



# Нові склоподібні матеріали і методи їх синтезу

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>16 Хімічна інженерія та біоінженерія</i>
Спеціальність	<i>161 Хімічні технології та інженерія</i>
Освітня програма	<i>Для всіх освітніх програм спеціальності 161 Хімічні технології та інженерія</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>Змішана</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>8,0 кредитів</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен письмовий</i>
Розклад занять	<i>Лекція 3 години на 2 тижні (1 пара), лабораторний практикум 2 години на тиждень (2 пари по першим тижням), за розкладом на rozklad.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектори: -к.т.н., доцент Племянніков Микола Миколайович, plemja46@gmail.com Лабораторний практикум: -к.т.н., доцент Племянніков Микола Миколайович, plemja46@gmail.com -к.т.н.,ст. викл. Жданюк Наталія Василівна zhdanyukn.kpi@gmail.com</i>
Розміщення курсу	<i>Google Classroom (Google G Suite for Education, домен LLL.kpi.ua, платформа Sikorsky-distance); доступ за запрошенням викладача</i>

### Програма навчальної дисципліни

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

Склоподібні матеріали – це неорганічні матеріали, які поєднують в собі склоподібну (аморфну) і кристалічну фазу. Варто розрізняти, так звані, функціональні і конструктивні матеріали. Функціональні матеріали протягом останніх десятиліть є предметом активного вивчення. Виявилися їх величезні потенційні можливості, що базуються на її унікальних діелектричних, феро-, пьезо- і піроелектричних, магніторезистивних, іонних, електронних, надпровідних, електрооптичних, газочутливих властивостях.

Проводяться також інтенсивні дослідження конструкційних матеріалів. Термічна, хімічна і механічна стабільність багатьох оксидних і не оксидних систем відкриває нові можливості конструювання мікроструктури і контролю над дефектами. Очікується

досягнення унікальних характеристик міцності таких матеріалів в поєднанні з високою надійністю.

Крім того, поєднання термічних, ізоляційних і механічних властивостей робить перспективним використання таких матеріалів в мікроелектроніці і силових напівпровідникових пристроях. Вони відіграють вирішальну роль в перетворенні енергії, моніторингу навколишнього середовища, інформаційних технологіях, авіаційній і космічній техніці, енергетиці, транспортних системах, медицині і багатьох виробничих технологіях. Є підстави припускати, що відмінності між функціональними та конструкційними матеріалами будуть стиратися при подальшій розробці "розумних" матеріалів, нано- та біокераміки.

Дослідження в цій області в найближчому майбутньому будуть спрямовані на: розробку наукових основ технологічних процесів отримання і обробки матеріалів і виробів, їх мініатюризацію; створення нових матеріалів з високими характеристиками, яке базується на управлінні структурою на атомному рівні і використанні недорогих, екологічно чистих методів синтезу. Очікується, що нові матеріали з незвичними властивостями знайдуть широке застосування в електроніці, фотоніці, лазерній і записуючій техніці, дисплеях, інфрачервоних детекторах і т. п.

Створення нових композиційних матеріалів відкриває перспективу підвищення функціональності і надійності матеріалів. Такі "розумні" комбінації кераміки зі склом можуть мати властивості, які значно перевищують такі у існуючих нині матеріалів, і значно розширити використання таких композитів як для конструкційних, так і для функціональних застосувань; розробку нанотехнологій і мініатюризацію, розширення досліджень на мезо- і нанорівнях, які матимуть надзвичайну важливість протягом найближчого десятиліття. Очікується, що зменшення розміру елементів мікроструктури кераміки і керамічних композитів дозволить відкрити цілий ряд досі невідомих явищ, які, в свою чергу, створять нові області застосування матеріалів (сенсори, біоматеріали і т. п.); розробку методів з'єднання кераміки з іншими матеріалами.

**Предмет дисципліни:** удосконалення технології сучасного матеріалознавства в області склоподібних матеріалів з метою одержання виробів з надзвичайними експлуатаційними властивостями

**Метою** дисципліни є формування у студентів здатностей:

- використовувати сучасні надбання світової науки про скло і кераміку для пошуку можливостей інноваційного удосконалення існуючих технологій;
- використовувати професійно профільовані знання в галузі неорганічної хімії, фізичної хімії, фізики, математики, теоретичних основ хімічної технології кераміки та скла, фізичної хімії тугоплавких неметалевих та силікатних матеріалів моделювання новітніх хіміко-технологічних процесів виробництва скла;
- використовувати інформаційні технології для рішення експериментальних і практичних завдань у хімічних технологіях та інженерії.

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі результати навчання:

**ЗНАННЯ:**

- основних технологічних рішень та питань, у виробництві скла і кераміки;
- технологічні схеми виробництва композиційних матеріалів різного хімічного складу та призначення;
- використання композиційних виробів у сучасній техніці;
- перспективи та наукові напрямки у виробництві склоподібних матеріалів;

- умови експлуатації керамічних та скляних виробів;
- властивості виробів;
- закономірності зміни властивостей під впливом різних факторів;
- методи одержання виробів із заданими властивостями;

**уміння:**

- обґрунтовувати основні технологічні рішення для конкретного виду виробів;
- аналізувати вплив на властивості виробів при зміні технологічних параметрів;
- розробляти технологічну схему виробництва виробів;
- визначати оптимальні умови та технологічні параметри виробництва;
- оцінювати властивості та якість виробів;
- аналізувати інформацію по основним напрямкам розвитку технологічних процесів.

**досвід:**

- планувати та організовувати технологічний процес одержання виробів;
- проектувати склад скла для реалізації заданих властивостей та моделювати процеси виробництва;
- використовувати сучасні досягнення науки і технології;
- користуватись сучасними методами контролю для визначення якості сировини, напівфабрикатів та готової продукції;
- проектувати нові технологічні лінії та реконструювати старі;

**2. Місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою**

Перелік дисциплін, знань та умінь, володіння якими необхідні студенту для успішного засвоєння дисципліни:

Загальна та неорганічна хімія	Теорія хімічного зв'язку
Фізика	Квантово-оптичні, електро-магнітні явища
Теплові процеси і агрегати в технології кераміки і скла	Теплообмінні і аеродинамічні процеси в агрегатах скляного виробництва. Конструкції скловарних печей. Паливні процеси. Теплообмінні пристрої.
Енерготехнологія хіміко-технологічних процесів	Ендо- і екзоперетворення в сировинних матеріалах. Кінетика хімічних реакцій.
Теоретичні основи хімічної технології кераміки та скла	Сировинна база галузі. Методи обробки сировини. Асортимент виробів зі скла. Основи технології скляного виробництва.
Фізична хімія тугоплавких неметалевих та силікатних матеріалів	Теорія фазової рівноваги. Будова речовини у скловидному стані.
Екологічна безпека технологічних процесів у галузі	Екологічні аспекти скляного виробництва. Шляхи можливого забруднення навколишнього середовища. Очисні споруди

Дисципліни, які базуються на результатах навчання: дисципліни циклу професійної підготовки, в рамках яких передбачена обробка та аналіз результатів експериментальних досліджень.

**3. Зміст навчальної дисципліни**

Перелік розділів і тем всієї дисципліни.

## **Розділ 1. Роль елементів періодичної системи в утворенні склоподібних матеріалів**

### **1. Скловидний кремнезем. Кварцове скло**

Особливості структури скловидного кремнезему

Модель Захаріасена. Кремнекисневий тетраедр. Зв'язки Si-O-Si. Близький порядок в розташуванні атомів. Природні кремнеземисті сполуки: - гірський кристаль, жильний кварц, кварцові піски. Класифікація, властивості і методи виготовлення кварцового скла

Кварцове скло непрозоре і прозоре. Технічне, оптичне і особливо чисте. Надзвичайні оптичні властивості (показник заломлення, прозорість в ультрафіолетовій і близькій інфрачервоній областях); низький коефіцієнт розширення і мала питома теплоємність; висока температура плавлення і розм'якшення; висока хімічна стійкість; невелика щільність, висока твердість; значний опір тепловому удару; високі питомий електричний опір і діелектрична міцність. Основні методи одержання кварцового скла: електротермічний, газо-полумєневий, плазмовий та парофазний. Типи кварцових стекол: безгідроксильні кварцові стекла, наплавлені у вакуумі; газонаплавлені кварцові стекла; особливо чисті гідроксилвміщуючі кварцові стекла, отримані високотемпературним гідролізом  $\text{SiCl}_4$ ; особливо чисті безгідроксильні кварцові стекла.

