

## Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

декан хімічного  
факультету

\_\_\_\_\_ Лявинець

О.С. \_\_\_\_\_

(підпис \_\_\_\_\_ прізвище,  
ініціали)

“\_5\_”

\_\_\_\_\_ вересня \_\_\_\_\_ 2009

## РОБОЧА ПРОГРАМА

3 спецкурсу **“Хімія напівпровідників”**  
(назва навчального предмету)

Для спеціальності 7.070301 та 8.070301 - хімія

(номер та назва спеціальності або спеціальностей)

Факультет хімічний

Кафедра неорганічної хімії

Нормативні дані Форма навчання	Курс	Семестри	Лекції (год)	Практичних (семінарських) (год)	Лабораторних (год)	Всього годин	Самостійна робота (год)	Заліки (семестр)	Екзамен (семестр)
Денна	V (спец.)	IX X	27 -	-	63 144	459		X	X
Денна	V (маг.)	IX X	27 -	-	18 96	211		X	X

**Робоча програма складена на основі** власної розробки

---

(назва типової програми, дата затвердження)

**Індекс**

**Робоча програма складена** Панчуком Олегом Ельпидефоровичем  
(прізвище, ім'я по батькові викладача, який відповідає за складання)

**Робоча програма затверджена на засіданні кафедри** неорганічної хімії,  
протокол № 1

« 27 » \_\_\_\_\_ 04 \_\_\_\_\_ 2009. **Зав. кафедрою** \_\_\_\_\_ (Фочук  
П.М.)

**Схвалено методичною комісією** хімічного факультету

протокол №

8

\_\_\_\_\_ (якою)

« 28 » \_\_\_\_\_ 04 \_\_\_\_\_ 2009 р. **Голова** \_\_\_\_\_ ( Волощук  
А.Г.)

## Загальне про магістратуру

*Присвоєння випускникові кваліфікації "магістр" означає, що він підготовлений:*

*1. До самостійного виконання професійної діяльності, у тому числі:*

*до науково-дослідної діяльності за напрямом;*

*до самостійного вирішення завдань, визначених програмою спеціалізованої підготовки;*

*до проведення педагогічної діяльності, в тому числі у вищих навчальних закладах;*

*до інших видів діяльності, визначених конкретною освітньою програмою.*

*2. До продовження навчання в аспірантурі.*

Магістр хімії має бути широко ерудований в області сучасних теоретичних концепцій різних розділів хімії, володіти методами синтезу і аналізу структури і властивостей речовини у вибраній галузі хімічної науки, володіти фундаментальними навиками науково-дослідної роботи, володіти сучасними інформаційними технологіями, методологією наукової творчості, бути підготовленим до науково-дослідної і педагогічної діяльності.

Крім того, магістр хімії повинен:

- мати уявлення про основні категорії, закони, прийоми і форми наукового пізнання, теорії і методології досліджень;

- мати основні уявлення про філософські питання природознавства і сучасні філософські проблеми природних наук;

- вільно володіти однією з іноземних мов;

- мати уявлення про моделювання властивостей речовин і реакцій на основі знання основних розділів вищої математики та законів фізики; уміти аналізувати результати математичної обробки наукових даних з метою визначення їх достовірності й області використання; мати уявлення про можливості використання сучасних інформаційних комп'ютерних технологій у хімії; знати системи збору, обробки і зберігання хімічної інформації; уміти створювати авторські і користуватися стандартними банками комп'ютерних програм і банками даних;

- мати уявлення про найбільш актуальні проблеми сучасної теоретичної і експериментальної хімії; знати принципи побудови і методологію хімічних досліджень; мати уявлення про історичні етапи розвитку хімії, найважливіші відкриття вітчизняних учених, об'єктивну необхідність виникнення нових напрямів в хімічній науці; володіти принципами побудови викладання хімії в

середній і вищій школі, мати уявлення про теоретичні і педагогічні основи управління процесом навчання.

Вимоги, обумовлені спеціалізованою підготовкою магістра.

