



Матеріали відновної енергетики

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	132 Матеріалознавство
Освітня програма	Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	Очна(денна)
Рік підготовки, семестр	4 курс, весняний семестр
Обсяг дисципліни	4 кредити/120 год: лекцій – 28 год, лабораторні заняття - 18 год; СРС – 74 год
Семестровий контроль/ контрольні заходи	залік / МКР
Розклад занять	http://rozklad.kpi.ua
Мова викладання	Українська
Інформація щодо керівника курсу / викладачів	Лектор: д.ф.-м.н.професор Васильєв О.Д., oleksa.vasylyev@gmail.com Лабораторні: д.ф.-м.н. професор Васильєв О.Д., oleksa.vasylyev@gmail.com
Розміщення курсу	https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&ir_own https://www.youtube.com/watch?v=ryjDfBc0Gs0

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Вивчаючи дисципліну, студенти покращують і узагальнюють власні знання з різних дисциплін та набувають відповідні навички.

Метою навчальної дисципліни є:

- Формувати у студентів здатності:
 - Розуміти чим є керамічні паливні комірки (КПК) і виготовляти їх.
 - Вибирати матеріали для складових КПК – її електроліту, аноду, катоду, з'єднувачів тощо.
 - Використовувати матеріалознавчі підходи щодо вибору способів створення таких складних композитів, якими є КПК, і забезпечувати їм необхідні властивості.
 - Розраховувати ефективність роботи КПК при використанні різних видів палива.
- розвивати у студентів загальні компетентності, які полягають у:
 - Здатності самостійно вчитися та оволодівати сучасними знаннями;
 - Здатності до абстрактного мислення, аналізу та синтезу знань;
 - Здатності застосовувати набуті знання на практиці.

а також розвиток фахових компетентностей, які полягають у:

- Здатність застосовувати знання і розуміння наукових фактів, концепцій, теорій, принципів і методів, необхідних для підтримки діяльності в сфері матеріалознавства;
- Здатність застосовувати відповідні кількісні математичні, фізичні і технічні методи і комп'ютерне програмне забезпечення для вирішення інженерних матеріалознавчих завдань;

- Здатність забезпечувати якість матеріалів та виробів;
- Здатність застосовувати сучасні методи математичного та фізичного моделювання, дослідження структури, фізичних, механічних, функціональних та технологічних властивостей матеріалів для вирішення матеріалознавчих потреб;
- Здатність застосовувати навички роботи із випробувальним устаткуванням для вирішення матеріалознавчих завдань;
- Здатність виконувати дослідницькі роботи в галузі матеріалознавства, обробляти та аналізувати результати дослідів.

Предметом навчальної дисципліни “Матеріали відновної енергетики” є керамічні паливні комірки, які здійснюють альтернативний традиційному спосіб виробництва електричної і теплової енергії з хімічної енергії палива та кисню безпосередньо.

Результатами навчання після засвоєння навчальної дисципліни є сформовані у студента такі знання і уміння уміння:

- Володіти логікою та методологію наукового пізнання;
- Знати та вміти використовувати знання фундаментальних наук, які лежать в основі відповідної спеціалізації матеріалознавства, на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми;
- Володіти засобами сучасних інформаційних і комунікаційних технологій та професійної діяльності;
- Дотримуватися вимог галузевих нормативних документів;
- Вміти досліджувати явища та аналізувати дані досліджень;
- Вміти поєднувати теорію і практику для розв'язування завдань матеріалознавства;
- Розуміти будову матеріалів та обирати оптимальні способи зміни їхніх властивостей. Кваліфіковано вибирати матеріали для виробів різного призначення;
- Використовувати у професійній діяльності практичні методи дослідження структурних, фізико-механічних, електрофізичних, магнітних, оптичних і технологічних властивостей матеріалів;
- Обирати і застосовувати придатні типові методи досліджень (аналітичні, розрахункові, моделювання, дослідні); правильно інтерпретувати результати таких досліджень та робити висновки;
- Знати основні групи матеріалів та бути здатним обґрунтовано здійснювати їхній вибір для конкретного використання;
- Знати сучасні методи вдосконалення властивостей матеріалів залежно від умов їхнього використання.

