

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

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

протокол № 9
від « 4 » травня 2024 року

Голова Вченої ради Інституту


Сергій СОЛОПАН



РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ (СИЛАБУС)

Фізико-хімічні основи фотоелектрохімії

(назва навчальної дисципліни)

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

Галузь знань: **10 Природничі науки**

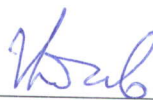
Спеціальність: **102 Хімія**

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

Робоча програма навчальної дисципліни «Фізико-хімічні основи фотоелектрохімії» - Київ, 2024. – 15 с.

РОЗРОБНИКИ РОБОЧОЇ ПРОГРАМИ:

Колбасов Геннадій Якович,
завідувач відділу ІЗНХ
ім. В.І. Вернадського НАН
України, член- кореспондент
НАН України, доктор
хімічних наук, професор


(підпис)

Воробець Віра Стефанівна,
старший науковий
співробітник ІЗНХ
ім. В.І. Вернадського НАН
України, кандидат хімічних
наук, старший науковий
співробітник


(підпис)

Погоджено із гарантом ОНП



Анатолій ОМЕЛЬЧУК

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

Вчений секретар Інституту



Людмила ЛИСЮК

1. Опис навчальної дисципліни

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

2. Мета та завдання навчальної дисципліни «Фізико-хімічні основи фотоелектрохімії»

Мета навчальної дисципліни:

- формування у аспірантів знань щодо фотоелектрохімічних властивостей напівпровідникових матеріалів, виходячи з сучасних основ фізико-хімії;
- навчання аспірантів аналітично розглядати фотоелектрохімічні процеси в досліджуваних матеріалах та системах, оперуючи основними поняттями і законами фізичної хімії та електрохімії; представляти механізми фотоелектрохімічних процесів;
- формувати у аспірантів науково обґрунтований підхід для вирішення завдань в галузі природничих наук з використанням не тільки теоретичних знань з фізичної хімії та електрохімії, але й практичних навичок, що пов'язані з застосуванням необхідних методів досліджень.

Завдання навчальної дисципліни:

Сформувати у аспірантів знання фізико-хімічних основ фотоелектрохімії, розуміння механізмів фотостимульованого переносу заряду на межі поділу напівпровідник-електроліт, виходячи з зонної структури напівпровідників, освоєння

методики аналізу спектральних залежностей фотоелектрохімічного струму та конкретні приклади процесів фотосенсибілізації широкозонних напівпровідників за допомогою барвників, освоєння методів модифікації поверхні фоточутливих напівпровідникових електродів квантовими точками металів та напівпровідників та визначення ролі модифікаторів в рекомбінаційних процесах і процесах переносу заряду, знання принципів функціонування фотоелектрохімічних систем для перетворення сонячної енергії та отримання «сонячного» водню, взаємозв'язок фотоелектрохімічних та електрокаталітичних властивостей, розуміння механізму електрохромізму.

Предмет дисципліни:

Предметом вивчення даної навчальної дисципліни є фотоелектрохімічні властивості напівпровідникових матеріалів, фотоелектрохімічні процеси в досліджуваних матеріалах та системах, механізми фотоелектрохімічних процесів на межі поділу напівпровідник-електроліт принципи функціонування фотоелектрохімічних систем для перетворення сонячної енергії та отримання «сонячного» водню.

Ця дисципліна сприяє формуванню в аспірантів широкого наукового кругозору, спрямована на розширення знань в області природничих наук. Засвоєння курсу фізико-хімічних основ фотоелектрохімії повинно сприяти ознайомленню аспірантів з пріоритетними здобутками вчених в галузі сучасної науки та техніки.

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

В рамках даної дисципліни поглиблюються і розвиваються такі компетенції:

а) Загальні компетенції (ЗК):

ЗК1, ЗК2, ЗК4, ЗК5, ЗК7.

б) спеціальні компетенції:

СК1, СК2, СК6, СК7, СК10, СК11, СК13.