Магістр хімії повинен:

- уміти вибрати самостійно або кваліфіковано сприймати представлену тему дослідження;
- уміти аналізувати наукову літературу з метою вибору напряму дослідження за обраною темою з використанням сучасних інформаційних технологій;
- уміти моделювати основні процеси майбутнього дослідження з метою вибору методів дослідження, наявного апаратного забезпечення або створення нових методик;
- уміти обробляти отримані результати і аналізувати їх з врахуванням наявних літературних даних;
- представляти підсумки виконаної роботи у вигляді звітів, доповідей на конференціях, наукових публікацій з використанням сучасних можливостей інформатики.

## АНОТАЦІЯ до спецкурсу “Хімія напівпровідників”

В лекційному курсі викладаються фізико-хімічні основи напівпровідникового матеріалознавства: зонна теорія, статистика електронів та дірок в нелегованих та легованих напівпровідниках, електронні ефекти (електропровідність, рухливість носіїв заряду, електропровідність, ефекти Хола, Зеебека та Пельтьє, а також оптичні явища в напівпровідниках, дифузійні процеси в них; типи діаграм стану в напівпровідникових системах, Р-Т-х-діаграми, їх проекції та перерізи; поняття про відхилення від стехіометрії в бінарних напівпровідниках; загальні характеристики (способи отримання та основні оптико-електричні властивості та застосування) найважливіших як елементарних напівпровідників, так і бінарних типу  $A^{II}B^{VI}$  та  $A^{III}B^{V}$ , їх застосування на практиці.

## Мета та завдання

Метою курсу є ознайомлення студентів – майбутніх магістрів та спеціалістів хімічного факультету з хімічними та фізичними основами матеріалознавства напівпровідників – дуже важливого класу твердих тіл. Конкретно йдеться про такі фундаментальні речі, зонна теорія, хімічний зв'язок в напівпровідниках, їх електричні та оптичні та термоелектричні характеристики (явища Зеебека та Пельтьє), процеси легування донорами та акцепторами, дифузійні явища та основи теорії квазіхімічних реакцій між дефектами в напівпровідниках: різні типи дефектів, різновиди точкових дефектів, їх роль у визначенні електричних та оптичних властивостей напівпровідників. Поглиблено в порівнянні зі нормальними курсами розглядається проблема стехіометрії в напівпровідниках, способи її регулювання та вплив на електричні властивості матеріалу. Велику увагу приділено розгляду Р-Т-х-діаграм стану напівпровідникових бінарних систем. Детально розглянуто як перерізи вказаних діаграм при сталому значення тиску, а також проекції об'ємної Р-Т-х-діаграми на площини Р-Т, Т-х та Р-х. Аналізується вплив технологічних факторів, які впливають з цієї інформації, на стехіометричні співвідношення та електричні властивості відповідних сплавів. Ці теоретичні знання підкріплюються розглядом конкретних властивостей напівпровідників, як елементарних, так і бінарних.

Завданням курсу є набуття студентами знань, вмінь та навичок, необхідних як для розширення власного кругозору та основ наукових знань, так і для тієї частини студентів, дипломні (магістерські) роботи яких так чи інакше пов'язані з напівпровідниками. Додатковим завданням є підготовка тієї частини студентів, які після закінчення університету планують знайти місце роботи на напівпровідникових підприємствах міста. З цією метою спецпрактикум з ХНП проходиться студентами 5-го курсу прямо на виробництві (ЗАТ „Ритм”), де існує філія кафедри, під керівництвом викладачів, які працюють безпосередньо на виробництві.

**ПРОГРАМА**

**СПЕЦКУРСУ**

***"ХІМІЯ НАПІВПРОВІДНИКІВ"***

для студентів 5-го курсу хімічного факультету, що спеціалізуються  
з неорганічної хімії  
(магістри та спеціалісти)

## 1. Вступ.

1.1. Хімія та фізика напівпровідників. Елементарні та складні напівпровідники. Зв'язок між їх внутрішньою будовою та властивостями. Вплив відхилення від стехіометрії та легування на властивості напівпровідників. Основні завдання хімії напівпровідників. Дослідження природи хімічного зв'язку, визначення кристалічної структури, дослідження поведінки домішок, хімія твердого тіла, роль поверхневих явищ у властивостях монокристалічних та полікристалічних напівпровідників.

## 2. Зонна теорія.

2.1. Розщеплення енергетичних рівнів електронів в атомах при утворенні твердого тіла (на прикладі натрію та силіцію). Зони: валентна, заборонена, провідності. Класифікація твердих тіл за шириною забороненої зони: метали, напівпровідники, діелектрики.