### **2. Експлуатаційні властивості кварцових стекол**

Основні експлуатаційні характеристики кварцових стекол: оптичні, термічні, механічні, електричні властивості та хімічна стійкість. Унікальність оптичних характеристик кварцових стекол - прозорість в ультрафіолетовому і ближньому інфрачервоному діапазоні. Спектри пропускання кварцових стекол в інфрачервоній області з різною концентрацією груп OH. Класифікація кварцових оптичних стекол за їх прозорості в тому або іншому діапазоні електромагнітного випромінювання. Спектр пропускання стекол марки КУ. Спектр пропускання стекол марки КВ, Спектр пропускання стекол марки КІ. Застосування в напівпровідниковій техніці, виробництві особливо чистих речовин, атомній енергетиці, оптичному приладобудуванні, астрооптиці, силовій оптиці.

Термічні характеристики кварцового скла: коефіцієнт термічного розширення, теплоємність, теплопровідність, **температуропровідність**, термостійкість, **температура початку розм'якшення**, максимальна робоча температура. Хімічна стійкість стосовно реагентів 1-ї і 2-ї групи. Кристалізаційна здатність. Температурні параметри експлуатації виробів з кварцового скла з урахуванням ймовірної кристалізації

### **3. Силікатні стекла**

Переваги силікатних стекол, які обумовлені дешевизною і широкою доступністю, відмінною хімічною стійкістю в найпоширеніших хімічних реагентах і газових середовищах, високою твердістю, порівняльною простотою промислового виробництва.

Області склоутворення в подвійних силікатних системах. Зміни властивостей силікатних стекол, що обумовлені утворенням немісткових атомів кисню, які знижують зв'язаність розплаву. Два типи атомів кисню у силіцій-кисневих тетраедрах: містковий і немістковий. Розупорядковування сітки скла і поява немісткових атомів кисню. Вплив вмісту лужного оксиду на концентрації структурних груп у лужносилікатних стеклах.

Оксиди лужних металів в силікатному склі. Монотонна зміна властивостей залежно від вмісту  $\text{Me}_2\text{O}$ . Правило радіуса. Залежність від радіусу катіона наступних властивостей: дифузійна рухливість, електропровідність, діелектричні втрати, схильність систем до кристалізації. хімічна стійкість, мікротвердість. Полілужний ефект вплив радіуса катіонів на їхню рухливість. Гальмуючий вплив лужних іонів одного виду на рух лужних іонів іншого виду.

Гідроген в силікатному склі. Елемент гідроген – аналог лужних металів.

Вплив на скловаріння компонентів, з якими в розплав уводиться вода, яка знижує в'язкість оксидного розплаву. Можливість введення води при використанні  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , NaOH, глинистих мінералів, а також шляхом зволоження вихідної шихти або зміни складу пічної атмосфери, якщо збільшується парціальний тиск парів води в паливній суміші.

### **4. Елементи II групи (Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Zn, Cd) і двовалентно стабільний Pb.**

Оксиди двовалентно-стабільних елементів - оксиди елементів II групи таблиці Менделєєва: Be, Mg, Ca, Sr, Ba (основна підгрупа) і Zn, Cd (побічна підгрупа), а також елемент IV групи – Pb. Ефект «придушення». Істотна зміна властивості стекол системи  $\text{Me}_2\text{O-SiO}_2$  при введенні компонентів MeO. Зменшення електропровідності і коефіцієнту дифузії лужних іонів.

Дифузійні явища. Зниження дифузійної рухливості іонів Na при введенні в подвійні натрієвосилікатні стекла оксидів MeO замість SiO<sub>2</sub>. Електричні властивості.

Хімічна стійкість. Різкого зростання хімічної стійкості скла при введення оксидів MeO за рахунок SiO<sub>2</sub> у натрієво-силікатне скло. В'язкість. Вплив оксидів лужноземельних металів на високотемпературну в'язкість силікатних стекел, що містять луѓи Me<sub>2</sub>O. Кристалізаційна здатність. Термічне розширення. Твердість. Показник заломлення. Оксиди двовалентних металів побічної групи (ZnO, CdO) і IV групи (Pb). Оксид свинцю - класичний найсильніший плавень. Використання у виробництві легкоплавких стекел, легкоплавких глазурей і емалей. Здатність оксиду свинцю поглинати рентгенівські і γ-промені. Здатність CdO поглинати теплові нейтрони

#### **5. Системи на основі елементів III групи: бору (B) і аналогів (Al, Ga, In, Y, La) .**

Будова боратних стекел на основі бор-оксигенних трикутників. Бороксольні цикли, бороксольні групи. Перехід трикутників у тетраедри.

Ліквіація в лужних боросилікатних стеклах Двофазні стекла в натрієвоборосилікатній системі Фізико-хімічні властивості натрієвоборосилікатних стекел. Пористі стекла.

Оксид алюмінію як склоутворювач. Алюмо-оксигенні тетраедри. Алюмо-боро-силікатні склоподібні системи. Роль оксидів лантану, ітрію, індію.

#### **6. Системи на основі елементів IV групи. (Ge, Ti, Zr, Sn, Hf)**

Германатні стекла, Стійкість германатних стекел до іонізуючих випромінювань. Здатність поглинати рентгенівські промені і пропускати інфрачервоні промені.

Оксиди TiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>, SnO<sub>2</sub>, HfO<sub>2</sub> як склоутворювачі. Здатність TiO<sub>2</sub> надавати силікатним стеклам напівпровідникові властивості. Одержання сегнетоелектриків на основі BaTiO<sub>3</sub>. Двоокис цирконію – аналог TiO<sub>2</sub> в силікатних розплавах. Фаза, що глушить, - тетрагональна форма ZrO<sub>2</sub> або циркон ZrSiO<sub>4</sub>

#### **7. Системи на основі елементів V групи (P, As, Sb, Bi)**

Будова фосфатних стекел. Фосфати як глушителей скла. Фосфатні стекла – поглиначі інфрачервоного випромінювання. Теплозахисні стекла на основі фосфатних стекел.

Виска прозорість для ультрафіолетового випромінювання.

Властивість електретів фосфатних стекел – матеріалів, здатних накопичувати електричний заряд при опроміненні іонізуючим випромінюванням і втримувати його протягом тривалого часу. Арсен, стибій, вісмут. Можливість їх присутності у склі у двох ступенях окислювання: +3 і +5

#### **8. Системи на основі елементів VI групи (S, Se, Te)**

Халькогенідні стекла. Структурні моделі. Склади халькогенідних стекел в атомних співвідношеннях між компонентами. Висока прозорість для випромінювання в ближній інфрачервоній області, завдяки відсутності оксигену. Непрозорість у видимій області. Помітне пропускання починаючи з довжин хвиль більше 1 мкм. Зсув границі пропускання убік більш довгих хвиль при переході від сульфідів до селенідів і телуридів. Область пропускання у системах Ge-As-X (де X = S, Se, Te): сульфідних при 1-11,5 мкм, селенідних 1-15 мкм, телуридних 1—20 мкм.

#### **9. Системи на основі елементів VII групи (F, Cl, Br, I)**

Застосування галогенів в якості освітлювачів. Застосування флюоридів в якості компонентів стекел і емалей. Введення флюору у вигляді сполук Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub>, Na<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>, NaF, (NH<sub>4</sub>)HF<sub>2</sub>, CaF<sub>2</sub> та ін. для зниження в'язкості склоутворюючих розплавів. Специфічні властивості, що надає склу хлористий аргентум. Фотохромні процеси. AgCl як невід'ємний компонент фотохромних стекел. Галогенвміщуючі стекла – унікальний клас стекел з аніонною провідністю. Прозорість флюоридних стекел в інфрачервоному діапазоні. Границя пропускання флюоридних стекел. Флюор-берилатні стекла.

#### **10. Системи з перехідними елементами змінної валентності (d- і f-елементами).**

*Фарбування стекол. Дихроїзмний ефект Фізичне знебарвлення стекол.*

*Люмінесцентні стекла. Хімічний склад. Активатори люмінесценції: Виготовлення і використання люмінесцентних стекол в сучасній техніці. Лазерні стекла. Генерація когерентного монохроматичного випромінювання стеклами. Хімічний склад стекол. Активні домішки. Вимоги до лазерних стекол. Виготовлення і використання в сучасній техніці. Лазерна обробка скляних виробів. Фотохромні стекла. Зміна пропускання і забарвленості скла в залежності від інтенсивності освітлення. Оборотноість процесу забарвлення-знебарвлення. Фізико-хімія процесів. Кінетика. Виготовлення фотохромних стекол. Хімічний склад. Застосування фотохромних стекол. Радіаційно-чутливі і радіаційно-стійкі стекла*

## **Розділ. 2. Вироби зі склоподібних матеріалів і технології їх виготовлення**

### **11. Склокристалічні матеріали (ситали)**

*Ситал - штучний матеріал мікрокристалічної будови, отриманий методом каталізованої кристалізації зі скла відповідного складу. Значення ситалів як нового конструкційного і будівельного матеріалу. Попередники ситалів. Двофазні стекла. Глушенні стекла. Кольорові стекла. Колоїдне фарбування скла. Особливість цих барвників в утворенні у склі колоїдних кристалічних часточок, які при вторинному нагріванні («наведенню») збільшуються в розмірах і забарвлюють скло у відповідний колір. Порцеляна Реомюра. Спосіб Реомюра. Закристалізовані стекла. Вітчизняні роботи. Румунська порцеляна. Фоточутливі стекла. фотографічний ефект на стеклах з добавками міді, золота і срібла.*