По завершенні навчання студент має мати досвід виготовлення керамічних комірок, вимірювання їхніх властивостей та тривалого використання.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце у структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Дисципліна викладається у восьмому семестрі підготовки за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти.

Дисципліни, знання з яких необхідні для вивчення навчальної дисципліни “Матеріали відновної енергетики”:

- фізика;
- хімія;
- фізична хімія;
- кристалографія, кристалохімія та мінералогія;
- металознавство;
- фізика конденсованого стану матеріалів;

- матеріалознавство тугоплавких матеріалів.

Знання, які студент отримує під час вивчення дисципліни «Матеріали відновної енергетики» формують інтегральну компетентність першого (бакалаврського) рівня вищої освіти і є необхідними у виконанні дипломної роботи (проєкту).

3. Зміст навчальної дисципліни

Змістовий модуль (розділ) 1. Відновна енергетика

Тема 1.1. Енергія Сонця, вітру, води та біопалив

Тема 1.2. Виробництво корисних видів енергії, електрики та тепла

Змістовий модуль (розділ) 2. Паливні комірки

Тема 2.1. Паливно-комірчане явище. Історія винаходу та розвитку паливних комірок

Тема 2.2. Принцип роботи паливної комірки. Типи паливних комірок, їхні переваги та недоліки

Тема 2.3. Керамічна паливна комірка (КПК), її будова

Тема 2.4. Паливні комірки як основна технологія відновної енергетики

Змістовий модуль (розділ) 3. Теоретичні засади паливно-комірчаної енергетики

Тема 3.1. Взаємодія речовин. Паливно-комірчаний ефект.

Тема 3.2. Перетворення хімічної енергії палива в електричну.

Тема 3.3. Розрахунок ефективності КПК.

Змістовий модуль (розділ) 4. Електроліт керамічної паливної комірки

Тема 4.1. Явище йонної провідності. Рідкі і тверді (керамічні) електроліти.

Тема 4.2. Властивості керамічних електролітів.

Тема 4.3. Природа електричної провідності керамічного електроліту. Складові провідності.

Тема 4.4. Вимірювання провідності. Імпедансна спектроскопія.

Тема 4.5. Двоокис цирконію, його стабільність.

Тема 4.6. Виготовлення і властивості цирконієво-керамічного електроліту.

Тема 4.7. Тенденції подальшого вдосконалення електроліту КПК.

Змістовий модуль (розділ) 5. Анод керамічної паливної комірки

Тема 5.1. Анодний електрод (анод) КПК, його завдання та вимоги до нього.

Тема 5.2. Взаємодія палива з киснем. Проблеми, які є при використанні різних типів палива.

Тема 5.3. Будова аноду. Межі між складовими аноду. Реакційна зона аноду.

Тема 5.4. Анод Ni-ZrO₂.

Тема 5.5. Виготовлення Ni-ZrO₂ аноду, його способи та властивості.

Тема 5.6. Забезпечення необхідної будови аноду Ni-ZrO₂. Відновлення нікелю. Зміна будови NiO-ZrO₂ композиту при відновленні нікелю. Вплив відновлення аноду на його властивості.

Тема 5.7. Забезпечення каталітичних, електричних і механічних властивостей аноду.

Багатошаровий анод. Шляхи підвищення ефективності роботи КПК через оптимізацію будови її аноду.

Тема 5.8. Вимірювання електрохімічних властивостей аноду.

Змістовий модуль (розділ) 6. Катод керамічної паливної комірки

Тема 6.1. Катодний електрод (катод) КПК, його завдання та вимоги до нього.

Тема 6.2. Відновлення кисню.

Тема 6.3. $La - Sr - Me(LSM)$ оксидні композити – основа катодних матеріалів КПК. Будова катоду, перовскітна структура.

Тема 6.4. Виготовлення LSM катодів. Властивості LSM катодів.

Тема 6.5. Вплив прилеглого середовища на властивості катоду. Механічна і хімічна сумісність LSM катоду і ZrO_2 електроліту.

Тема 6.6. Шляхи підвищення ефективності роботи КПК через оптимізацію будови її катоду.

Змістовий модуль (розділ) 7. З'єднувачі (інтерконект) керамічної паливної комірки

Тема 7.1. З'єднувачі (інтерконект) та контакти, керамічні і металеві.