2.2. Недоліки зонної теорії. Потенціальне поле в реальній кристалічній ґратці. Розв'язок рівняння Шредингера для наближення одномірного періодичного потенціального поля. Хвильове число. Енергія електрона в К-просторі. Зони Бріллюена. Ефективна маса електронів та дірок.

## 3. Власна та домішкова провідність напівпровідників

3.1. Власна (електронно-діркова) провідність напівпровідників. Константа рівноваги власного електронного розупорядкування і її залежність від температури. Домішкова провідність в напівпровідниках. Легування германію Стібієм та Індієм. Акцепторні та донорні рівні домішок в забороненій зоні. Вплив явищ поляризації на процеси іонізації домішкових атомів в ґратці напівпровідників. Значення діелектричної сталої матеріалу та ефективної маси носіїв заряду на "радіус" та енергію іонізації атома домішки в наближенні водневоподібної моделі.

## 4. Статистика електронів та дірок в напівпровідниках

4.1. Статистика Фермі-Дірака. Функція розподілу електронів по енергіях. Рівень Фермі як хімічний потенціал в розрахунку на один електрон. Вигляд функції розподілу Фермі-Дірака при різних температурах. Відповідність рівня Фермі енергії найвищого зайнятого електронного стану. Обчислення концентрації електронів і дірок у власному напівпровіднику. Поняття "густини станів" в валентній зоні і в зоні провідності. Зв'язок цих величин з шириною забороненої зони напівпровідника та положенням в ній рівня Фермі.

4.2. Статистика носіїв заряду в напівпровіднику, легуваному донорами або акцепторами. Іонізовані та неіонізовані домішкові центри. Залежність між положенням рівня Фермі, енергією іонізації домішкового центру, густиною станів у відповідній зоні та температурою для обчислення концентрацій електронів та дірок в напівпровіднику, легуваному відповідно донорною або акцепторною домішкою.

## 5. Хімічний зв'язок в напівпровідниках.

5.1. Типи хімічного зв'язку в твердих тілах: металічний, іонний, ковалентний. Поляризаційні ефекти. Вплив на них електронегативностей елементів. Способи оцінки електронегативностей елементів. Підхід Полінга, Маллікена, Олреда-Рохова. Ефективні заряди атомів в бінарних сполуках. Співвідношення між часткою іонності

ковалентного зв'язку і проявленню напівпровідності. Критерій Музера і Пірсона проявлення напівпровідності та його недоліки.

## 6. Електрофізичні та оптичні властивості напівпровідників.

6.1. Питома електропровідність напівпровідників. Експериментальні методи їх визначення. Вплив на питому електропровідність концентрації та рухливості носіїв заряду. Розсіювання носіїв заряду на іонізованих домішках та акустичних фонах. Загальна температурна залежність рухливості носіїв заряду. Визначення термічної ширини забороненої зони вимірюванням залежності питомої електропровідності від зворотної температури. Обчислення глибини залягання донорних та акцепторних домішкових рівнів.

6.2. Оптичні властивості напівпровідників. Методика вивчення пропускання. Розрахунок коефіцієнта поглинання. Визначення краю власного поглинання і обчислення оптичної ширини забороненої зони. Температурна залежність спектральних характеристик напівпровідникових кристалів. Температурний коефіцієнт ширини забороненої зони. Причини відмінності величини забороненої зони, визначеної з оптичних і електричних вимірів.

6.3. Ефект Холла. Методика вимірювання. Визначення сталої Холла і обчислення на її основі типу і концентрації носіїв заряду в напівпровідниках. Розрахунок рухливості носіїв заряду. Явище Зеебека. Коефіцієнт термоелектрорушійної сили. Практичне значення ефекту Зеебека для визначення типу провідності матеріалу та для практики. Термоелектрична ефективність.

6.4. Явище Пельтьє в металах та напівпровідниках. Теплові ефекти при пропусканні в різних напрямках струму через р-n-перехід. Термоелектричні нагрівники та холодильники, стабілізатори температури.

6.5. Явища генерації та рекомбінації носіїв заряду в напівпровідниках. Прямий та ступінчатий механізми цих процесів. Роль пасток в забезпеченні ступінчатого механізму. Ефективний час життя. Фотопровідність. Приріст електропровідності напівпровідників при освітленні. Практичне застосування фотопровідності.