*Посилення відповідного колірною відтінку завдяки опроміненню скла перед нагріванням («наведенням»). Створення скла, у якому можна одержувати фотографічне зображення. Літієвосилікатні стекла. Ффотоформ. Пірокерам. Ситали*

### **12. Каталізована кристалізація**

*Терміни: керована, ініційована, каталізована, регульована, контрольована, стимульована, нуклейована кристалізація і ін. Утворення центрів кристалізації. Гомогенне зародкотворення.*

*Розміри зародків у межах 5—100 А. Головна роль при зародженні центрів кристалізації - переохолодження. Теорія Таммана.*

*Три типи залежності числа центрів кристалізації (ЧЦК) і лінійної швидкості кристалізації (ЛШК) від переохолодження. Гетерогенне зародкоутворення. Мінералізатори - добавки, які фізично або хімічно прискорюють реакцію, але не входять до складу кінцевої фази.*

*Три групи мінералізаторів. Дві стадії кристалізації. Каталізатори кристалізації. Умови до каталізаторів за Стукі. Металеві каталізатори. Неметалічні каталізатори. Оксидні каталізатори: оксиди титану, цирконію, фосфору, цинку, хрому, церію, нікелю, ванадію, олова, миш'яку, сурми, молібдену, вольфраму та ін. Фтористі сполуки (фториди кальцію, магнію, натрію, кріоліт, кремнефтористий натрій). Сульфідні заліза, цинку, марганцю, кадмію, міді і ін., Сульфоселенід кадмію CdS CdSe,*

### **13. Технологія ситалів**

*В основі технології - технологія склоробного виробництва, видозмінена і доповнена в заключній стадії, оскільки отриманий з відповідного скла виріб потім повинен бути перетворений в ситал шляхом кристалізації. Застосування у деяких випадках для одержання ситалів керамічної технології (порошковий метод) за схемою: одержання шихти → варіння скла → гранулювання → здрібнювання скла в порошок → одержання пластичної композиції - шлікеру (скло+зв'язка) → формування виробів → спікання і кристалізація.*

*Відмінність звичайного методу одержання ситалів від методів одержання інших відомих полікристалічних матеріалів - ситали одержують зі скла, що містить каталізатор і такі хімічні компоненти, з яких у результаті термообробки можуть бути утворені кристалічні зерна заданих фаз.*

*Одержання шихти, Варіння скла, Формування скла. Кристалізація скла. Оптимальна термічна обробка - найважливіший елемент технології ситалів. Проблема вибору найбільш ефективного режиму термічної обробки. Призначення термічної обробки: утворення максимального числа центрів кристалізації; по-друге, необхідний ступінь закристалізованості, по-третє, заданий фазовий склад ситалу.*

Схема режиму термічної обробки скла. Дві характерні температури режиму, що відповідають максимуму утворення центрів кристалізації (ЧЦК), і максимуму лінійної швидкості росту кристалів (ЛШК). Можливість здійснення процесу кристалізації як при охолодженні розплаву, так і при нагріванні застиглого скла.

#### 14. Проектування ситалів

Вибір вихідного хімічного складу. Умова: у ситалі повинна міститися та кристалічна фаза (або фази), що має провідну властивість, що вимагається за завданням на проектування. Використання діаграм стану систем, що включають основні компоненти обраної сполуки

Підбір каталізатора. Оцінка інтенсивності процесу кристалізації за температурами ендо- і екзотермічних ефектів. Визначення режиму термообробки. Температурні витримки. Перша - поблизу температури розм'якшення скла. Друга - в інтервалі кристалізації скла. Схема структурних змін у склі, термообробленому в градієнтній печі. Пошук оптимального режиму ситалізації складається з пошуку чотирьох параметрів:  $T_1$ ,  $T_2$  – температура першої та другої витримки;  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  - час першої та другої витримки;  $V$  - швидкість нагрівання від  $T_1$  до  $T_2$

#### 15 Технічні ситали

**Ситали сподуменового складу** з нульовим, позитивним і негативним температурним коефіцієнтом лінійного розширення. Висока термостійкість. Кристалічні фази:  $\beta$ -евкриптит,  $\beta$ -сподумен, петаліт. Система  $Li_2O-Al_2O_3-SiO_2$ , з добавкою каталізатора ( $TiO_2$ ). Сподуменові склади:  $SiO_2$ – 53- 73%;  $Al_2O_3$ – 16-35%;  $Li_2O$ –4-14%;  $TiO_2$ –5- 6%. Температурний коефіцієнт лінійного розширення ситалів:  $(- 7 \div 14) \cdot 10^{-7}$  1/К. Режим термообробки. Температура відпалу: 678 /703°C; температура 1-го щабля 570 /900°C, час – 2 години; температура 2-го щабля 1000 /1100°C, час – 2 /4 години.

**Ситали кордієритового складу.** Високі діелектричні властивості. Кордієрит  $2MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$  має малий температурний коефіцієнт лінійного розширення — приблизно  $10 \cdot 10^{-7}$  1/К і внаслідок цього ситали цього типу відрізняються високою термостійкістю. Можливі кристалічні фази:  $\alpha$ -кордієрит, шпінель, сапфірін, муліт, рутил, алюмотитанати магнію.

**Висококремнеземісті ситали.** Надзвичайно високе теплове розширення. Можливість одержувати узгоджені спаї з такими металами, як мідь, срібло, алюміній та ін.

**Свинецьвмісні ситали.** Застосування для спаювання і герметизації різних електровакуумних приладів (ситалоцементи), конденсаторів та ін. Ситали отримані у системі  $PbO-ZnO-B_2O_3-SiO_2$ .

**Прозорі ситали.** Розмір кристалів у подібних ситалах не повинен перевищувати довжину напівхвилі видимого світла, а показники заломлення кристалів і склоподібної фази повинні співпадати або бути близькими за значенням.

**Ситали, що поглинають нейтрони. Кольорові ситали. Фотоситали.**

#### 16. Ситали на основі промислових відходів і гірських порід

**Шлакоситали.** Виготовлення з відходів промисловості (шлаків) з добавкою кварцового піску та інших компонентів. Хімічний склад доменних шлаків. Можливість переробки шлаків у шлакоситали сучасними методами потокової скляної технології прокатного скла. Хімічний склад каталізаторів. Одержання шлакоситалу білого кольору. Температурний режим кристалізації. Кристалічна фаза – воластоніт та анортит, а також діопсид, піроксени, геленіт та ін. Структура: 60-70% кристалічної фази, яка скріплена прошарком залишкового скла. Розмір кристалів не перевищує 0,5-1 мкм.

**Золоситали.** Хімічний склад золи-уносу і шлаків деяких вугіль. Хімічний склад золо-шлакових стекол. Кристалічні фази: анортит  $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ , залізистий діопсид  $FeO \cdot CaO \cdot 2SiO_2$ . У високозалізистих стеклах окрім анортиту присутність геденбергиту і воластоніту  $\beta-CaO \cdot SiO_2$ .

**Петроситали.** На основі різних гірських порід - вивержених (базальт, діабаз, граніт, нефеліновий сіеніт та ін.), осадових (піски, глини, мергелі, каоліни та ін.) і метаморфічних (гнейси, сланці, мармури, серпентиніти) також отримані ситали. Хімічний склад базальту. Каталізатори:  $FeS$ ,  $TiO_2$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $CaF_2$ ,  $y$  %). У всіх зразках закристалізованого базальту визначені три кристалічні фази: магнетит, авгіт, плагіоклаз. Одностадійний режим кристалізації. Витримка протягом 90 хв при 900—950°C,

**17. Оптичне скло. Скло і електромагнітне випромінювання оптичного діапазону. Електронні і коливальні спектри.** Діапазон прозорості стекол.