Програмні результати навчання (ПРН): ПРН 2, ПРН 4, ПРН 11 ПРН 14, ПРН 15, ПРН 16, ПРН 17, ПРН 19, ПРН 20, ПРН21, ПРН23, ПРН27, ПРН28

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми аспіранти після засвоєння

даної навчальної дисципліни повинні **знати**:

- зонну будову напівпровідникових електродів;
- механізми переносу заряду через міжфазну межу розділу;
- методики аналізу спектральних залежностей фотоелектрохімічного струму та процесів електрохромізму;
- механізми фотосенсибілізації широкозонних напівпровідників;
- методи модифікації фоточутливих напівпровідникових електродів йонами металів, оксидами та графеновими структурами та роль модифікаторів в рекомбінаційних процесах та процесах переносу заряду;
- використання фотоелектрохімічних систем для перетворення сонячної енергії та отримання «сонячного» водню;
- знати місце фотоелектрохімії у сучасній фотоніці, проблеми вибору матеріалів для сонячної енергетики, принципи роботи сонячних перетворювачів всіх типів;

а також **вміти**: аналізувати дані РФА, електронної мікроскопії, спектри поглинання та фото електрохімічного струму, аналізувати механізми фотоелектрохімічних процесів на фоточутливих електродах.

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

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

Міждисциплінарні зв'язки:

Навчальна дисципліна «**Фізико-хімічні основи фотоелектрохімії**» належить до циклу дисциплін професійної підготовки аспірантів.

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

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

3. Зміст навчальної дисципліни «Фізико-хімічні основи фотоелектрохімії»

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1. ФОТОЕЛЕКТРОХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Тема 1. Фізико-хімічні аспекти класифікації та будови напівпровідників, діелектриків та металів. Зонна теорія електронної структури матеріалів.

Тема 2. Фотоперенос заряду у напівпровідниках. Типи носіїв заряду у напівпровідниках. Механізми фотопереносу заряду.

Тема 3. Спектральна фоточутливість електродів та фактори, які на неї впливають. Електрохромізм та газохромні властивості матеріалів.

Тема 4. Розширення спектральної фоточутливості напівпровідників. Методи, матеріали та вплив структури напівпровідникових матеріалів на їх фоточутливість.

Тема 5. Модифікація поверхні фотоелектродів квантовими точками металів та напівпровідників.

Тема 6. Перетворення сонячної енергії у фотоелектрохімічних системах. Методи перетворення сонячної енергії у інші види енергії з використанням фотоелектрохімічних систем.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2. ФОТОЧУТЛИВІ МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ЇХ ДОСЛІДЖЕННЯ

Тема 1. Методи дослідження структури та складу фоточутливих матеріалів.

Метод рентгенофазового аналізу. Формула Шеррера. Метод електронної мікроскопії. Метод енерго-дисперсійної рентгенівської спектроскопії.

Тема 2. Матеріали для сонячної енергетики та екологічного моніторингу.

Напівпровідникові матеріали р-типу та n-типу. Фоточутливі матеріали типу A(II)B(VI), A(III)B(V). Оксидні матеріали для фотокаталізу.

Тема 3. Методи визначення енергетичних параметрів електродів фотоелектрохімічними методами.

Аналіз спектральних залежностей фотоелектрохімічного струму. Квантовий вихід фотоелектрохімічної реакції. Ширина забороненої зони, E_g , та потенціал плоских зон, $E_{пз}$, фоточутливих напівпровідникових матеріалів. Методика визначення E_g та $E_{пз}$ із спектральних залежностей квантового виходу фотоелектрохімічного струму.

Тема 4. Використання фотоелектрохімічного методу для аналітичних цілей.

Інверсійний фотоелектрохімічний (ІФЕ) метод визначення вмісту важких металів та токсичних елементів в рідких середовищах. Сутність ІФЕ методу, основні його стадії. Вимоги до електродів та електролітів при визначенні концентрації важких металів ІФЕ методом.

4. Теми лекційних занять

№, з/п	Назва теми	Кількість годин
	Модуль 1. Фотоелектрохімічні властивості напівпровідникових матеріалів	
1	Зонна будова напівпровідникових електродів. Методи розрахунків зонної структури.	4
2	Фотоперенос заряду через міжфазну межу розділу напівпровідник-електроліт. Механізм фотопереносу заряду через міжфазну межу розділу напівпровідник-електроліт за участі поверхневих електронних станів. Основні принципи вибору барвників сенсibilізаторів та прикладу практичного використання цих систем.	4

