матеріалознавство: Конспект лекцій./ Уклад. Горячева Т.В., Бабенко М.О. – Красноармійськ: КП Дон НТУ, 2011. – 91 с.
7. П. Лобода, В. Федорчук, Г. Кисла, М.О. Сисоев Матеріалознавство тугоплавких металів та сполук. Навчальний посібник – Київ: Центр навчальної літератури, 2019. – 320 с.
8. Бірюкович Л. О. Кристалохімія тугоплавких сполук : навч. посіб. / Л. О. Бірюкович. – К. : НТУУ «КПІ», 2016. – 112 с. – Бібліогр.: с. 111-112.
9. Lasia A. Electrochemical Impedance Spectroscopy and its Applications. – New York: Science+Business Media Springer, 2014Springer – 369с. ISBN 978-1-4614-8932-0 ISBN 978-1-4614-8933-7. – DOI 10.1007/978-1-4614-8933-7
10. Rongeat C., Reddy M. A., Witter R., Fichtner M. Nanostructured Fluorite-Type Fluorides As Electrolytes for Fluoride Ion Batteries // J. Phys. Chem. C – 2013. – V.117. – 4943–4950/

Додаткова

1. Laging V.J.W. Fundamental Aspects of a New Process for the Production of Pure Zirconium – Netherlands, October 2010 – 147 P.
2. Rema Abdulaziz Electrochemical Reduction of Metal Oxides in Molten Salts for Nuclear Reprocessing - Thesis submitted to University College London In fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy – 2016 -193 P.
3. Mohandas K.S., Fray D.J. FFC Cambridge process and removal of oxygen from metal-oxygen system by molten salt electrolysis // Trans. Inst. Met. – 2004. – V.57, #6(December) – P.579–592.
4. Chen Zh. G., Fray D.J., Farthing T.W. Direct electrochemical reduction of titanium dioxide to titanium in molten calcium chloride// Nature. – 2000. – V.407. – PP.361-364.
5. Abdelkader A.M., Kilby K.T., Cox A., Fray D.J. DC Voltammetry of Electrodeoxidation of Solid Oxides// Chem. Rev. – 2013. - V.113. – PP.2863–2886. [dx.doi.org/10.1021/cr200305x](https://doi.org/10.1021/cr200305x)
6. Chen Zh. G., Fray D.J., Farthing T.W. Direct electrochemical reduction of titanium dioxide to titanium in molten calcium chloride// Nature. – 2000. – V.407. – PP.361-364
7. Electrolysis of Titanium Oxide to Titanium in Molten Cryolite Salt Bennett Chek Kin Yan Master of Applied Science Graduate Department of Materials Science and Engineering University of Toronto, 2016
8. Oosthuizen S. J. In search of low cost titanium: the Fray Farthing Chen (FFC) cambridge process //The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy – 2011. – 111, №3. – P. 199-202.
9. Плотников В.О., Кириченко О.І. Електролітичне виділення цирконію з розтоплених солей//Записки Інституту хімії АН УРСР- 1939. – Т.6.,№1. – С.3-17.
10. Kroll W.J. Verformbares Titan und Zirkon // Z. Anorg. Chem. – 1937. – B.234. – S. 42–50.
11. Adamson R.B. Zirconium production and technology: the Kroll Medal papers 1975–2010. – Michigan: ASTM International; 2010.
12. Laging V.J.W. Fundamental Aspects of a New Process for the Production of Pure Zirconium – Netherlands, October 2010 – 147 P
13. Pint P., Flengas S.N.. Production of Zirconium Metal by Fused-Salt Electrolysis //Transactions, Institution of Mining and Metallurgy, London. Section C, 1978, v. 87, p.29–49.
14. Mohandas K.S., Fray D.J. Electrochemical Deoxidation of Solid Zirconium Dioxide in Molten Calcium Chloride // Metallurgical and Materials Transactions B. – 2009. – V.40B, #10(October) – P.685–699.
15. Abdelkader A.M., Daher A., Abdelkareem R. A., El-Kashi E. Preparation of Zirconium Metal by the Electrochemical Reduction of Zirconium Oxide// Metallurgical and Materials Transactions B. – 2007. – V.38B, #2 (February). – P.35–44.
16. Gritsai L. V., Omel'chuk A.A Electrochemical Reduction of Zirconia in Melts Based on Mixture of Calcium Chloride and Calcium Oxide // ECS Trans. – 2016. –