*Оптичні стекла видимого діапазону. Стекла з надзвичайними оптичними характеристиками. Кольорові оптичні стекла. Сигнальні стекла. Барвники. Хімічний склад.*

*Стекла для УФ-оптики. Кварцове скло серії КУ. Спектри пропускання і поглинання. Виготовлення і застосування кварцового скла.*

*Стекла для ІЧ-оптики. Кварцове скло серії КІ. ІЧ-оптика на основі халькогенідних стекел. Спектри пропускання. Виготовлення халькогенідних стекел.*

*Волоконна оптика. Швидкість передачі інформації. Структура світловода. Явище багаторазового повного внутрішнього відбиття. Вимоги до скла світловодів. Методи виготовлення оптичного скловолокна. Схеми установок. Застосування волоконної оптики.*

### **18. Хіміко-лабораторне, термометричне, медичне, електровакуумне скло**

*Хіміко-лабораторне скло. Асортимент виробів. Класифікація. Основні вимоги до стекел. Властивості. Підвищення хімічної і термічної стійкості оксидами  $V_2O_5$ ,  $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2$ ,  $TiO_2$ . Технологія виготовлення. Хімічний склад. Виготовлення виробів. Градування.*

*Термометричне скло. Особливість – низька термічна післядія. Поняття про депресію точки нуля і вікове підвищення точки нуля. Асортимент термометрів. Діапазон вимірюваних температур. Хімічний склад. Висококремнеземісті, боросилікатні (лужні, малолужні, безлужні). Виготовлення. Формування. Штучне старіння скла.*

*Медичне скло. Призначення. Асортимент. Хімічний склад. Фізико-хімічні властивості. Хімічна стійкість. Світлозахисні властивості скла.*

*Електровакуумне скло. Асортимент виробів. Класифікація. Основні вимоги до стекел. Властивості. Скло- і ситалоцементи.*

### **19. Надміцне скло**

*Способи зміцнення скла: підвищення якості поверхні та створення у поверхневому шарі залишкових стискаючих напруг.*

*Підвищення якості поверхні. Сутність методу. Механічне полірування. Вогневе полірування. Хімічне полірування.*

*Створення залишкових стискаючих напружень. Зміна ТКЛР поверхневого шару. Емалювання. Вилуговування. Високотемпературний іонний обмін. Термічна кристалізація. Загартування. Іонообмінне зміцнення.*

*Бронескло. Дві технології виготовлення прозорої броні (бронескла). Утворення монолітного пакету: скло-плівка-...-скло. Процес автоклавування. Кулезахисна здатність монолітного склоблоку. Характеристики куленепробивного скла. Захисна плівка від поразки вторинними осколками скла.*

### **20. Піноскло.**

*Гранульоване піноскло. Блочне піноскло. Плити, шкарлупи. Габарити.*

*Монтажно-конструкційні властивості. Застосування в якості будівельного теплоізоляючого і звукоізолюючого матеріалу. Технічні характеристики: щільність, діапазон робочих температур; теплопровідність, межа міцності при стисканні; водопоглинання; шумопоглинання. Технологічні параметри отримання піноскла. Хімічний склад шихти. Матричне скло. Газоутворювач. Фізико-хімія процесів спінювання. Форми для спінювання. Тунельна піч для спінювання піноскла. Температурно-часовий режим спінювання.*

### **21. Скло для іммобілізації радіоактивних відходів**

*Класифікація ядерних відходів. Скло як матеріал для іммобілізації радіоактивних відходів. Переваги методу оскловування. Вимоги - виготовлення скла за помірно низьких температур; толерантність скла до змін у складі відходів; прийнятна хімічна стійкість; радіаційна стійкість.*

*Іммобілізація за допомогою розчинення нуклідів на атомному рівні в середині матричної решітки. Розчинність ядерних відходів.*

*Боросилікатне скло. Фосфатне скло. Хімічний склад. Стабільність та довговічність матеріалів на основі скла для іммобілізації радіоактивних відходів. Термічна стабільність. Хімічна стійкість. Довговічність скла. Технологія іммобілізації радіоактивних відходів.*



## **Розділ 3. Функціональні покриття на склі**

### **22. Функціональні покриття**

Можливість поліпшення показники багатьох властивостей скловиробів шляхом модифікації поверхні або нанесенням спеціальних функціональних покриттів. Модифікацією поверхні є певний механічний, термічний, хімічний і інші впливи (дії) на поверхню виробу зі скла, що призводить до кардинальної зміни експлуатаційних властивостей усього виробу в цілому. Два різних методів модифікації поверхні скла. Перший метод - нанесення на поверхню скла функціонального покриття у вигляді плівки, яка через високу адгезію міцно утримується на поверхні скла. Другий метод - іонообмінна модифікація поверхневого шару скла за рахунок дифузії у скло деяких сторонніх іонів з розплавів солей.

Класифікація функціональних покриттів по склу. Піролітичне (метод піролізу). Вакуумне - покриття, отримане шляхом осадження заряджених іонів. Тверде. М'яке. Декоративне. Сонцезахисне. Дзеркальне. Антиблікове. Низькоемісійне. Радіозахисне. Струмопровідне. Зміцнююче. Фотохромне. Електрохромне. Самоочисне. Антибактеріальне. Види стекел із плівковими покриттями. Металеві покриття (плівки). Оксидно-металеві плівки. Струмопровідні стекла. Сонцезахисні або теплозахисні. Тепловідбиваючі прозорі безбарвні Радіозахисні прозорі безбарвні стекла. Кольорові стекла із плівковими покриттями. Безбарвні напівпрозорі дзеркала отримані на основі плівок оксиду титану.

### **23. Методи нанесення функціональних покриттів.**

Піролітичне нанесення покриттів. Фізичне осадження з газової фази. Одержання покриття за рахунок конденсації речовини. Процеси термічного вакуумного випару й іонного розпилення матеріалів. Хімічне осадження з газової фази. Термічне розкладання (піроліз) або хімічні реакції з іншими газами (або парами). Реактивне осадження з газової (парогазової або парової) фази. Функціональні покриття:  $TiO_2$  або  $SnO_2$ . Використання тетрахлоридів олова або титану або органопохідних хлоридів металів. «Заліковування» мікротріщин. Багатофункціональність покриттів у технології листового скла (флоат-скло).

Вакуумне нанесення покриттів. Катодне розпилення. Використання плазми тліючого розряду. Дво- і чотириелектродний метод. Переваги й недоліки методів. Магнетронне напилювання. Можливість розпилення металевих, діелектричних і напівпровідникових матеріалів.

### **24. Енергозберігаюче скло.**

Параметри, що характеризують енергозберігаючі властивості низькоемісійного скла. Різновиди низькоемісійних стекел. Фізичні основи створення енергозберігаючих стекел. Механізм теплопередачі через склопакет. Тверде енергозберігаюче скло. Покриття (К-скло). Величина випромінювальної здатності К-скла. Ламінування й загартування. Одержання методом піролітичного осадження оксидів металів на поверхню розм'якшеного скла. Суть методу. М'яке енергозберігаюче покриття (І-скло). Величина випромінювальної здатності І-скла. Одержання І-скла. Нанесення на поверхню оптичного низькоемісійного покриття на основі оксидів металів. Магнетронне розпилення. Недоліки й переваги К-скла та І-скла. Склопакети з енергозберігаючими стеклами. Технічні характеристики.

### **25. Самоочисне скло**

Можливість окиснення забруднень на склі за рахунок фотокаталітичної (ФК) дії наноструктурованого діоксиду титану у вигляді анатазу та рутилу. Фізико-хімія процесів окиснення органічних сполук. Продукти окиснення. Основні процеси, що протікають на фотокаталізаторі при поглинанні кванта світла. Фотоактиничне випромінювання в області УФ і видимого світла. Суть ФК властивостей  $TiO_2$ . Попутні прояви: висока змочуваність поверхні скла (супергідрофільність), протидія запотіванню, бактерицидні та дезінфікуючі властивості. Способи одержання і нанесення на скло наноструктурованого діоксиду титану: піроліз аерозолів, золь-гель метод.

### **26. Електропровідне скло**

Види електропровідності діелектриків. Фактори, що впливають на електропровідність діелектриків. Види електропровідності. Електронна електропровідність. Іонна електропровідність. Електричний опір. Два види електропровідності: об'ємна і поверхнева. Питомі електричні опори, відповідно - об'ємний та поверхневий опір. Опір струмопровідної поверхні (плівки). Схема об'ємної і

поверхневої електропровідності. Окисно-олове́яне покриття. Проблема комутації електричного кола. Лінії струму при різній комутації електричного кола. Струмопровідні стекла на основі оксидів олова, індію, цинку й ін.

Радіозахисні прозорі безбарвні стекла на основі оксидів олова, індію й інших металів. Необхідна умова для радіозахисту - низький питомий опір ( $\sim 10 \text{ Ом/}\square$ ). Відбивання електромагнітної енергії радіодіапазону (довжини хвиль 1-150 см). Використання радіозахисних стекел для біологічного захисту від шкідливого випромінювання енергії надвисоких частот (НВЧ). Технологія одержання.