3	Спектри фотоелектрохімічного струму та електрохромізм. Спектральні залежності фотоелектрохімічного струму та методи їх описання. Електрохромізм, вплив структури плівок на спектральну ефективність процесів забарвлення-знебарвлення.	6
4	Фотосенсибілізація широкозонних напівпровідників. Механізм фотосенсибілізації широкозонних напівпровідників. Основні принципи вибору барвників-сенсибілізаторів та приклади практичного використання цих систем.	6
5	Модифікація поверхні фотоелектродів квантовими точками металів та напівпровідників. Методи модифікації поверхні фоточутливих плівок квантовими точками металів та напівпровідників. Роль модифікаторів в рекомбінаційних процесах та процесах переносу заряду.	3
6	Перетворення сонячної енергії та отримання «сонячного» водню у фотоелектрохімічних системах. Використання напівпровідникових електродів для перетворення сонячної енергії. Фотоперетворювачі регенеративного типу, комірки Гретцеля та системи для отримання «сонячного» водню.	3
	Модуль 2. Фоточутливі матеріали та методи їх дослідження	
1	Методи дослідження структури та складу фоточутливих матеріалів. Метод рентгенофазового аналізу. Формула Шеррера. Метод електронної мікроскопії. Метод енерго-дисперсійної рентгенівської спектроскопії.	4
2	Матеріали для сонячної енергетики та екологічного моніторингу. Напівпровідникові матеріали р- та n- типів провідності. Фоточутливі матеріали типу A(II)B(VI), A(III)B(V). Оксидні матеріали для фотокаталізу.	3
3	Методи визначення енергетичних параметрів електродів фотоелектрохімічними методами. Аналіз спектральних залежностей квантового виходу фотоелектрохімічного струму. Квантовий вихід, ширина забороненої зони, E_g , потенціал плоских зон, $E_{пз}$, фоточутливих напівпровідникових матеріалів. Методика визначення E_g та $E_{пз}$ із спектральних залежностей квантового виходу фотоелектрохімічного струму.	4
4	Використання фотоелектрохімічного методу для аналітичних цілей. Інверсійний фотоелектрохімічний (ІФЕ) метод визначення вмісту важких металів та токсичних елементів в рідких середовищах. Сутність ІФЕ методу, основні його стадії. Вимоги до електродів та електролітів при визначенні концентрації важких металів ІФЕ методом.	3

5. Теми семінарських занять

Семінарські заняття не передбачені

6. Теми практичних занять

Основними цілями практичних занять є *навчитися* робити розрахунки чутливості, похибок та визначення структурних, морфологічних та фотоелектрохімічних властивостей матеріалів з використанням різних фізико-хімічних методів, а також набуття практичних умінь при використанні основних методів моніторингу та аналітичного контролю об'єктів довкілля.

№, з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Визначення природи похибок вимірювання квантового виходу фотоелектрохімічного струму. Розрахунок спектральних залежностей квантового виходу фотоелектрохімічного струму для плівкових електродів.	3
2	Методи вимірів морфології плівкових структур.	2

	Визначення ККД фотоперетворення.	
3	Аналіз спектрів фотоелектрохімічного струму та створення еквівалентної електричної схеми міжфазової межі розділу. Дослідження впливу параметрів відпалу електрохромних плівок на їх ефективність.	3
4	Методика дослідження електрохромізму та впливу структури плівок на спектральну ефективність процесів забарвлення-знебарвлення	2

7. Теми лабораторних занять

Лабораторні заняття не передбачені.

8. Самостійна робота

№, з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Методи отримання фоточутливих наночастинок. Синтез наночастинок у присутності поверхнево – активних сполук.	20
2	Енергогенеруючі та енергозберігаючі пристрої альтернативної енергетики.	20
3	Квантовий розмірний фотоефект в тонких плівках та гетероструктурах.	20
4	Взаємозв'язок та відмінності між фотокаталізом та фотоелектрокаталізом. Електродні матеріали та системи для проведення фотоелектрокаталізу (відновлення водню, синтез органічних речовин, вирішення екологічних проблем)	20
5	Синтез, будова та властивості графенових структур та фоточутливих шаруватих напівпровідникових матеріалів	20
6	Визначення морфології плівок за допомогою скануючої Вплив модифікації поверхні фоточутливих плівок квантовими точками металів та напівпровідників на їх спектральну фоточутливість. Типи фотоелектрохімічних перетворювачів та системи "сонячного" водню	20

9. Форми контролю і методи оцінювання

(у т.ч. критерії оцінювання результатів навчання)

Поточний контроль здійснюється під час проведення практичних занять і має на меті перевірку засвоєння аспірантами навчального матеріалу. Формами поточного контролю є: а) тестові завдання з вибором однієї правильної відповіді, з визначенням правильної послідовності дій, з визначенням відповідності, з визначенням певної

ділянки на фотографії чи схемі («розпізнавання»);

б) індивідуальне усне опитування, співбесіда;

в) розв'язання типових ситуаційних задач;

д) контроль практичних навичок;

Комплексне оцінювання навчальної діяльності здійснюється виставлення традиційної оцінки, яка конвертується у бали відповідно у кожному з занять, аспірант отримує на практичному занятті: оцінку «відмінно» - якщо він виконав правильно не менше 90% навчальних завдань; оцінку «добре» - якщо він виконав правильно не менше 80% навчальних завдань; оцінку «задовільно» - якщо він виконав правильно не менше 60% навчальних завдань; оцінку «незадовільно» - якщо він виконав правильно менше 60% навчальних завдань; На кінцевому етапі заняття викладач виставляє набрану суму балів і традиційну оцінку в журналі успішності.

