Силабус освітнього компонента
Програма навчальної дисципліни

АТОМНА ДИФУЗІЯ В ТВЕРДИХ ТІЛАХ

Шифр та назва спеціальності
105 - Прикладна фізика та наноматеріали

Інститут
ННІ Комп'ютерного моделювання, прикладної фізики та математики

Освітня програма
Прикладна фізика та наноматеріали для енергетики, медицини, радіоелектроніки та телекомунікацій

Кафедра
фізики металів та напівпровідників (165)

Рівень освіти
Бакалавр

Тип дисципліни
Вибіркова

Семестр
5

Мова викладання
Українська

Викладачі, розробники

Зубарєв Євгеній Миколайович

enzubarev@gmail.com
Доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри фізики металів та напівпровідників НТУ «ХПІ».

Досвід роботи – 42 роки. Автор понад 180 наукових та навчально-методичних праць. Провідний лектор з дисциплін: «Атомна дифузія в твердих тілах», «Фізичні властивості матеріалів », «Електронографія», «Радіаційна стійкість матеріалів», «Рентгено-флуоресцентний аналіз». Сфера наукових інтересів електронна мікроскопія, рентгено-структурний аналіз, рентгенівська оптика, дифузія та фазові перетворення в нанорозмірних плівкових системах.
Детальніше про викладача на сайті кафедри

Загальна інформація

Анотація

В даному курсі студенти вивчають основні дифузійні явища в твердих тілах. Знання цих явищ важливо для розуміння змін, які відбуваються в твердих тілах при підвищених температурах при наближенні термодинамічної системи до рівноваги. Процеси дифузії атомів в більшості випадках визначають кінетику процесів і лежать в основі термообробки матеріалів; корозії металів; виробництві активних елементів сучасної мікро- і наноелектроніки; створенні нових функціональних наноматеріалів. Для детального дослідження цих процесів необхідні глибокі уявлення про атомну дифузію в твердих тілах. Даний курс призначений для студентів фізичних, інженерно – технічних спеціальностей 10 галузі знань – «природничі науки».

Мета та цілі дисципліни

Мета вивчення та засвоєння матеріалу з навчальної дисципліни полягає в формуванні у студентів основних понять про природу дифузійних явищ в твердих тіла, таких як рушійні сили дифузії, типи та механізми дифузії, явища в дифузійній зоні, зв’язок дифузії та фазоутворення з діаграмами фазової рівноваги, методи визначення коефіцієнтів дифузії та енергетичних характеристик дифузії, точкові дефекти та їх енергетичні характеристики. Вивчення цього курсу забезпечує професійну підготовку в галузі фундаментальних основ фізики твердого тіла. Знання дисципліни є теоретичною основою для: - розробки нових технологій створення і обробки матеріалів з особливими властивостями..

Формат занять

Лекції, лабораторні роботи, самостійна робота, консультації. Підсумковий контроль – залік.

Компетентності

1. ЗК1. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
2. ЗК2. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.
3. ЗК7. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.
4. СК2. Здатність брати участь у плануванні і виконанні експериментів та лабораторних досліджень властивостей фізичних систем, фізичних явищ і процесів, обробленні й презентації їхніх результатів.
5. СК3. Здатність брати участь у виготовленні експериментальних зразків, інших об'єктів дослідження.
6. СК7. Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання в професійній діяльності.
7. СК8. Здатність працювати в колективах виконавців, у тому числі в міждисциплінарних проектах.

Результати навчання

Р01. Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв’язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики.
Р03. Застосовувати ефективні технології, інструменти та методи експериментального дослідження властивостей речовин і матеріалів, включаючи наноматеріали, при розв’язанні практичних проблем прикладної фізики.
Р04. Застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів і наукоємних технологій.
Р11. Знати цілі сталого розвитку та можливості своєї професійної сфери для їх досягнення, в тому числі в Україні.
Р12. Розуміти закономірності розвитку прикладної фізики, її місце в розвитку техніки, технологій і суспільства, у тому числі в розв'язанні екологічних проблем.
.