6.6. Процеси дифузії атомів в напівпровідниках, Основні закономірності. Дифузійний потік. Закони Фіка. Ефективний коефіцієнт дифузії, його розмірність. Кінетика процесів дифузії. Рівняння Арреніуса.

6.7. Математичні основи дифузії. Дві групи задач при дослідженні та технологічних процесах з напівпровідниковими матеріалами. Дифузія з постійного джерела в напівобмежене тіло, в тіло постійних розмірів. Методи визначення коефіцієнтів дифузії. Спосіб мічених атомів як найбільш ефективний для складних напівпровідників. Метод стандартної кривої для визначення ефективного коефіцієнта дифузії. Визначення енергії активації дифузії з температурної залежності коефіцієнтів дифузії.

## 7. Фізико-хімічний аналіз напівпровідникових систем.

7.1. Завдання фізико-хімічного аналізу напівпровідників. Діаграми склад-властивість. Р-Т-х-діаграми, їх проекції. Т-х-проекції, їх основні різновиди: безперервні або обмежені тверді розчини, хімічні сполуки, евтектична взаємодія. Ілюстрація на прикладах систем Ge-Si, GaSb-InSb, In-Sb.

7.2. Перерізи Р-Т-х-діаграм при різних тисках. Застосування правила фаз. Характер поведінки сплавів А-В різного складу при нагріванні. Мінімальний критичний тиск, при якому можливе конгруентне топлення кристалів АВ.

7.3. Проекції Р-Т-х-діаграм (Т-х, Р-х, Р-Т) на прикладі системи In-As. Петля трьохфазної рівноваги. Мінімальна та максимальна температура існування твердого InAs при різних

тисках. Мінімальний та максимальний тиск існування твердого InAs при різних температурах.

7.4. Відхилення від стехіометрії складних напівпровідників та мікродіаграми стану. Ширина області гомогенності та її зв'язок з тиском та концентрацією точкових дефектів в бінарному кристалі. Рівновага S-V на прикладі кадмій телуриду. Константа рівноваги сублімації CdTe. Загальний мінімальний тиск, його зв'язок з константою сублімації. Р-Т-проекція Р-Т-х-діаграми CdTe, реальні, максимальні та мінімальні тиски пари Cd (Te<sub>2</sub>) при відпалі. Розчинність домішок в CdTe, її ретроградний характер.

## 8. Властивості напівпровідникових речовин.

8.1. Хімічна класифікація елементарних напівпровідників. Елементарні напівпровідники ІІА-підгрупи. Германій, будова його кристалів, фізичні та хімічні властивості. Методи очистки германію, його застосування.

8.2. Силіцій. Будова кристалів, Основні хімічні та фізичні властивості. Електричні властивості чистого і легованого матеріалу. Способи отримання чистого і надчистого силіцію. Силіцій як основний матеріал сучасної напівпровідникової техніки.

8.3. Загальний огляд бінарних напівпровідників А(ІІ)В(V) та А(ІІ)В(УІ). Способи добування. Залежність між шириною забороненої зони, сумарним атомним номером, температурою топлення. Зв'язок між рухливістю власних носіїв заряду і різницею електронегативності складових елементів сполуки. Застосування бінарних напівпровідників.

8.4. Телурид кадмію. Т-х-діаграма. Фізичні властивості і будова кристалів. Проекції Р-Т-х-діаграми. Константа реакції сублімації CdTe (к.с.). Мінімальний тиск пари над CdTe (к.с.). Вплив відхилення від стехіометрії на електрофізичні властивості CdTe