Тема 7.2. Вплив середовища (гази, температура) на поведінку складових комірок та провідників електричного струму.

Змістовий модуль (розділ) 8. Плівкові керамічні паливні комірки

Тема 8. Плівкові керамічні паливні комірки

Змістовий модуль (розділ) 9. Вимірювання властивостей керамічних паливних комірок

Тема 9. Вимірювання властивостей керамічних паливних комірок

Змістовий модуль (розділ) 10. Структурна оптимізація керамічних паливних комірок

Тема 10.1. Структурна оптимізація керамічних паливних комірок.

Тема 10.2. Тривимірне конструювання (3d-printing) матеріалів та керамічних паливних комірок.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література:

1. Керамічні паливні комірки : лекції НАТО Інституту Передових Студій «Керамічні паливні комірки», Київ, КПІ, квітень, 2012.
2. Фундаментальні аспекти відновлювано-водневої енергетики і паливно-комірчанних технологій / за загальною редакцією Ю. М. Солоніна ; Національна академія наук України. – Київ : КІМ, 2018. – 259 с.
3. Відновлювана та воднева енергетика - 2018 : матеріали науково-практичної конференції, 18 травня 2018 року // Національна академія наук України ; Інститут відновлюваної енергетики НАН України ; Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України ; Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України ; Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського" ; Мала академія наук України ; Енергетична асоціація "Українська волнева рада"; відповідальний за випуск С. О. Кудря, С. В. Ключ. – Київ : Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2018. – 364 с.

Додаткова література:

1. Hand book of Fuel Cells: Fundamentals, Technology and Application, Eds.: W. Vielstich et al. Fuel Cell Technology and Applications, Wiley and Sons, Chichester, England, 2003, Vol. 4, p. 987.
2. Haile S. M. Fuel Cell Materials and Components. S. M. Haile, Acta Materialia, 2003, 51, p. 5981– 6000.
3. Wincewicz K. C. Taxonomies of SOFC Material and Manufacturing Alternatives. K. C. Wincewicz, J. S. Cooper. J. Power Sources, 2005, N140, p. 280–296.
4. Molenda J. Functional Materials for the IT-SOFC. J. Molenda, K. Swierczek, W. Zajac. J. Power Sources, 2007, N173, p. 657–670.

5. Gorte R. J. SOFC Anodes for the Direct Electrochemical Oxidation of Hydrocarbons. R. J. Gorte, J. M. Vohs. J. Catalysis, 2003, N216, p. 477–486.
6. Recent Progress in the Development of Anode Materials for Solid Oxide Fuel Cells. P. Cowin, C. Petit, R. Lan, J. Irvine, S. Tao. Adv. Energy Mater, 2011, N1, p. 314–332.
7. Fuel Cell Handbook (Seventh Edition) 2004, EG&G Technical Services, Inc. U. S. Department of Energy, Office of Fossil Energy, National Energy Technology Laboratory // <http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/834188>.
8. Ceramic Fuel Cells, NATO Advanced Study Institute "Ceramic Fuel Cells", Lectures, Kyiv, April, 2012.
9. Singhal S. C. High-Temperature Solid Oxide Fuel Cells: Fundamentals, Design and Applications / S. C. Singhal, K. Kendall. Elsevier : Oxford, UK, 2003, 406 p., ISBN 10: 1-85617-387-9, ISBN 13: 978-1-85617-387-2.
10. Advanced Anodes for High-Temperature Fuel Cells. A. Atkinson, S. Barnett, R.J. Gorte et al. Nature, 2004, 3, p. 17–27.

Навчальний зміст

5. Метод опанування навчальною дисципліною (освітньою складовою)

Лекція 1. Відновна енергетика та КПК

Енергія Сонця, вітру та біопалив. Паливні комірки як технологія високоефективної відновної енергетики. Паливно-комірчане явище. Історія винаходу та розвитку паливних комірок.

Принцип роботи паливних комірок та їхні типи. Переваги та недоліки різних типів паливних комірок. Керамічна паливна комірка (КПК), її складові і будова

Література: [1-3, 5,12]

Лекція 2. Теоретичні засади роботи КПК

Хімічні реакції. Паливно-комірчаний ефект. Теоретичні основи перетворення хімічної енергії палива в електричну. Розрахунки ефективності КПК та витрат палива і кисню (повітря) в них.