Обсяг дисципліни

Загальний обсяг дисципліни 90 год. (3 кредити ECTS): лекції – 32 год., практичні роботи – 16 год., самостійна робота – 72 год.

Передумови вивчення дисципліни (пререквізити)

Для успішного проходження курсу необхідно знати основні поняття з курсів: вища математика, загальна фізика, кристалографія, фізика та хімія фазових перетворень, теорія конденсованого стану, вміти будувати та обробляти експериментальні графіки за допомогою математичного пакету Origin (Learning Edition FREE).

Особливості дисципліни, методи та технології навчання

В рамках даної дисципліни студенти виконують індивідуальне домашнє завдання (ІДЗ).

Програма навчальної дисципліни

Теми лекційних занять

Тема 1. Вступ

Сучасний стан фізики дифузії. Опис дифузійного експерименту. Основні етапи розвитку фізики дифузії. Термодинамічний і кінетичний аспекти дифузійного переміщення атомів. Поняття термодинамічної рівноваги. Самодифузія, гетеродифузія. Об'ємна, дифузія по межах зерен і поверхнева дифузія. Висхідна дифузія. Електродифузія.

Тема 2. Рівняння дифузії і їх розв'язання

Виведення 1-го і 2-го рівнянь Фіка Друга підтема. Дифузія з нескінченно тонкого шару. Методика визначення коефіцієнту дифузії по схемі дифузії з нескінченно тонкого шару. Температурна залежність коефіцієнту дифузії. Нормальна і аномальна дифузія. Дифузія з двох напівнескінченних циліндрів. Розв'язання дифузійного рівняння методом Больцмана-Матано. Анізотропія коефіцієнту дифузії у твердих тілах.

Тема 3. Парціальні коефіцієнти дифузії

Експеримент Кіркендала. Методика Даркена визначення парціальних коефіцієнтів дифузії у бінарних сплавах. Нерівноважні вакансії і їх хімічний потенціал. Ефект Кіркендала. Ефект Френкеля. Основні положення теорії Онзагера.

Тема 4. Дифузія і випадкові блукання атомів

Теорія випадкових блукань. Хаотична і нехаотична дифузія. Механізми атомної дифузії у твердих тілах: міжвузловий, вакансійний, парний обмін, витиснення, краудіонний та кільцевий.

Тема 5. Визначення коефіцієнту дифузії по вакансійному механізму

Обчислення концентрації рівноважних вакансій в твердих тілах. Конфігураційна ентропія і ентропія змішування. Обчислення імовірності обміну атома з вакансією. Визначення коефіцієнту самодифузії в металах за вакансійним механізмом дифузії. Джерела і стоки вакансій. Теоретичні моделі розрахунку коефіцієнту дифузії. Бівакансії та інші точкові дефекти.

Тема 6. Методи визначення рівноважної концентрації та енергетичних характеристик точкових дефектів

Дилатометричний метод. Метод електроопору. Метод електронно-позітронної анігіляції. Метод внутрішнього тертя. Визначення коефіцієнту дифузії в металах за міжвузловинним механізмом дифузії.

Тема 7. Дифузія по дефектах кристалічної будови

Дифузія по дислокаціям. Дифузія по границям зерен. Дифузія по поверхні твердого тіла.

Тема 8. Дифузія в бінарних сплавах

Взаємозв'язок дифузії з діаграмою фазової рівноваги сплавів. Будова дифузійного простору для фазових діаграм різного типу.

Тема 9. Реакційна дифузія в бінарних сплавах.

Питання про утворення першої фази на міжфазних межах розподілу в бінарних системах. Правило Бене-Вольсера. Формування силіцидних фаз на міжфазних межах розподілу метал-кремній. Використання силіцидів металів в сучасних нанотехнологіях.

Теми практичних занять

Тема 1. Розв'язання задач по схемі дифузії з нескінченно тонкого шару.