## ЛІТЕРАТУРА.

1. О. Панчук, Конспект курсу „Хімія напівпровідників”, 2009 (електр. версія).
2. Переш Є.Ю., Різак В.М., Семрад О.О., Хімія твердого тіла в 2т. Ужгород, «Закарпаття», 2000.
3. Ropp R.C. Solid State Chemistry, Amsterdam: Elsevier, 2003.
4. Я.А. Угай, Введение в химию полупроводников. М.: Высшая школа, 1975, 302 С.
5. Н.А. Горюнова. Сложные алмазоподобные полупроводники. М.; Советское радио, 1968, 267 С.
6. Глазов В.М., Земсков В. С. Физико-химические основы легирования полупроводников. М.: Наука, 1967.
7. Гаркуша Ж.М. Основы физики полупроводников, М.; Высшая школа, 1982,
8. Зломанов В. П. Р-Т-х-диаграммы двухкомпонентных систем. М.; МГУ, 1980, 151 С.
9. Ормонт Б.Ф. Введение в физическую химию и кристаллохимию полупроводников. М.; Высшая школа, 1973, 655 С.
10. Мизецкая И. Б., Олейник Г.С., Буденная А. Д. и др. Физико-химические основы синтеза монокристаллов твердых растворов соединений А(ІІ)В(УІ). Киев, Наукова думка. 1986, 160 С.
11. Панчук О.Э. Направленное легирование полупроводников А(ІІ)В(УІ).-Дисс, на соиск. учен.ст. д.х.н. М.; МГУ, 1988, 441 С.

ПРОГРАМА СКЛАДЕНА: проф. О. Панчук.

**РЕЦЕНЗІЯ**  
на робочу програму зі спецкурсу  
"ХІМІЯ НАПІВПРОВІДНИКІВ"  
для студентів-неорганіків 5-го курсу хімічного фак-ту  
(магістри та спеціалісти)

Цей курс є завершальним спеціальним предметом, опанування яким повинно завершити формування належного комплексу знань у студента-неорганіка, щоби створити йому умови для успішного виконання дипломної роботи, а також забезпечити достатній рівень знань з технології напівпровідникових виробництв. Тому автори робочої програми ввели в неї цілий ряд теоретичних моментів з статистичної фізики (статистика Фермі-Дірака, зони Бріллюена тощо), необхідні для розрахунків концентрації носіїв заряду в напівпровідниках. Присутні також питання оптики та фізики напівпровідників, фізики твердого тіла, Р-Т-х-діаграми і таке інше. Послідовність викладення матеріалу ґрунтується на такому порядку: спочатку розглянуто теоретичні проблеми, потім наслідки для практики і врешті - застосування. Саме тому після теоретичних розділів розглядаються електропровідність н/п, їх оптичні властивості, ефекти Зеебека та Пельтьє, дифузія. На основі цього потім викладаються і обговорюються властивості елементарних та бінарних н/п. Важливим є також аналіз способів прогнозування різних властивостей цих речовин. Оскільки кафедра спеціалізується саме на телуриді кадмію, то зрозуміла увага, яка цій сполуці приділена (Р-Т-х- діаграма та її проекції, головню Р-Т-проекція).

Загалом курс виглядає досить цільним. При цьому він одночасно значно розширює коло теоретичних та практичних відомостей про різні напівпровідники та поглиблює знання специфічних характеристик телуриду кадмію, що дуже потрібне для виконання дипломних робіт і для майбутньої роботи на виробництві.

Рецензенти:

(проф. Я.Тевтуль)  
(проф. П.Фочук)

**КУРСУ "ХІМІЯ НАПІВПРОВІДНИКІВ" ДЛЯ ХІМІЧНОГО ФАКУЛЬТЕТУ  
(С/К для 5 к. – неорганіків)**

**1 Хімія напівпровідників. Шифр дисципліни -**

**2. Курс - 5, перший семестр; годин – 594, 15 год. на тиждень (3 Л, 12 Ла); 16,5 кредиту.**

**3. Вибіркова дисципліна ВНЗ**

**4. Опис:** Хімія та фізика напівпровідників. Зони: валентна, заборонена, провідності. Класифікація твердих тіл за шириною забороненої зони. Зони Бріллюена. Власна (електронно-діркова) провідність напівпровідників. Домішкова провідність в напівпровідниках. Статистика Фермі-Дірака. Статистика носіїв заряду в напівпровіднику, легованому донорами або акцепторами. Типи хімічного зв'язку в твердих тілах. Питома електропровідність напівпровідників. Оптичні властивості напівпровідників. Явище Зеебека. Коефіцієнт термоелектрорушійної сили. Явище Пельтьє в металах та напівпровідниках. Процеси дифузії атомів в напівпровідниках. Закони Фіка. Рівняння Арреніуса. Завдання фізико-хімічного аналізу напівпровідників. Діаграми склад-властивість Т-х-проекції, їх основні різновиди. Перерізи Р-Т-х-діаграм при різних тисках. Проекції Р-Т-х-діаграм Хімічна класифікація елементарних напівпровідників. Елементарні напівпровідники ІУА-підгрупи. Загальний огляд бінарних напівпровідників А(ІІІ)В(та А(ІІ)В(VI)).