Література: [12]

Лекція 3, 4, 5. Електроліт КПК

Явище йонної провідності. Рідкі і тверді електроліти. Вимоги до матеріалу електроліту КПК. Відомі матеріали керамічного електроліту і принципи їхнього відбору. Електрична провідність керамічного електроліту і її складові. Вимірювання провідності електроліту. Перспективні електроліти. Методи виготовлення електроліту. Структурна оптимізація КПК. Шляхи підвищення ефективності роботи КПК через оптимізацію будови електроліту.

Література: [1,2,12]

Лекція 6. Модульна контрольна робота

Лекція 7, 8. Анод КПК

Вимоги до аноду. Анод як основа всієї КПК. Структура аноду. Реакційна зона аноду (межа трьох фаз). Принцип вибору матеріалів аноду. Використання різних типів палива. Окиснення палива. Проблеми, які виникають при прямому використанні вуглеводневого палива. Умови використання вуглеводнів. Основні тенденції подальшого розвитку анодів. Альтернативні матеріали аноду. Методи виготовлення аноду. Вимірювання властивостей аноду.

Анод Ni-ZrO₂. Забезпечення необхідної структури аноду Ni-ZrO₂. Зміна структури аноду при відновленні нікелю. Відновлення нікелю. Вплив відновлення аноду на його властивості.

Забезпечення каталітичних, електричних і механічних властивостей аноду. Багатошаровий анод. Шляхи підвищення ефективності роботи КПК через оптимізацію структури аноду.

Література: [3,4,10-12]

Лекція 9. Катод КПК

Вимоги до катоду. Відновлення кисню. Передумови каталітичних властивостей катоду до реакції відновлення кисню. Принцип вибору матеріалів для виготовлення катоду. Катоди LSM, LSC, LSF і LSCF. Забезпечення певних властивостей катоду його складовими. Структура катоду. Забезпечення необхідної структури катоду. Перовскітна структура. Принципи створення складних оксидів лантану з перовскітною структурою для катоду. Механічна і хімічна сумісність катоду і електроліту. Методи виготовлення катоду. Шляхи підвищення ефективності роботи КПК через оптимізацію структури катоду.

Література: [1-3,12]

Лекція 10. З'єднувачі комірок

З'єднувачі (інтерконект) та контакти, керамічні та металеві. Вплив середовища на високотемпературну поведінку утримувачів комірок та провідників електричного струму. Матеріали з високою питомою жорсткістю і міцністю.

Література: [1,2,8,12]

Лекція 11. Вимірювання властивостей матеріалів і паливних комірок

Механічна поведінка складових паливної комірки та усієї КПК. Електрична провідність матеріалів. Імпедансна спектроскопія. Структурний аналіз провідності складових КПК. Принцип методу і його використання.

Література: [3,12]

Лекція 12. Плівкові керамічні паливні комірки

Стрічкове лиття комірок з порошків. Осадження комірок з парової фази речовин, утвореної за допомогою електронного променя.

Література: Vasylyev O, Brychevskiy M, Brodnikovskiy I, Firstov S, Andrzejczuk M, Szychalski M. et al. Nucleation and Growth Mechanisms of Zirconia Film Deposited on Porous Nickel Oxide – Zirconia Substrate by Electron Beam – Physical Vapor Deposition. *Advances in Ceramic Science and Engineering*. 2014; 3: 25-35.

Лекція 13, 14. Структурна оптимізація керамічних паливних комірок

Принципи та їхнє здійснення. Тривимірне створення комірок.

Література: Vasylyev O, Brychevskiy M, Brodnikovskiy Ye.

The Structural Optimization of Ceramic Fuel Cells. *Universal Journal of Chemistry*. 2016; 4: 31–54.