#### **27. Просвітлення оптики**

Просвітлення оптики — технологія обробки поверхні лінз, призм та інших оптичних деталей для зниження відбиття світла від оптичних поверхонь. Можливість збільшення світлопропускання оптичної системи. Використання у сучасних оптичних приладах просвітленої оптики. Методи зниження коефіцієнта віддзеркалення від поверхні. Використання інтерференційних покриттів. Технологія нанесення. Схема віддзеркалення променю від одношарової і двошарової пластини. Формула Френеля. Одношарове просвітлення. Умова інтерференційного просвітлення. Вимоги до товщини плівки та її показника заломлення. Традиційний матеріал для просвітлюючої плівки - фторид магнію  $\text{MgF}_2$ , що має відносно низький ( $n=1,38$ ) показник заломлення, хороші механічні властивості і корозійну стійкість. Недоліки одношарового покриття - забезпечення просвітлення тільки для вузького спектрального діапазону. Його подолання - застосування багатошарових інтерференційних покриттів. Багатошарове просвітлення. Багатошарове просвітлююче покриття. Основна перевага багатошарового просвітлення стосовно фотографічної та спостережної оптики - незначна залежність відбивної здатності від довжини хвилі в межах видимого спектру. Спектр коефіцієнтів віддзеркалення для багатошарової просвітлюючої плівки.

#### **4. Навчальні матеріали та ресурси**

Навчальні матеріали, зазначені нижче, доступні у бібліотеці університету та у бібліотеці кафедри хімічної технології кераміки та скла. Обов'язковою до вивчення є базова література, інші матеріали – факультативні. Розділи та теми, з якими студент має ознайомитись самостійно, викладач зазначає на лекційних та лабораторних заняттях.

##### **Базова**

1. Шелби Дж. Структура, свойства и технология стекла/ Дж. Шелби. – М.: Мир, 2006. – 288 с.
2. Шаеффер Н.А., Хойзнер К.Х. Технология стекла. – Казань.: Издательство "СТИ-Print", 1998. – 280 с.
3. Яцишин Й.М. Технологія скла: Ч.1. "Фізика і хімія скла" – Львів: Видавництво НТУ "Львівська політехніка", 2001. – 188 с.
4. Яцишин Й.М. Технологія скла: Ч.2. "Технологія скляної маси" – Львів: Видавництво "Бескид Біт", 2004. – 250 с.
5. Фізична хімія кремнезему і нанодисперсних систем / Б. Ю. Корнілович, О. Р. Андрієвська, М. М. Племянніков, Л. М. Спасьонова. – Київ: Освіта України, 2013. – 178 с.
6. Племянніков М. М. Хімія і технологія скла. Високотемпературні процеси / М. М. Племянніков, А. П. Яценко, Б. Ю. Корнілович. – Київ: Освіта України, 2015. – 183 с.
7. Племянніков Н.Н., Крупа А.А. Хімія та теплофізика скла. Навчальний посібник. – К.: НТУУ"КПІ" 2000. – 559 с.
8. Інноваційні технології у виробництві спеціального та побутового скла [Електронний ресурс] / М. М. Племянніков, А. П. Яценко, І. В. Пулипенко, Б. Ю. Корнілович // Київ. КПІ ім. І. Сікорського. – 2018. - 298 с.

##### **Додаткова**

9. Корнілович Б. Ю. Некоторые аспекты развития прикладной радиохимии и радиоэкологии / Б. Ю. Корнілович. // Укр. Хим. Журн.. – 2006. – №5. – С. 3–10.
10. Pye D.L., Montenero A., Joseph I. Properties of glass-forming melts. – Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2005. – 485 p.

11. Uusitalo O. *Float glass innovation in the flat glass industry*. – New York: Springer, 2014. – 115 p.  
 12. Aegerter M. A., Mennig M. *Sol-gel technologies for glass producers and users*. – New York: Springer Science & Business Media, 2013. – 465 p.

### Інформаційні ресурси

1. Дистанційний курс Google G Suite for Education. Режим доступу: Google Classroom (Google G Suite for Education, домен LLL.kpi.ua, платформа Sikorsky-distance); код курсу I65ahdc.

## Навчальний контент

### 5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

#### Лекційні заняття

Вичитування лекцій з дисципліни проводиться паралельно з виконанням студентами лабораторних робіт та розглядом ними питань, що виносяться на самостійну роботу. При читанні лекцій застосовуються засоби для відеоконференцій (Google Meet, Zoom тощо) та ілюстративний матеріал у вигляді презентацій, які розміщені на платформі Sikorsky-distance. Після кожної лекції рекомендується ознайомитись з матеріалами, рекомендованими для самостійного вивчення, а перед наступною лекцією – повторити матеріал попередньої.

№	Дата	Опис заняття
1	Перший тиждень	<b>Розділ 1. Роль елементів періодичної системи в утворенні склоподібних матеріалів</b> <b>1. Скловидний кремнезем. Кварцове скло. Особливості структури.</b> Модель Захаріасена. Кремнекисневий тетраедр. Природні кремнеземисті сполуки. Надзвичайні оптичні властивості. Основні методи одержання кварцового скла. Типи кварцових стекел
2	Перший тиждень	<b>2. Експлуатаційні властивості кварцових стекел</b> Основні експлуатаційні характеристики кварцових стекел: оптичні, термічні, механічні, електричні властивості та хімічна стійкість. Унікальність оптичних характеристик кварцових стекел - прозорість в ультрафіолетовому і ближньому інфрачервоному діапазоні. Класифікація кварцових оптичних стекел за їх прозорості в тому або іншому діапазоні електромагнітного випромінювання. Термічні характеристики кварцового скла.
3	Другий тиждень	<b>3. Силікатні стекла</b> Переваги силікатних стекел. Области скло утворення. Два типи атомів оксигену. Оксиди лужних металів в силікатному склі. Правило радіуса. Дифузійна рухливість, електропровідність, діелектричні втрати, схильність систем до кристалізації. хімічна стійкість, мікротвердість. Полілужний ефект вплив радіуса катіонів на їхню рухливість. Гальмуючий вплив лужних іонів одного виду на рух лужних іонів іншого виду. Гідроген в силікатному склі. Елемент гідроген – аналог лужних металів.
4	Перший тиждень	<b>4. Елементи II групи (Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Zn, Cd) і двовалентно стабільний Pb.</b> Оксиди двовалентно-стабільних елементів. Ефект «придушення». Істотна зміна властивості стекел системи $Me_2O-SiO_2$ при введенні компонентів MeO. Дифузійні явища. Електричні властивості. Хімічна стійкість. В'язкість. Кристалізаційна здатність. Термічне розширення. Твердість. Показник заломлення. Оксид свинцю - класичний найсильніший плавень. Використання у виробництві легкоплавких стекел, легкоплавких глазурей і емалей.
5	Перший тиждень	<b>5. Системи на основі елементів III групи: бору (B) і аналогів (Al, Ga, In, Y, La).</b> Будова боратних стекел на основі бор-оксигенних трикутників.

		<p>Борксольні цикли, борксольні групи. Перехід трикутників у тетраедри.</p> <p>Ліквіація в лужних боросилікатних стеклах Двофазні стекла в натрієвоборосилікатній системі Фізико-хімічні властивості натрієвоборосилікатних стекел. Пористі стекла.</p> <p>Оксид алюмінію як склоутворювач. Алюмо-оксигенні тетраедри. Алюмо-боро-силікатні склоподібні системи. Роль оксидів лантану, ітрію, індію.</p>
6	Другий тиждень	<p><b>6. Системи на основі елементів IV групи. (Ge, Ti, Zr, Sn, Hf)</b></p> <p>Германатні стекла, Стійкість германатних стекел до іонізуючих випромінювань. Здатність поглинати рентгенівські промені і пропускати інфрачервоні промені.</p> <p>Оксиди <math>TiO_2</math>, <math>ZrO_2</math>, <math>SnO_2</math>, <math>HfO_2</math> як склоутворювачі. Здатність <math>TiO_2</math> надавати силікатним стеклам напівпровідникові властивості. Одержання сегнетоелектриків на основі <math>BaTiO_3</math>. Двоокис цирконію – аналог <math>TiO_2</math> в силікатних розплавах. Фаза, що глушить, - тетрагональна форма <math>ZrO_2</math> або циркон <math>ZrSiO_4</math></p>
7	Перший тиждень .	<p><b>7. Системи на основі елементів V групи (P, As, Sb, Bi)</b></p> <p>Будова фосфатних стекел. Фосфати як глушителей скла. Фосфатні стекла – поглиначі інфрачервоного випромінювання. Теплозахисні стекла на основі фосфатних стекел. Виска прозорість для ультрафіолетового випромінювання.</p> <p>Властивість електретів фосфатних стекел – матеріалів, здатних накопичувати електричний заряд при опроміненні іонізуючим випромінюванням і втримувати його протягом тривалого часу. Арсен, стибій, вісмут. Можливість їх присутності у склі у двох ступенях окислювання: +3 і +5</p>
8	Перший тиждень	<p><b>8. Системи на основі елементів VI групи (S, Se, Te)</b></p> <p>Халькогенідні стекла. Структурні моделі. Склади халькогенідних стекел в атомних співвідношеннях між компонентами. Висока прозорість для випромінювання в ближній інфрачервоній області, завдяки відсутності кисню. Непрозорість у видимій області. Зсув границі пропускання убік більш довгих хвиль при переході від сульфідів до селенідів і телуридів. Область пропускання у системах Ge-As-X (де X = S, Se, Te): сульфідних при 1-11,5 мкм, селенідних 1-15 мкм, телуридних 1—20 мкм</p>
9	Другий тиждень	<p><b>9. Системи на основі елементів VII групи (F, Cl, Br, I)</b></p> <p>Застосування галогенів в якості освітлювачів. Застосування флюоридів в якості компонентів стекел і емалей. Введення флюору у вигляді сполук <math>Na_3AlF_6</math>, <math>Na_2SiF_6</math>, <math>NaF</math>, <math>(NH_4)HF_2</math>, <math>CaF_2</math>. для зниження в'язкості склоутворюючих розплавів. Специфічні властивості, що надає склу хлористий аргентум. Фотохромні процеси. <math>AgCl</math> як невід'ємний компонент фотохромних стекел. Галогенвміщуючі стекла – унікальний клас стекел з аніонною провідністю. Прозорість флюоридних стекел в інфрачервоному діапазоні. Границя пропускання флюоридних стекел. Флюор-берилатні стекла.</p>
10	Перший тиждень	<p><b>10. Системи з перехідними елементами змінної валентності (d- і f-елементами).</b></p> <p>Фарбування стекел. Дихроїзмний ефект Фізичне знебарвлення стекел.</p> <p>Люмінесцентні стекла. Хімічний склад. Активатори люмінесценції: Лазерні стекла. Генерація когерентного монохроматичного випромінювання стеклами. Хімічний склад стекел. Активні домішки. Вимоги до лазерних стекел. Виготовлення і використання в сучасній техніці. Фотохромні стекла. Зміна пропускання і забарвленості скла в залежності від інтенсивності освітлення. Оборотної процесу забарвлення-знебарвлення. Фізико-хімія процесів. Кінетика. Виготовлення фотохромних стекел. Хімічний склад. Застосування фотохромних стекел. Радіаційно-чутливі і радіаційно-стійкі стекла</p>
11	Перший тиждень	<p><b>Розділ. 2. Вироби зі склоподібних матеріалів і технології їх виготовлення</b></p>