**5. Рівень:** А) Попередні умови: знання технології напівпровідників, фізики.

Б) Цілі та завдання. Метою курсу є ознайомлення студентів, що спеціалізуються на кафедрі неорганічної хімії, з хімічними та (частково) фізичними основами матеріалознавства напівпровідників: статистика електронів та дірок в напівпровідниках, як зонна теорія, основні фізичні (електричні, оптичні, термоелектричні) властивості напівпровідників, процеси їх легування, дифузійні явища тощо, фазові діаграми в напівпровідникових системах. Особлива увага приділяється вивченню телуриду кадмію, який інтенсивно досліджується на кафедрі на протязі тривалого часу і є основним матеріалом, властивості якого вивчаються в рамках виконання курсових та дипломних робіт. Завданням курсу є набуття студентами знань, вмінь та навичок, необхідних для успішного виконання дипломних (для деякого в подальшому – аспірантських) робіт.

**В) Бібліографія.**

1. Переш Є.Ю., Різак В.М., Семрад О.О. Хімія твердого тіла, т.1. Ужгород: "Закарпаття", 2000.

2. Я.А.Угай. Введение в химию полупроводников. М. Высшая школа, 1975, 302 С.

**3. Глазов В.М., Земсков В. С. Физико-химические основы легирования полупроводников. М.: Наука, 1967.**

**6. Лектор:** проф., д.х.н. Панчук Олег Ельпидефорович

**7. Методи викладання та навчання:** лекції, лабораторні роботи, консультації.

**8. Оцінювання:** реферати; контрольні роботи. Залік письмовий. Іспит письмовий.

**Змістово-діяльнісна структура модулів  
навчальної дисципліни "Хімія напівпровідників"**

№№ НЕ	Назва модуля (М) або навчального елементу (НЕ)	Зміст навчального елементу	Вид Заняття та число балів		Види діяльності та поточного контролю	Кількість балів за роб.	ІНДЗ	Кількість балів за ІНДЗ	Всього балів за НЕ
			Лекц	Лабор.					
<b>Модуль 1. Основи теорії напівпровідників, фізичні їх властивості</b>			<b>14</b>						
НЕ 1.1	Вступ, основи теорії будови напівпровідників	Зонна теорія, Власна та домішкова провідність, статистика електронів та дірок в н/п	8	40 (спец.)	Лекції, Практ. роб. Контр. роб. 1	20	-	-	20
НЕ 1.2	Електричні, оптичні властив. Напівпров.	Електропровідність, Пропускання, ефекти Хола, Зеебека, Пельтьє, Дифузія.	6	48 (маг., спец.)	Лекції, Лабор. заняття Практ. заняття Контр. роб. 1	20	Рефе- рат	10	30
Всього за модуль 1 (разом з ІНДЗ)									<b>50</b>
<b>Модуль 2. Хімічна взаємодія між н/п. Основні їх типи та властивості</b>			<b>13</b>						
НЕ 2.1	Фізико-хімічний. н/п систем,	Типи діаграм стану з участю н/п; Р-Т-х-діаграми подв. систем,	8	26-маг. 38 (спец.)	Лекції, Лабор. заняття Практ. заняття Контр. роб. 2	20	-		20
НЕ 2.2	Властив. Важливих н/п: елементарних та бінарних та бінарн. спол.	Огляд н/п типів: Елементарних та бінарних типів АЗВ5 та А2В6	5	81 (спец.)	І Лекції, Лабор. заняття Практичні заняття Контр. роб №2	20	Рефе- рат	10	30
Всього за модуль 2 (разом з ІНДЗ)									<b>50</b>
Всього годин за семестр			27	207- сп 114 – магістр	Всього за семестр (разом з ІНДЗ)				<b>100</b>