V.75, №15 – P.391-396. <https://doi.org/10.1149/07515.0391ecst> – Published 23 September 2016

17. Грицай Л.В., Омельчук А.О. Отримання цирконію електрохімічним відновленням його діоксиду в оксидно-хлоридних розплавах. // Український хімічний журнал – 2016. – Т.82, №4. – С.107-110. <https://ucj.org.ua/index.php/journal/issue/view/83/1-2015>
18. Rema Abdulaziz Electrochemical Reduction of Metal Oxides in Molten Salts for Nuclear Reprocessing - Thesis submitted to University College London In fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy – 2016 -193 P.
19. Rema Abdulaziz, Leon D. Brown, Douglas Inman, Stefaan Simons, Paul R. Shearing, Daniel J.L. Brett Novel fluidised cathode approach for the electrochemical reduction of tungsten oxide in molten LiCl–KCl eutectic// Electrochemistry Communications 41 (2014) 44–46
20. Erdog M., Karakaya I. Electrochemical Reduction of Tungsten Compounds to Produce Tungsten Powder// The Minerals, Metals & Materials Society and ASM International 2010. – V.41B. – pp.798-804.
21. Малышев В. В., Ускова Н. Н., Габ А. И., Шахнин Д. Б., Кущевская Н. Ф. Электроосаждение вольфрама из ионных расплавов: различные типы структур катодных осадков//Адгезия расплавов и пайка материалов - 2016. - Вып. 49. С.70-82.
22. Masahiko Baba, Youhei Ono, Ryosuke O. Suzuki Tantalum and niobium powder preparation from their oxides by calciothermic reduction in the molten CaCl_2 //Journal of Physics and Chemistry of Solids 66 (2005) 466–470
23. K. Dring, R. Bhagat, M. Jackson, R. Dashwood, D. Inman Direct electrochemical production of Ti–10W alloys from mixed oxide preform precursors//Journal of Alloys and Compounds 419 (2006) 103–109
24. Ryunosuke Enmei, Tatsuya Kikuchi, Ryosuke Suzuki Production of Nb-Ti-Ni alloy in molten CaCl_2 // Electrochimica Acta 100(2013)257-260.
25. Mrutyunjay Panigrahi, Etsuro Shibata, Atsushi Iizuka, Takashi Nakamura Production of Fe–Ti alloy from mixed ilmenite and titanium dioxide by direct electrochemical reduction in molten calcium chloride// Electrochimica Acta 93 (2013) 143– 151.
26. Mrutyunjay Panigrahi, Atsushi Iizuka, Etsuro Shibata, Takashi Nakamura Electrolytic reduction of mixed (Fe, Ti) oxide using molten calcium chloride electrolyte// Journal of Alloys and Compounds 550(2013)545-552/

Інформаційні ресурси

1. Омельчук А.О., Грицай Л.В., Стезярянський Е.А., Босенко О.В. Вплив складу розплавленої електролітної суміші на електрохімічне відновлення діоксиду цирконію // Укр. хім. журн. – 2018. – Т. 84, № 12. – С.61-69. <https://ucj.org.ua/index.php/journal/article/view/5/2>
2. Омельчук А.О., Грицай Л.В. Електрохімічне відновлення діоксиду цирконію в хлоридно-оксидних розплавах // Доповіді НАН України. – 2019. – № 1. – С. 63-71. http://nbuv.gov.ua/UJRN/dnanu_2019_1_11

3. Mohandas K.S. Direct electrochemical conversion of metal oxides to metal by molten salt electrolysis: An overview: *Fray International Symposium: Metals and Materials Processing in a Clean Environment*. Vol. 3: *Molten Salts & Ionic Liquids* 2011. Edited by Florian Kongoli, FLOGEN. P.195-217. doi: <https://doi.org/10.13140/2.1.2610.4969>
4. H. Ortner [International Journal Of Refractory Metals AND Hard Materials](http://www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws_home/405934/description#description) - [www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws_home/405934/description](http://www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws_home/405934/description#description) # description (АНГЛ.) . Elsevier.
5. Michael Bauccio Refractory metals / / [ASM metals reference book](http://books.google.com/?id=9ohkDUryVZ0C&pg=PA120) - [books.google.com /? id = 9ohkDUryVZ0C & pg = PA120](http://books.google.com/?id=9ohkDUryVZ0C&pg=PA120) / American Society for Metals - ASM International, 1993. - C. 120-122. - ISBN 19939780871704788.