		<p><b>11. Склокристалічні матеріали (ситали)</b>  Значення ситалів як нового конструкційного і будівельного матеріалу. Попередники ситалів. Двофазні стекла. Глушенні стекла. Кольорові стекла. Колоїдне фарбування скла. Порцеляна Реомюра. Спосіб Реомюра. Закристалізовані стекла. Вітчизняні роботи. Румунська порцеляна. Фоточутливі стекла. Фотографічний ефект на стеклах з добавками міді, золота і срібла. Посилення відповідного колірною відтінку завдяки опроміненню скла перед нагріванням («наведенням»). Створення скла, у якому можна одержувати фотографічне зображення. Літієвосилікатні стекла. Фототформ. Пірокерам. Ситали</p>
12	Другий тиждень	<p><b>12. Каталізована кристалізація</b>  Терміни: керована, ініційована, каталізована, регульована, контрольована, стимульована, нуклейована кристалізація і ін. Утворення центрів кристалізації. Гомогенне зародкотворення.  Причина зародження центрів кристалізації - переохолодження. Теорія Таммана. Три типи залежності числа центрів кристалізації (ЧЦК) і лінійної швидкості кристалізації (ЛШК) від переохолодження. Гетерогенне зародкоутворення. Мінералізатори.  Три групи мінералізаторів. Дві стадії кристалізації. Каталізатори кристалізації. Умови до каталізаторів за Стукі. Металеві каталізатори. Неметалічні каталізатори. Оксидні каталізатори. Фтористі сполуки. Сульфіді заліза, цинку, марганцю, кадмію, міді і ін., Сульфоселенід кадмію CdS CdSe.</p>
13	Перший тиждень	<p><b>13. Технологія ситалів</b>  В основі технології - технологія склоробного виробництва, видозмінена і доповнена в заключній стадії. Застосування у деяких випадках для одержання ситалів керамічної технології (порошковий метод) за схемою: одержання шихти → варіння скла → гранулювання → здрібнювання скла в порошок → одержання пластичної композиції - шлікеру (скло+зв'язка) → формування виробів → спікання і кристалізація. Відмінність звичайного методу одержання ситалів від методів одержання інших відомих полікристалічних матеріалів.  Одержання шихти, Варіння скла, Формування скла. Кристалізація скла. Оптимальна термічна обробка - найважливіший елемент технології ситалів. Дві характерні температури режиму, що відповідають максимуму утворення центрів кристалізації, і максимуму лінійної швидкості росту кристалів.</p>
14	Перший тиждень	<p><b>14. Проектування ситалів</b>  Вибір вихідного хімічного складу. Використання діаграм стану систем, що включають основні компоненти обраної сполуки  Підбір каталізатора. Оцінка інтенсивності процесу кристалізації за температурами ендотермічних ефектів. Визначення режиму термообробки. Температурні витримки. Схема структурних змін у склі, термообробленому в градієнтній печі. Пошук оптимального режиму ситалізації складається з пошуку чотирьох параметрів: <math>T_1</math>, <math>T_2</math> – температура першої та другої витримки; <math>\tau_1</math>, <math>\tau_2</math> - час першої та другої витримки; <math>V</math> - швидкість нагрівання від <math>T_1</math> до <math>T_2</math></p>
15	Другий тиждень	<p><b>15 Технічні ситали</b>  Ситали сподуменового складу з нульовим, позитивним і негативним температурним коефіцієнтом лінійного розширення. Кристалічні фази: <math>\beta</math>-евкриптит, <math>\beta</math>-сподумен. Система <math>Li_2O-A1_2O_3-SiO_2</math>. Температурний коефіцієнт лінійного розширення. Режим термообробки.  Ситали кордієритового складу. Високі діелектричні властивості. Кордієрит <math>2MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO</math>. Малий температурний коефіцієнт лінійного розширення. Висококремнеземісті ситали. Надзвичайно високе теплове розширення. Можливість одержувати узгоджені спаї з такими металами, як мідь, срібло, алюміній та ін. Свинцевмісні ситали. Застосування для спаювання і герметизації різних електровакуумних приладів. Прозорі ситали. Ситали, що</p>

		<i>поглинають нейтрони. Кольорові ситали. Фотоситали.</i>
16	Перший тиждень	<p><b>16. Ситали на основі промислових відходів і гірських порід</b></p> <p><i>Шлакоситали. Виготовлення з відходів промисловості (шлаків) з добавкою кварцового піску та інших компонентів. Хімічний склад доменних шлаків. Хімічний склад каталізаторів. Одержання шлакоситалу білого кольору. Температурний режим кристалізації. Кристалічна фаза – воластоніт та анортит, а також діопсид, піроксени, геленіт та ін.</i></p> <p><i>Золоситали. Хімічний склад золи-уносу і шлаків деяких вугіль. Хімічний склад золо-шлакових стекол. Кристалічні фази: анортит <math>\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2</math>, залістий діопсид <math>\text{FeO}\cdot\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2</math>. У високозалістих стеклах окрім анортиту присутність геденбергіту і воластоніту <math>\beta\text{-CaO}\cdot\text{SiO}_2</math>.</i></p> <p><i>Петроситали. На основі різних гірських порід – вивержених, осадових і метаморфічних. Каталізатори. Кристалічні фази</i></p>
17	Перший тиждень	<p><b>17. Оптичне скло</b></p> <p><b>Скло і електромагнітне випромінювання оптичного діапазону. Електронні і коливальні спектри. Діапазон прозорості стекол.</b></p> <p><i>Оптичні стекла видимого діапазону. Стекла з надзвичайними оптичними характеристиками. Кольорові оптичні стекла. Сигнальні стекла. Барвники. Хімічний склад. Стекла для УФ- оптики. Стекла для ІЧ-оптики. Волоконна оптика. Швидкість передачі інформації. Структура світловода. Явище багаторазового повного внутрішнього відбиття. Вимоги до скла світловодів. Методи виготовлення оптичного скловолокна. Схеми установок. Застосування волоконної оптики.</i></p>
18	Другий тиждень	<p><b>18. Хіміко-лабораторне, термометричне, медичне, електровакуумне скло</b></p> <p><i>Хіміко-лабораторне скло. Асортимент виробів. Класифікація. Основні вимоги до стекол. Властивості. Технологія виготовлення. Хімічний склад.</i></p> <p><i>Термометричне скло. Особливість – низька термічна післядія. Поняття про депресію точки нуля і вікове підвищення точки нуля. Асортимент термометрів. Діапазон вимірюваних температур. Хімічний склад. Висококремнеземісті, боро-силікатні стекла. Виготовлення. Формування. Штучне старіння скла.</i></p> <p><i>Медичне скло. Призначення. Асортимент. Хімічний склад. Фізико-хімічні властивості. Хімічна стійкість. Світлозахисні властивості скла.</i></p> <p><i>Електровакуумне скло. Асортимент виробів. Класифікація. Основні вимоги до стекол. Властивості. Скло- і ситалоцементи.</i></p>
19	Перший тиждень	<p><b>19. Надміцне скло</b></p> <p><i>Способи зміцнення скла: підвищення якості поверхні та створення у поверхневому шарі залишкових стискаючих напруг.</i></p> <p><i>Підвищення якості поверхні. Сутність методу. Створення залишкових стискаючих напружень. Зміна ТКЛР поверхневого шару. Емалювання. Вилугування. Високотемпературний іонний обмін. Термічна кристалізація. Загартування. Іонообмінне зміцнення.</i></p> <p><i>Бронескло. Дві технології виготовлення прозорої броні. Кулезахисна здатність монолітного склоблоку. Характеристики куленепробивного скла. Захисна плівка від поразки вторинними осколками скла.</i></p>
20	Перший тиждень	<p><b>20. Піноскло.</b></p> <p><i>Гранульоване піноскло. Блочне піноскло. Плити, шкарлупи. Габарити.</i></p> <p><i>Монтажно-конструкційні властивості. Застосування в якості будівельного теплоізоляючого і звукоізолюючого матеріалу. Технічні характеристики: щільність, діапазон робочих температур; теплопровідність, межа міцності при стисканні; водопоглинання; шумопоглинання. Технологічні параметри отримання піноскла. Хімічний склад шихти. Матричне скло. Газоутворювач. Фізико-хімія процесів спінювання. Форми для спінювання.</i></p>