Лекція 14. Залік

Основні завдання циклу лабораторних занять:

- набути навички щодо виготовлення зразків КПК кераміки, використовуючи різні режими виготовлення (тиск пресування і температуру спікання);
- набути навички щодо вимірювання і оцінювання поруватості, міцності при двовісному згині, усадки за різних температур спікання зразків;
- набути знання щодо аналізу отриманих даних щодо виявлення необхідного режиму виготовлення для забезпечення необхідних властивостей;
- набути знання щодо підбору матеріалів для створення композитів (на прикладі складових КПК);
- набути навички щодо визначення методів виготовлення керамічних композитів в залежності від вхідних матеріалів і методів їхнього виготовлення;
- навчитися розраховувати теоретичну ефективність перетворення хімічної енергії палива в електричну;

- навчитися розраховувати витрати палива і кисню (повітря) в КПК при генерації електричної енергії з різних видів палива;

- навчитися вибирати методи виготовлення і будувати технологічні схеми виготовлення КПК в залежності від наявних матеріалів.

Зміст лабораторних занять

№ з/п	Назва лабораторної роботи	Кількість ауд. годин
	Вступ. Організація очного/дистанційного навчання. РСО	2
1	Підготовка анодної шихти: суміші порошків NiO і 8YSZ.	4
2	Виготовлення NiO – ZrO ₂ зразків анодів із застосуванням однобічного холодного пресування і подальшого спікання.	4
3	Вимірювання відкритої поруватості зразків гідростатичним зважуванням та їхніх геометричних розмірів.	2
4	Визначення міцності при двовісному згині його зразків. Розрахунок напруження руйнування матеріалу з діаграм випробування його зразків.	2
5	Відновлення нікелевої складової у зразках NiO – ZrO ₂ композитів. Визначення перколяційного порогу вмісту NiO у зразках за якогів них з'являється електрична провідність.	4

6. Самостійна робота студента/аспіранта

Самостійна робота здобувачів (загальна тривалість 74 години) з дисципліни полягає в:

- самостійному опрацюванні літературних джерел для розширення розуміння лекційних тем, для детального ознайомлення з сучасними тенденціями аналізу механічної поведінки матеріалів – в розрахунку 1,1 години на 1 годину лекційного заняття = 30 годин;
- підготовці до виконання лабораторних занять – в розрахунку 2 години на 1 годину виконання лабораторного заняття = 32 години;
- підготовці до МКР (6 годин);
- підготовці до семестрового контролю – заліку (6 годин).

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітньої складової)

Система вимог, які ставляться перед здобувачем:

- Відвідування усіх видів занять є бажаним.
- Завдання пропущеного лабораторного заняття здобувач має виконати у час, узгоджений з викладачем.
- Під час усіх видів аудиторних занять забороняється використання мобільних телефонів у звуковому режимі, дозволяється обмежене використання месенджерів у беззвучному режимі. Під час лабораторних занять дозволяється застосування персональних комп'ютерів для пошуку інформації, використання власних хмарних ресурсів тощо.
- Заохочувальні бали можуть бути призначені за особливі успіхи у навчанні – переважно використання опрацьованих методів дослідження для розв'язання реальних задач за

тематикою власних наукових досліджень. Сумарна кількість заохочувальних балів може складати від 1 до 10 балів.

- Політикою дедлайнів передбачається необхідність своєчасного виконання завдань. Усі письмові документи мають бути захищені до закінчення теоретичного навчання у семестрі.
- Усі учасники освітнього процесу: викладачі і здобувачі у процесі вивчення дисципліни мають керуватись принципами академічної доброчесності, передбаченими «Кодексом честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» <https://kpi.ua/code>.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Поточний контроль:

- Експрес-опитування на лекційних заняттях – максимум 3 бали, всього 27 балів.
- Тестування на лабораторних заняттях – максимум 5 балів, всього 40 балів.
- Модульна контрольна робота. Максимальна оцінка 33 бали.
- Календарний контроль: провадиться двічі на семестр (1-й – максимум 32 бали, 2-й – максимум 24 бали) як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.
- Семестровий контроль: залік.

Умови допуску до семестрового контролю: семестровий рейтинг не менше 60 балів за умови виконання усіх лабораторних робіт.

У випадку незгоди з семестровим рейтингом, здобувач має право здавати залікову контрольну роботу, проте при цьому його рейтинг анулюється.