Тема 2. Визначення області застосування рішення по схемі дифузії з нескінченно тонкого шару.

Тема 3. Розв'язання задач по схемі дифузії з двох напівнескінченних циліндрів.

Тема 4. Рішення дифузійних задач методом Больцмана-Матано.

Тема 5. Обчислювання коефіцієнтів самодифузії в металах при різних температурах.

Тема 6. Сучасні методи дослідження фазоутворення на міжфазних межах розподілу багатошарових періодичних структур.

Тема 7. Розрахунок хімічних реакцій в багатошарових тонко плівкових композиціях метал-кремній.

Тема 8. Визначення енергії активації дифузії у багатошарових періодичних композиціях молібден-кремній і скандій-кремній.

Теми лабораторних робіт

немає

Самостійна робота

Студенти самостійно опрацьовують лекційний матеріал, а також самостійно вивчають теми та питання, які не викладаються на лекційних заняттях. Студенти готуються до контрольних робіт, самостійно оформлюють лабораторні роботи і готуються до їх здавання викладачу.
В рамках даної дисципліни студенти виконують індивідуальне домашнє завдання по реакційній дифузії в багатошарових періодичних покриттях метал-кремній. Студенти самостійно визначають тип силіциду, який утворюється на міжфазних межах поділу, будують кінетичні криві, визначають коефіцієнти дифузії, будують графіки Ареніуса , визначають енергетичні характеристики дифузійного процесу та визначають механізм дифузії. Індивідуальні домашні завдання студенти оформлюють у вигляді звіту по встановленим правилам.

Література та навчальні матеріали

Основна:

1. Paul G. Shewmon. Diffusion in solids. –New York: McGraw-Hill Book Company, Inc., 1966.-196 p.
2. В.В. Богданов. Дифузія в кристалах: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. – Х.:ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2006. – 232 с.
3. L. F. Girifalko. Statistical Phisics of Matrials. –New York: Wiley, 1973. – 384 p.
4. J. M. Poate, K. N Tu., J. W. Mager (Eds.). Thin Pilms-Interdiffusion and Reactions. – New York: Wiley, 1978. – 298 p.
5. S. P. Murarka. Silicides for VLSK Applications. – New York: Academic Press, 1983. – 176 p.

Додаткова:

6. Ю. М. Поплавко. Фізика твердого тіла : підручник. В 2-х томах. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – Том 1: Структура, квазічастинки, метали, магнетики. – 415 с.

Система оцінювання

Критерії оцінювання успішності студента та розподіл балів

100% підсумкової оцінки складаються з результатів оцінювання у вигляді заліку (40%) та поточного оцінювання (60%).
Залік: письмове завдання (3 запитання) та усна доповідь.
Поточне оцінювання: 2 онлайн тести (по 10%), практична робота (20%), ІДЗ (20%),

Шкала оцінювання

Сума балів	Національна оцінка	ECTS
90–100	Відмінно	A
82–89	Добре	B
75–81	Добре	C
64–74	Задовільно	D
60–63	Задовільно	E
35–59	Незадовільно (потрібне додаткове вивчення)	FX
1–34	Незадовільно (потрібне повторне вивчення)	F

Норми академічної етики і політика курсу

Студент повинен дотримуватися «Кодексу етики академічних взаємовідносин та доброчесності НТУ «ХПІ»: виявляти дисциплінованість, вихованість, доброзичливість, чесність, відповідальність. Конфліктні ситуації повинні відкрито обговорюватися в навчальних групах з викладачем, а при неможливості вирішення конфлікту – доводитися до відома співробітників дирекції інституту. Нормативно-правове забезпечення впровадження принципів академічної доброчесності НТУ «ХПІ» розміщено на сайті: http://blogs.kpi.kharkov.ua/v2/nv/akademichna-dobrochesnist/

Погодження

Силабус погоджено

Завідувач кафедри
Сергій МАЛИХІН

Гарант ОП
Сергій КОЗЛОВ