**Г Р А Ф І К**  
**модульного контролю з курсу**  
**Хімія напівпровідників**

Модуль №	Зміст	Дата КР	Оголошення	Число балів	ІНД
1	Теорія п.1-5, КР-1	До 19.11	23.11.	40	Рефера
2	Теорія п.6-8, КР-2	До 4.12	7.12.	40	Рефера
Іспит	Теорія п.1-8	Січень	В день склад.	100	-

за модулі 1-2, або іспит 100 балів

Всього

**РОБОЧИЙ ПЛАН**  
**спецпрактикуму “Хімія напівпровідників”**  
**для студентів 5 к. хімічного ф-ту (магістри, спеціалісти)**  
**(кафедра неорганічної хімії)**

Номер	Зміст роботи	годин	
		Маг.	Спец.
1	Виготовлення зразків для вимірювань: Різання, шліфовка, поліровка кристалів Створення контактів термічним напиленням у вакуумі Створення контактів методом фотолітографії Перевірка омичності та адгезії контактів	8	8
		12	4
		24	4
		6	6
2	Напівпровідники з власною та домішковою провідністю (семінарське заняття)	8	8
3	Визначення ширини забороненої зони по спектру поглинання. Термічна та оптична ширина забороненої зони. Енергія іонізації (семінарське заняття)	8	8
4	Визначення типу провідності напівпровідникових матеріалів методом термозонду	4	4
5	Вимірювання питомого опору напівпровідників. Двохзондовий метод вимірювання Чотирьохзондовий метод вимірювання. Теорія методу. Вимірювання на зразках простої геометричної форми. (тонка пластинка)	8	8
		10	10
		10	
6	Вимірювання питомого опору дифузійних, епітаксійних шарів, в умовах електричної ізоляції р-n переходом, так і без ізоляції. Вимірювання поверхневого опору. Практичне використання цього параметру.	12	
7	Вимірювання часу життя неосновних носіїв заряду (н.н.з.) по спаду фотопровідності. Зв'язок між часом життя н.н.з. та довжиною дифузії	16	

8	Методи вимірювання ефекту Холла Геометрія зразків та розміщення контактів Використання постійного, змінного струму та магнітного поля Структурна схема установки для виміру Е.Д.С. Холла при змінних струмах та магнітних полях	8	8
		8	8
		14	14
9	Практичне заняття. Розрахунок параметрів дифузійних шарів: поверхнева концентрація домішки, загальна кількість атомів внесена при дифузії з необмеженого джерела, розподіл концентрації при дифузії з обмеженого джерела, глибина р-n переходу. Вихідні дані: поверхневий опір (студенти вимірюють самостійно) режими технологічного процесу (надаються викладачем).	24	24
10	Оптимізація травильних композицій для обробки поверхні монокристалічного кремнію. Семінар та практичне заняття.	8	
11	Загальні принципи процесу травлення монокристалічних пластин	8	

	<b>кремнію. Семінар та практичне заняття.</b>		
<b>12</b>	<b>Практичне застосування CdTe, CdZnTe для детекторів X та Y – випромінювання. Семінарське заняття.</b>	<b>8</b>	
	<b>Всього годин</b>	<b>207</b>	<b>114</b>

## СПЕЦКУРС “ХІМІЯ НАПІВПРОВІДНИКІВ”

### Перелік знань та умінь

Студент повинен знати: основи зонної теорії, розуміти природу донорних та акцепторних домішок, формули для обчислення концентрації носіїв заряду, способи визначення оптичних та електричних характеристик напівпровідників, в т.ч. ширини забороненої зони, методи обчислення температурної залежності коефіцієнтів дифузії домішок, основні типи діаграм стану напівпровідникових систем, поняття області гомогенності бінарного напівпровідника, властивості головних елементарних та бінарних напівпровідників, зокрема CdTe.

Студент повинен вміти: оцінювати тип твердого тіла за шириною забороненої зони, знати способи визначення термічної та оптичної ширини забороненої зони в напівпровідниках, пояснити різні температурні залежності рухливості носіїв заряду, розраховувати концентрацію, рухливість та тип носіїв заряду за результатами вимірів електропровідності та ефекту Хола, прогнозувати термічні ефекти з врахуванням явища Пельтьє, оцінювати механізм дифузії за її енергією активації, прогнозувати зміну ширини забороненої зони, рухливості носіїв заряду та температури топлення в ряду елементарних чи бінарних напівпровідників-аналогів як функцію сумарного порядкового номера бінарного матеріалу.