		Тунельна піч для спінювання піноскла. Температурно-часовий режим спінювання.
21	Другий тиждень	<p><b>21. Скло для іммобілізації радіоактивних відходів</b></p> <p>Класифікація ядерних відходів. Скло як матеріал для іммобілізації радіоактивних відходів. Переваги методу оскловування. Вимоги - виготовлення скла за помірно низьких температур; толерантність скла до змін у складі відходів; прийнятна хімічна стійкість; радіаційна стійкість.</p> <p>Іммобілізація за допомогою розчинення нуклідів на атомному рівні в середині матричної решітки. Розчинність ядерних відходів.</p> <p>Боросилікатне скло. Фосфатне скло. Технологія іммобілізації радіоактивних відходів.</p>
22	Перший тиждень	<p><b>Розділ 3. Функціональні покриття на склі</b></p> <p><b>22. Функціональні покриття</b></p> <p>Можливість поліпшення показники багатьох властивостей скловиробів шляхом модифікації поверхні або нанесенням спеціальних функціональних покриттів. Два різних методів модифікації поверхні скла: нанесення на поверхню скла функціонального покриття у вигляді плівки, іонообмінна модифікація поверхневого шару скла за рахунок дифузії у скло деяких сторонніх іонів з розплавів солей.</p> <p>Класифікація функціональних покриттів по склу. Піролітичне. Вакуумне. Тверде. М'яке. Декоративне. Сонцезахисне. Дзеркальне. Антиблікове. Низькоемісійне. Радіозахисне. Струмопровідне. Зміцнююче. Фотохромне. Електрохромне. Самоочисне. Антибактеріальне. Види стекол із плівковими покриттями. Металеві покриття (плівки). Оксидно-металеві плівки. Струмопровідні стекла. Сонцезахисні або теплозахисні. Радіозахисні. Кольорові.</p>
23	Перший тиждень	<p><b>23. Методи нанесення функціональних покриттів.</b></p> <p>Піролітичне нанесення покриттів. Фізичне осадження з газової фази. Процеси термічного вакуумного випару й іонного розпилення матеріалів. Хімічне осадження з газової фази. Реактивне осадження з газової (парогазової або парової) фази. Функціональні покриття: <math>TiO_2</math> або <math>SnO_2</math>. Використання тетрахлоридів олова або титану або органічних хлоридів металів. «Заліковування» мікротріщин. Багатофункціональність покриттів у технології листового скла (флоат-скло).</p> <p>Вакуумне нанесення покриттів. Катодне розпилення. Використання плазми тліючого розряду. Дво- і чотириелектродний метод. Переваги й недоліки методів. Магнетронне напилювання. Можливість розпилення металевих, діелектричних і напівпровідникових матеріалів.</p>
24	Другий тиждень	<p><b>24. Енергозберігаюче скло.</b></p> <p>Параметри, що характеризують енергозберігаючі властивості низькоемісійного скла. Різновиди низькоемісійних стекол. Фізичні основи створення енергозберігаючих стекол. Механізм теплопередачі через склопакет. Тверде енергозберігаюче скло. Величина випромінювальної здатності. Ламінування й загартування. Одержання методом піролітичного осадження оксидів металів на поверхню розм'якшеного скла. Суть методу. М'яке енергозберігаюче покриття. Величина випромінювальної здатності. Магнетронне розпилення. Склопакети з енергозберігаючими стеклами. Технічні характеристики.</p>
25	Перший тиждень	<p><b>25. Самоочисне скло</b></p> <p>Можливість окиснення забруднень на склі за рахунок фотокаталітичної (ФК) дії наноструктурованого діоксиду титану. Фізико-хімія процесів окиснення органічних сполук. Продукти окиснення. Основні процеси, що протікають на фотокаталізатор. Фотоактивне випромінювання в області УФ і видимого світла. Суть ФК властивостей <math>TiO_2</math>. Попутні прояви: висока змочуваність поверхні скла (супергідрофільність), протидія запотіванню, бактерицидні та дезінфікуючі властивості. Способи одержання і нанесення на скло наноструктурованого діоксиду титану: піроліз аерозолів, золь-гель метод.</p>

26	Перший тиждень	<p><b>26. Електропровідне скло</b></p> <p>Види електропровідності діелектриків. Фактори, що впливають на електропровідність діелектриків. Види електропровідності. Електронна електропровідність. Іонна електропровідність. Електричний опір. Два види електропровідності: об'ємна і поверхнева. Питомі електричні опори. Опір струмопровідної поверхні (плівки). Схема об'ємної і поверхневої електропровідності. Окисно-олов'яне покриття. Проблема комутації електричного кола. Лінії струму при різній комутації електричного кола.</p> <p>Радіозахисні прозорі безбарвні стекла на основі оксидів олова. Необхідна умова для радіозахисту. Використання радіозахисних стекел для біологічного захисту від шкідливого випромінювання енергії надвисоких частот (НВЧ).</p>
27	Другий тиждень семестру	<p><b>27. Просвітлення оптики</b></p> <p>Просвітлення оптики — технологія обробки поверхні лінз, призм та інших оптичних деталей для зниження відбиття світла від оптичних поверхонь. Можливість збільшення світлопропускання оптичної системи. Використання у сучасних оптичних приладах просвітленої оптики. Методи зниження коефіцієнта віддзеркалення від поверхні. Використання інтерференційних покриттів. Технологія нанесення. Схема віддзеркалення променя від одношарової і двошарової пластини. Формула Френеля. Одношарове просвітлення. Умова інтерференційного просвітлення. Вимоги до товщини плівки та її показника заломлення. Недоліки одношарового покриття. Застосування багатошарових інтерференційних покриттів. Спектр коефіцієнтів віддзеркалення для багатошарової просвітлюючої плівки.</p>

### Лабораторний практикум

Метою лабораторного практикуму є закріплення теоретичних знань, отриманих на лекціях та в процесі самостійної роботи з літературними джерелами в ході вивчення навчальної дисципліни «Нові склоподібні матеріали і методи їх синтезу» Матеріал лабораторного практикуму спрямований на одержання досвіду варки стекел заданого складу і дослідження їх фізико-хімічних властивостей.