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

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

10. Питання для підсумкового контролю дисципліни вільного вибору “Фізико-хімічні основи фотоелектрохімії”

1. Зонна будова напівпровідникових електродів. Напівпровідники n- та р-типів провідності.
2. Механізм переносу заряду через міжфазну межу. Вплив поверхневих електронних станів на процеси переносу заряду.
3. Спектральні залежності фотоелектрохімічного струму та методи їх описання.
4. Явище електрохромізму. Методи синтезу електрохромних матеріалів.
5. Вплив структури плівок на спектральну ефективність процесів забарвлення-знебарвлення. Приклади використання електрохромних матеріалів та систем.
6. Механізм фотосенсибілізації широкозонних напівпровідників. Основні принципи вибору барвників-сенсибілізаторів та приклади практичного використання цих систем.
7. Модифікація поверхні фоточутливих плівок квантовими точками металів та напівпровідників.
8. Роль модифікаторів поверхні напівпровідників в рекомбінаційних процесах та процесах переносу заряду.

9. Використання напівпровідникових електродів для перетворення сонячної енергії.
10. Фотоперетворювачі регенеративного типу, комірка Гретцеля та системи для отримання «сонячного» водню.
11. Сучасні матеріали для сонячної енергетики.
12. Сучасні напівпровідникові матеріали сонячних комірок.
13. Методи дослідження структури та складу фоточутливих матеріалів.
14. Методи визначення енергетичних параметрів електродів фотоелектрохімічними методами.
15. Інверсійний фотоелектрохімічний (ІФЕ) метод визначення вмісту важких металів та токсичних елементів в рідких середовищах.
16. Які методи використовуються для розрахунку зонної структури напівпровідникових електродів?
17. Як відбувається фотоперенос заряду через міжфазну межу розділу напівпровідник-електроліт?
18. Які поверхневі електронні стани взаємодіють у механізмі фотопереносу заряду через міжфазну межу?
19. Які принципи вибору барвників сенсibilізаторів для фотоелектрохімічних систем?
20. Як впливає структура плівок на спектральну ефективність процесів електрохромізму?
21. Які основні механізми фотосенсibilізації широкозонних напівпровідників?
22. Які барвники-сенсibilізатори використовуються у фотосенсibilізації широкозонних напівпровідників?
23. Які методи модифікації поверхні фотоелектродів за допомогою квантових точок використовуються?
24. Які ролі відіграють модифікатори у рекомбінаційних процесах та переносі заряду?
25. Як використовуються напівпровідникові електроди для перетворення сонячної енергії?
26. Що таке фотоперетворювачі регенеративного типу та комірки Гретцеля?
27. Як відбувається перетворення сонячної енергії у "сонячний" водень у фотоелектрохімічних системах?
28. Як досліджують структуру та склад фоточутливих матеріалів за допомогою рентгенофазового аналізу?
29. Які напівпровідникові матеріали типів р- та n- провідності використовуються у сонячній енергетиці?
30. Як визначають енергетичні параметри електродів фотоелектрохімічними методами?
31. Як описуються спектральні залежності фотоелектрохімічного струму?
32. Як визначається ширина забороненої зони (E_g) фоточутливих напівпровідникових матеріалів?
33. Як використовують фотоелектрохімічний метод для аналітичних цілей, зокрема для визначення вмісту важких металів?

34. Які методи дослідження взаємодії фотоелектрохімічного струму та електрохромізму застосовуються?
35. Як визначається квантовий вихід та потенціал плоских зон фоточутливих напівпровідникових матеріалів?
36. Як визначається концентрація важких металів у рідких середовищах за допомогою інверсійного фотоелектрохімічного методу?
37. Які вимоги до електродів та електролітів при визначенні концентрації важких металів за допомогою інверсійного фотоелектрохімічного методу?
38. Які матеріали використовують для сонячної енергетики та екологічного моніторингу?
39. Як досліджують енергетичні параметри електродів за допомогою електрохімічних методів?
40. Які методи модифікації поверхні фотоелектродів використовуються для підвищення ефективності фотоелектрохімічних процесів?