## Робочий план лекцій з курсу „Хімія напівпровідників”

№ теми програми	Короткий зміст	Число годин
1	Вступ. Хімія та фізика напівпровідників	1
2	Зонна теорія, зони Бріллоена	2
3	Власна та домішкова провідність напівпровідників	2
4	Статистика електронів та дірок в напівпровідниках	2
5	Хімічний зв'язок в напівпровідниках	2
6.1	Питома електропровідність напівпровідників. Експериментальні методи їх визначення.	2
6.2	Оптичні властивості напівпровідників. Методика вивчення пропускання. Розрахунок коефіцієнта поглинання .	2
6.3-6.5	Ефект Холла. Явище Пельтьє. Фотопровідність.	2
6.6-6.7	Процеси дифузії атомів в напівпровідниках Математичні основи дифузії	2
7.1-7.4	Фізико-хімічний аналіз напівпровідникових систем. Перерізи Р-Т-х-діаграм при різних тисках. Проекції Р-Т-х-діаграм. Відхилення від стехіометрії складних напівпровідників	4
8.1-2	Властивості напівпровідникових речовин. Елементарні напівпровідники ІІА-підгрупи	2
8.3	Загальний огляд бінарних напівпровідників А(ІІІ)В(V) та А(ІІ)В(VІ).	2
8.4	Телурид кадмію. Т-х-діаграма. Фізичні властивості і будова кристалів. Проекції Р-Т-х діаграми.	2

## Завдання на самостійну роботу

Робочим планом лекцій передбачено вичитування повної програми. В якості самостійної роботи студентам пропонується підготовка до лабораторних робіт та вивчення лекційного матеріалу. В якості ІНДЗ студентам пропонується дослідження літератури (з використанням інформації, почерпнутої з Інтернету) і написання наукового реферату з питань, які стосуються основних питань програми курсу.

### КРИТЕРІЙ ОЦІНОК при складанні іспиту зі спецкурсу “Хімія напівпровідників”

1. Кожне з 5-и питань КР оцінене певною кількістю балів, загальна їх сума складає 1000 балів = 20 балам ECTS .
2. Оцінки відповідають таким кількостям набраних балів: “відмінно” – 90% або  $\geq 90$  балів; “добре” - 75% або  $\geq 75$  балів; “задовільно” – 60% або  $\geq 60$  балів.
3. Кількість балів, яка нараховується за питання, визначається таким чином: Якщо на питання дана лише правильна відповідь (типу так/ні, або вказаний правильний варіант з альтернативних відповідей) і ніяких пояснень немає – то нараховується лише 50% від числа балів за це питання. Якщо додатково є певні, але неповні пояснення до відповіді – то 75%. Лише коли правильна відповідь супроводжується вичерпними поясненнями, тоді нараховується всі 100% балів за питання.

### ОСНОВНА ЛІТЕРАТУРА до курсу „Хімія напівпровідників”.

#### Основна:

1. Крегер Ф. Химия несовершенных кристаллов. М.: Мир, 1968, 654 С,
2. О. Панчук, Конспект курсу „Хімія напівпровідників”, 2009 (електр.версія).  
Додаткова:
  1. Переш Є.Ю., Різак В.М., Семрад О.О. Хімія твердого тіла, т.1-2. Ужгород: “Закарпаття”, 2000
  2. Болтакс Б.И.. Диффузия и точечные дефекты в полупроводниках. М.:Наука, 1972, 384 с.
  3. В.М. Глазов, В.С. Земсков, Физико-химические основы легирования полупроводников., М.: Наука, 1967.
  4. Р.Смит Полупроводники. М.: Изд. иностранной литературы, 1962
  5. А.В.Савицкий, Получение и физические свойства теллурида кадмия, Киев, 1990.
  6. И.Б. Мизецкая, Г.С. Олейник, Л.Д. Буденная, В.Н. Томашик, Н.Д. Олейник, Физико-химические основы синтеза монокристаллов твердых растворов соединений  $A^{II}B^{VI}$ , Киев, Наукова Думка, 1986.
  7. «Химическая связь в полупроводниках», Сборник статей, Минск, «Наука и техника», 1969.