Залікова контрольна робота проводиться у вигляді усного опитування і завдання включає 1 теоретичне питання зі списку Додатку А, на підготовку якого виділяється 1 академічна година. Відповідь на питання оцінюється за 100-бальною шкалою, відповідно:

- «відмінно», повна відповідь, не менше 90% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь», (повне, безпомилкове розв'язування завдання);
- «добре», достатньо повна відповідь, не менше 75% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь» або є незначні неточності (повне розв'язування завдання з незначними неточностями);
- «задовільно», неповна відповідь, не менше 60% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до «стереотипного» рівня та деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками);
- «незадовільно», відповідь не відповідає умовам до «задовільно».

Оцінка за відповідь знижується – за принципові помилки у відповіді на 15-10 балів, за неповну відповідь на 10-5 балів, за неправильне використання термінів на 5 балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- Результати навчання за даною дисципліною здобуті у неформальній/інформальній освіті, зокрема із використанням відкритих навчальних он-лайн курсів (Prometeus, Coursera тощо), визнаються за умови одержання відповідних сертифікатів. При цьому

може бути перезарахований як освітній компонент повністю, так і його окремі складові (змістовні модулі, окремі теми, окремі практичні заняття). Можливість перезарахування (відповідність змісту дисципліни) та обсяг навчальних годин визначається викладачем для кожного конкретного випадку і здійснюється за процедурою, яка відповідає "Положенню про визнання в КПІ ім. Ігоря Сікорського результатів навчання, набутих у неформальній/інформальній освіті".

- *Перелік питань, які виносяться на МКР і семестровий контроль, знаходяться відповідно у Додатках А і Б.*
- *Лабораторні роботи плануються з максимальним використанням обладнання лабораторій ЦККНО «Матеріалознавство тугоплавких сполук та композитів» при НН ІМЗ ім. Є. О. Патона, яке застосовується у виготовленні та дослідженні широкого спектру порошкових, композиційних матеріалів та покриттів.*

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено д.ф.-м.н.професором Васильєвим О. Д.

Ухвалено кафедрою ВТМ та ПМ (протокол № 9 від 14 лютого 2025 р.)

Погоджено Методичною комісією НН ІМЗ ім. Є. О. Патона (протокол № 6/25 від 19 лютого 2025 р.)

Перелік питань модульної контрольної роботи

1. *Паливно-комірчане явище. Паливна комірка і принцип її дії. Ефективність перетворення хімічної енергії в електричну.*
2. *Намалюйте принципову схему керамічної паливної комірки. Операційна схема паливної комірки. Реакції, які відбуваються на катоді, аноді та загальне рівняння хімічної реакції в паливній комірці.*
3. *Перерахуйте типи паливних комірок. Для кожного типу вкажіть: носій заряду; електроліт; робочу температуру; паливо; типове застосування; переваги; недоліки.*
4. *Вимоги до матеріалу електроліту КПК та типові матеріали електролітів.*
5. *Стабілізація кубічної модифікації та створення кисневих вакансій у діоксиді цирконію ZrO_2 : як це працює та як вибрати стабілізатор? Вплив стабілізуючої добавки на провідність ZrO_2 електроліту.*
6. *Завдання аноду. Які процеси відбуваються в аноді? Вимоги до матеріалу аноду КПК. Наведіть приклади типових матеріалів аноду КПК.*
7. *Межа трьох фаз (МТФ) в електроді комірки: Що обумовлює окиснення палива на МТФ? Опишіть завдання каталізатора, йонного і електронного провідника та пор.*
8. *Завдання катоду. Які процеси відбуваються в катоді? Вимоги до матеріалу катоду КПК. Наведіть приклади типових матеріалів катоду КПК.*
9. *Матеріали для катоду КПК. Перовскітні катоди.*

Перелік питань на залік

Варіант 1

1. *Енергія Сонця та Вітру. Наведіть переваги та недоліки користування цими джерелами енергії.*
2. *Паливно-комірчане явище. Паливна комірка і принцип її дії. Ефективність перетворення хімічної енергії в електричну.*

Варіант 2

1. *Перерахуйте джерела для отримання електричної і теплової енергії, невідновлювані і відновлювані.*
2. *Намалюйте принципову схему керамічної паливної комірки. Операційна схема паливної комірки. Реакції, які відбуваються на катоді, аноді та загальне рівняння хімічної реакції в паливній комірці.*

Варіант 3

1. *Сформулюйте актуальність альтернативної енергетики.*
2. *Перерахуйте типи паливних комірок. Для кожного типу вкажіть: носій заряду; електроліт; робочу температуру; паливо; типове застосування; переваги; недоліки.*