11. Розподіл балів

Форма для іспиту

Поточний та періодичний контроль		Підсумковий контроль (іспит)	Сума балів
Змістовий модуль №1	Змістовий модуль №2		
30	30	40	100

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для іспиту	для заліку
90-100	A	відмінно	зараховано
82-89	B	добре	
74-81	C		
64-73	D	задовільно	
60-63	E		
35-59	Fx	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
0-34	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням
		дисципліни	дисципліни

13. Рекомендована література

Основна

1. Колбасов Г.Я., Городыский А.В. Процессы фотостимулированного переноса заряда в системе полупроводник- электролит. – Киев: Наукова думка, 1993.- 192 с.
2. А.И. Крюков, А.Л. Строук, С.Я. Кучмий, В.Д. Походенко. Нанопотокатализ. – К: Академперіодика, 2013. – 619 с.
3. С.В.Волков, Є.П.Ковальчук, В.М.Огенко, О.В.Решетняк. Нанохімія, наносистеми, наноматеріали. –Київ: Наукова думка, 2008. – 424с.
4. Кузьмінський Є.В., Колбасов Г.Я., Тевтуль Я.Ю., Голуб Н.Б. Нетрадиційні електрохімічні системи перетворення енергії. – Київ: Академперіодика, 2002. –182 с.
5. C. G. Granqvist, Handbook of Inorganic Electrochromic Materials / Elsevier in Amsterdam, New York, 1995 – 633p – ISBN 10 0444899308.

Додаткова

1. C. Santato, M. Ulmann, J. Augustynski, “ Photoelectrochemical Properties of Nanostructured Tungsten Trioxide Films”, J. Phys. Chem. **B**, 105 (2001) 936-940.
2. E. Miller, R. Rocheleau, X.M. Deng, “Design Consideration for Hybrid Amorphous Silicon/Photoelectrochemical Multijunction Cell for Hydrogen Production” Int. J. of Hydrogen Energy, 28(6) (2003) 615-623.
3. S.H. Baeck, T.F. Jaramillo, E. McFarland ”Influence of composition and morphology on photo and electrochemical activity of electrodeposited Pt/WO₃” 224-th National ACS Conference proceedings, Boston, MA (2002).
4. S.H. Baeck, T.F. Jaramillo, D.H. Jeong, E. McFarland, “Parallel synthesis and characterization of photoelectrochemically and electrochromically active tungsten molybdenum oxides”, Chem. Comm., 2004, 4, 390.
5. A. Akuto, Y. Sakurai, “A photochargeable metal hydride/air battery” J. of the Elect. Soc. 2001;148(2):A121-A125.
6. Fujishima A., Honda K. Nature, 1972 ; 238 : 37-38.

7. Тягай В.А., Снитко О.В. Электроотражение света в полупроводниках. Киев: Наукова Думка, 1980.
8. Bard A.J., Photoelectrochemistry and heterogeneous photocatalysis at semiconductors. J. Photochem., 1979, vol. 10, N1, p. 59-75.
9. Энергетические ресурсы сквозь призму фотохимии и катализа. // Под ред. М. Гретцеля. – М.: Мир, 1986. – 630 с.
10. Колбасов, Г. Я. Поликластерная структура и электрохромизм плёнок оксида вольфрама/Г.Я. Колбасов, Ю.С. Краснов, С.В. Волков // Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии – 2008 – т. 6, № 3 – С. 845-853
11. Krasnov, Yu. S. Optical and kinetic properties of cathodically deposited amorphous tungsten oxide films / Yu.S. Krasnov, S.V. Volkov, G.Ya. Kolbasov // Journal of Non-Crystalline Solids – 2006 – V. 352, № 38–39 – P. 3995-4002
12. Aegerter M. A. Sol–gel niobium pentoxide: A promising material for electrochromic coatings, batteries, nanocrystalline solar cells and catalysis [Text] / M. A. Aegerter // Solar Energy Materials and Solar Cells – 2001.
13. P. Bamfield. Chromic Phenomena. The Technological Applications of Colour Chemistry / The Royal Society of Chemistry, 2001 – 375 p. – ISBN 0-8404-474-4
14. Monk, Paul M. S. Electrochromism: fundamentals and applications /, Paul M. S. Monk, R. J. Mortimer, D. R. Rosseinsky. – Weinheim ; New York ; Basel ; Cambridge ; Tokyo : VCH, 1995. – 216 p. – ISBN 3-527-29063-X.