Тиж-день	Тема	Опис запланованої роботи
2		Інструктаж з техніки безпеки.
4	Дослідження залежності в'язкості склоподібних матеріалів від температури і хімічного складу	Дослідження здійснюються на віскозиметрі методом індентора. В'язкість визначається як функція трьох параметрів: геометрія робочого інструмента, навантаження й швидкість. За робочою формулою розраховується В'язкість. Робиться висновок про вплив хімічного складу на в'язкість.
6	Дослідження кристалізаційної здатності склоподібних матеріалів шляхом аналізу температур ліквідусу	Дослідження здійснюються методом політермії на лабораторній градієнтній печі. За станом дослідних зразків робиться висновок про температурний інтервал, в якому вірогідна та чи інша ступінь закристалізованості. Результати доповнюються теоретичними розрахунками.
8	Дослідження оптичних характеристик склоподібних матеріалів	Дослідження здійснюються на спектрофотометрі СФ-46. Аналізується спектр пропускання у видимому діапазоні 0,4-0,8 мкм. За одержаними результатами обчислюється коефіцієнт пропускання, оптична щільність і коефіцієнт поглинання стекел..
10	Колориметричні дослідження забарвлених	Дослідження здійснюються на спектрофотометрі СФ-46. Об'єкт дослідження – стекла, забарвлені іонними, молекулярними і



	<i>склоподібних матеріалів</i>	<i>колоїдними барвниками. Аналізується колір забарвлення</i>
12	<i>Синтез силікагелю із рідкого скла і ТЕОСу.</i>	<i>Проведення синтезу силікагелю та ТЕОСу.</i>
14	<i>Визначення питомої поверхні силікагелів</i>	<i>Визначення питомої поверхні синтезованих силікагелів по адсорбції метиленового голубого.</i>
16	<i>Одержання гранульованих зразків на основі порошку скла</i>	<i>Одержання гранульованих зразків на основі порошку скла використанням альгінату натрія</i>
18	<i>Визначення хімічної стійкості скла</i>	<i>Дослідження хімічної стійкості гранульованих зразків скла</i>

*Практичні заняття не передбачені*

## **6. Самостійна робота студента**

*Самостійна робота студента (СРС) протягом семестру включає повторення лекційного матеріалу, оформлення протоколів і звітів з лабораторного практикуму, виконання розрахункової роботи, підготовка до захисту практичних завдань та розрахункової роботи, підготовка до екзамену. Рекомендована кількість годин, яка відводиться на підготовку до зазначених видів робіт:*

<i>Вид СРС</i>	<i>Кількість годин на підготовку</i>
<i>Підготовка до аудиторних занять: повторення лекційного матеріалу, складання попередніх варіантів програм для проведення розрахунків на заняттях, оформлення звітів з лабораторних практикумів</i>	<i>6 годин на тиждень (108 годин)</i>
<i>Виконання РГР</i>	<i>10 годин</i>
<i>Підготовка до МКР (повторення матеріалу)</i>	<i>10 години</i>
<i>Підготовка до екзамену</i>	<i>22 годин</i>

## **Політика та контроль**

### **7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)**

*У звичайному режимі роботи університету лекції та лабораторні практикуми проводяться в навчальних аудиторіях. У змішаному режимі лекційні заняття проводяться через платформу дистанційного навчання Сікорський, лабораторні практикуми – у кафедральних лабораторіях. У дистанційному режимі всі заняття проводяться через платформу дистанційного навчання Сікорський. Відвідування лекцій та лабораторних практикумів є обов'язковим.*

*На початку кожної лекції проводиться опитування за матеріалами попередньої лекції із застосуванням інтерактивних засобів. Перед початком чергової теми лектор може надсилати питання із застосуванням інтерактивних засобів з метою визначення рівня обізнаності здобувачів за даною темою та підвищення зацікавленості.*

*Правила захисту лабораторних практикумів та розрахункової роботи:*

- 1. До захисту допускаються студенти, які правильно виконали розрахунки (при неправильно виконаних розрахунках їх слід усунути).*
- 2. Захист відбувається за графіком, зазначеним у п.5 за індивідуальними завданнями.*

3. Після перевірки завдання викладачем на захист виставляється загальна оцінка і робота вважається захищеною.
4. Несвоєчасні захист і виконання роботи без поважної причини штрафуються відповідно до правил призначення заохочувальних та штрафних балів.

Правила призначення заохочувальних та штрафних балів:

1. Несвоєчасне виконання лабораторного практикуму без поважної причини штрафується 1 балом;
2. Несвоєчасний захист роботи без поважної причини штрафуються 1 балом;
3. За кожний тиждень запізнення з поданням розрахункової роботи на перевірку нараховується 1 штрафний бал (але не більше 5 балів).
4. За модернізацію робіт нараховується від 1 до 6 заохочувальних балів;
5. За виконання завдань із удосконалення дидактичних матеріалів з дисципліни нараховується від 1 до 6 заохочувальних балів;
6. За активну роботу на лекції нараховується до 1 заохочувального балу (але не більше 15 балів на семестр).

Політика дедлайнів та перескладань: визначається п. 8 Положення про поточний, календарний та семестровий контроль результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського

Політика щодо академічної доброчесності: визначається політикою академічної чесності та іншими положеннями Кодексу честі університету.

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

Види контролю встановлюються відповідно до Положення про поточний, календарний та семестровий контроль результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського:

1. Поточний контроль: експрес-контроль під час читання лекцій, на лабораторних практикумах, МКР, захист РГР.
2. Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силябусу.
3. Семестровий контроль: письмовий (тестовий) екзамен.

### **Рейтингова система оцінювання результатів навчання**

1. Рейтинг студента з кредитного модуля розраховується виходячи із 100-бальної шкали, з них 60 бали складає стартова шкала. Стартовий рейтинг (протягом семестру) складається з балів, що студент отримує за:

- Експрес-контроль впродовж лекцій
- роботу з лабораторного практикуму (8 тем занять);
- написання модульної контрольної роботи (МКР);
- виконання розрахункової роботи (ДКР).

#### **2. Критерії нарахування балів:**

2.1. Три експрес-контроля впродовж лекцій. Максимальний бал за 1 контроль -6. Всього -  $6 \times 3 = 18$ .

#### 2.2. Робота з лабораторного практикуму:

- бездоганна робота – 4 балів;
- є певні недоліки у підготовці та/або виконанні роботи – 3 бали;
- є недоліки у підготовці та/або виконанні роботи – 2 – 1 бали.

Робота не виконана або не захищена – 0 балів.

Максимальний бал -  $4 \times 8 = 32$

#### 2.3. Модульний контроль.

Ваговий бал – 5 балів. Оцінювання роботи проводиться за наступною шкалою:

- повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 5-4 балів;

- достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями – 4 – 3 балів;
- неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 3 – 1 балів;
- незадовільна відповідь (не відповідає вимогам на «задовільно») – 0 балів.

#### 2.4. Розрахункова робота (РГР).

Ваговий бал – 5 балів. Оцінювання роботи проводиться за наступною шкалою:

- творчо виконана робота, виконані всі вимоги до роботи – 5-4 балів;
- роботу виконано з незначними недоліками, виконані майже всі вимоги до роботи, або є несуттєві помилки – 3-2 балів;
- роботу виконано з певними помилками, є недоліки щодо виконання вимог до роботи і певні помилки – 1 бал;
- роботу не зараховано (завдання не виконане або є грубі помилки) – 0 балів.

3. Умовою отримання позитивної оцінки з календарного контролю є виконання всіх запланованих на цей час робіт (на час календарного контролю). На першому календарному контролі студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше 10 балів. На другому календарному контролі студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше 20 балів і зарахована розрахункова робота. Максимальна сума балів, яку студент може набрати протягом семестру, складає 60 балів:

$$RC = r_{ек-кон} + r_{лаб} + r_{мкр} + r_{ргр} = 18+32+5+5= 60 \text{ балів}$$

Умовою допуску до екзамену є зарахування всіх лабораторних практикумів, написання МКР, виконання та захист розрахункової роботи та кількість рейтингових балів не менше 30.

4. На екзамені студенти виконують письмову контрольну роботу. Кожне завдання містить два теоретичних запитання (завдання) і одне практичне. Кожне запитання (завдання) оцінюється за такими критеріями:

Кожне теоретичне питання оцінюється у 13 балів, а практичне – 14 балів.

Система оцінювання теоретичних питань:

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 13–12 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації, або незначні неточності) – 12 – 10 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 10 – 8 балів;
- «незадовільно», незадовільна відповідь – 0 балів.

Система оцінювання практичного запитання:

- «відмінно», повне безпомилкове розв'язування завдання – 14–13 балів;
- «добре», повне розв'язування завдання з несуттєвими неточностями – 13 – 10 балів;
- «задовільно», завдання виконане з певними недоліками – 10 - 8 балів;
- «незадовільно», завдання не виконано – 0 балів.

Система оцінювання буде наступною:

% правильних відповідей	Бали
100 - 85	40 - 35
84 - 70	34 - 30
69 - 55	29 - 25
54 - 40	24 - 20

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
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)**

*Вимоги до оформлення розрахункової роботи, перелік запитань до МКР та екзамену наведені у Google Classroom «Нові склоподібні матеріали і методи їх синтезу*

- *» (платформа Sikorsky-distance).*
- *Перелік матеріалів, якими дозволено користуватись під час екзамену:*

#### **Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

*Робочу програму навчальної дисципліни (силабус)*

*Складено викладачами кафедри хімічної технології кераміки та скла:*

*к.т.н. Племянніковим М.М., доц., к.т.н. Яценком А.П.*

*Ухвалено кафедрою ХТКС (протокол № 13 від 14.06.2023 р.)*

*Погоджено Методичною комісією факультету (протокол № 9 від 18.05.2023 р.)*