Варіант 4

1. *Тепловий ефект реакції чи паливно-комірчане явище?*
2. *Вимоги до матеріалу електроліту КПК та типові матеріали електролітів.*

Варіант 5

1. *Назвіть проблеми, з якими стикнулася альтернативна енергетика на сучасному шляху її розвитку.*
2. *Стабілізація кубічної модифікації та створення кисневих вакансій у діоксиді цирконію ZrO_2 : як це працює та як вибрати стабілізатор? Вплив стабілізуючої добавки на провідність ZrO_2 електроліту.*

Варіант 6

1. *Перерахуйте типи та опишіть коротко принципи роботи вітроенергетичних установок (ВЕУ).*
2. *Завдання аноду. Які процеси відбуваються в аноді? Вимоги до матеріалу аноду КПК. Наведіть приклади типових матеріалів аноду КПК.*

Варіант 7

1. *Дайте визначення поняттям: генерація, рекомбінація, рівноважна і нерівноважна концентрація носіїв електричних зарядів. Які чинники можуть спровокувати появу надлишкових нерівноважних носіїв у напівпровіднику?*
2. *Методи і засоби вивчення будови / структури матеріалів паливних комірок.*

Варіант 8

1. *Наведіть характерні значення робочої швидкості вітру для малих ВЕУ і великих ВЕУ: v_p^{\min} , v_p^N і v_p^{\max} .*
2. *Завдання катоду. Які процеси відбуваються в катоді? Вимоги до матеріалу катоду КПК. Наведіть приклади типових матеріалів катоду КПК.*

Варіант 9

1. Опишіть шляхи підвищення потужності ВЕУ.
2. Матеріали для катоду КПК. Перовскітні катоди.

Варіант 10

1. Фотопровідність та її фізична природа. Прилади, робота яких основана на явищі фотопровідності.
2. Матеріалу для аноду: вимоги, типові матеріали. Матеріали для катоду: вимоги, типові матеріали. Можливість створення повністю керамічних складових для КПК. Чи можна створити анодний матеріал з перовскітною структурою?

Варіант 11

1. Фотодіод та принцип його роботи.
2. З'єднувач у паливній комірці. Його призначення. Вимоги до з'єднувача ПК.

Варіант 12

1. Світлодіод та принцип його роботи.
2. Керамічний з'єднувач: традиційні матеріали, їхні переваги і недоліки. Металевий з'єднувач: відомі матеріали, їхні переваги і недоліки сплавів. Критерії вибору матеріалів з'єднувача.

Варіант 13

1. Принцип роботи сонячної комірки.
2. Від чого захищають металеві з'єднувачі паливних комірок. Матеріали покриття.

Варіант 14

1. Схематично зобразіть р-пперехід. Намалюйте його енергетичну діаграму. Вкажіть на ній напрямки дифузійного струму, внутрішнього поля і зовнішнього опромінення.
2. Водень, його стан, видобування і зберігання. Вибір водню як енергоносія. Розвиток водневої енергетики і її перспективи. Переваги і недоліки водневої енергетики. Технології виробництва водню.

Варіант 15

1. Покращення ефективності сонячних комірок.
2. Дослідження електро-хімічних властивостей паливних комірок. Схема випробування керамічних паливних комірок (КПК). Вплив робочої температури і концентрації паливного і окиснювального газів (O_2 та H_2) на напругу.

Варіант 16

1. Рух вільних електронів і дірок: дайте визначення поняттям хаотичний тепловий, дрейфовий, дифузійний рух носіїв заряду.
2. Електрична провідність речовин і матеріалів електролітів. Імпедансна спектроскопія та її фізичні принципи.

Варіант 17

1. Фактори, які обумовлюють ефективність сонячної комірки.
2. Основи електричного моделювання будови (структури) композиту. Базові еквівалентні електричні схеми. Приклади використання ІС.

Варіант 18

1. Напишіть та поясніть формулу для розрахунку корисної потужності ВЕУ.
2. Межа трьох фаз (МТФ) в електроді комірки: Що обумовлює окиснення палива на МТФ? Опишіть завдання каталізатора, йонного і електронного провідника та пор.