



Надійність та випробування мікросхем

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	15 Автоматизація та приладобудування
Спеціальність	153 Мікро- та наносистемна техніка
Освітня програма	Мікро- та наноелектроніка
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	очна(денна)
Рік підготовки, семестр	3 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	4 кредити (120 годин)
Семестровий контроль/ контрольні заходи	залік
Розклад занять	http://roz.kpi.ua/
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор, практичні: к.т.н., Королевич Любомир Миколайович, l.korolevych-me@iit.kpi.ua, +38(066)-987-06-10
Розміщення курсу	Код Google Classroom: urwyz3m

Програма навчальної дисципліни

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

Мета навчальної дисципліни формування у студентів здатностей:

- оцінювати ймовірнісні показники надійності та розраховувати її для відновлюваних та невідновлюваних систем;
- вирішувати проблеми надійності на засадах нерівноважної термодинаміки та кінетики фізичних та хімічних перетворень;
- самостійно розробляти моделі процесів деградації технічних об'єктів на основі детерміністського підходу;
- розробляти заходи щодо підвищення надійності сучасних електронних виробів.

Основні завдання навчальної дисципліни:

- дати знання з ймовірнісного підходу до вирішення проблем надійності невідновлювальних та відновлювальних, нерезервованих та резервованих систем; детерміністського підходу до вирішення проблем надійності на засадах нерівноважної термодинаміки та кінетики фізичних та хімічних перетворень;
- виробити уміння розраховувати показники надійності систем різної структури за різних законів розподілу відмов і відновлень; розраховувати надійність невідновлювальних та відновлювальних виробів за основного та резервного з'єднання елементів; оцінювати надійність виробів за даними про їх відмови, отримані за результатами випробувань або експлуатації; визначати основні механізми старіння та відмови технічних об'єктів та умови їх протікання; встановлювати для основних механізмів старіння зв'язок параметрів надійності з характеристиками матеріалу та умовами зберігання, транспортування та експлуатації; визначати руйнівні та неруйнівні методи оцінки технічного стану напівпровідникових виробів; визначати конструкторські та

технологічні заходи по підвищенню надійності напівпровідникових приладів на стадіях проектування та виробництва.

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

Для успішного вивчення даної дисципліни студенти мають засвоїти наступні дисципліни (**пререквізити дисципліни**):

- Фізик;
- Фізика конденсованого стану;

Результати навчання даної дисципліни використовуються для вивчення наступних дисциплін (**постреквізити дисципліни**):

- Сучасні напівпровідникові матеріали;
- Функціональні діелектрики в електроніці;
- Конструювання електронних приладів і пристроїв;
- Переддипломна практика та дипломне проектування.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Елементи ймовірностної теорії надійності

Тема 1.1. Основні категорії та визначення теорії надійності

Тема 1.2. Характеристики надійності за раптових відмов

Тема 1.3. Закони розподілу випадкових величин за аналізу надійності виробів електроніки

Тема 1.4. Аналіз структурних схем надійності радіоелектронних виробів

Тема 1.5. Резервування радіоелектронних систем

Тема 1.6. Надійність відновлювальних радіоелектронних виробів

Розділ 2. Старіння як термодинамічний процес

Тема 2.1. Основні поняття термодинаміки

Тема 2.2. Кінетичне рівняння нерівноважної термодинаміки

Розділ 3. Механізми старіння, які пов'язані із перерозподілом речовини

Тема 3.1. Дифузійний механізм старіння

Тема 3.2. Електродифузійний механізм старіння

Тема 3.3. Термодифузійний механізм старіння

Тема 3.4. Бародифузійний механізм старіння

Розділ 4. Хімічна природа старіння

Тема 4.1. Основні положення теорії хімічних перетворень

Тема 4.2. Кінетика хімічних перетворень

Тема 4.3. Електрохімічна корозія

Тема 4.4. Деструкція полімерних пасивуючих та герметизуючих матеріалів

Розділ 5. Руйнування твердого тіла під впливом механічної напруги

Тема 5.1. Термофлуктуаційна природа руйнування твердого тіла

Тема 5.2. Кінетика руйнування твердого тіла

Розділ 6. Технічна діагностика

Тема 6.1. Локальні методи неруйнівної діагностики

Тема 6.2. Інтегральні методи діагностики

Тема 6.3. Руйнівні методи діагностики

Розділ 7. Конструкторське-технологічне забезпечення надійності напівпровідникових виробів

Тема 7.1. Підвищення стійкості виробів до перерозподілу речовини у матеріалах

Тема 7.2. Підвищення стійкості виробів до механічних навантажень

Тема 7.3. Корозійний захист виробів

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література:

1. Фізичні основи надійності: Конспект лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня магістра за освітньою програмою «Мікро- та наноелектроніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Ю. В. Діденко, Д. Д. Татарчук, О. В. Бакунцев. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,73 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 176 с.
2. Вишнівський В. В. Основи надійності та діагностики телекомунікаційних і радіотехнічних систем. Конспект лекцій / В. В. Вишнівський. – Київ : ННІТІ ДУТ, 2015. – 142 с.

Додаткові матеріали та ресурси:

1. Driel W. D. Reliability of Organic Compounds in Microelectronics and Optoelectronics. From Physics-of-Failure to Physics-of-Degradation / Willem Dirk van Driel, Maryam Yazdan Mehr. – Springer Cham, 2022. – 550 p.
2. Swingler J. Reliability Characterisation of Electrical and Electronic Systems / Jonathan Swingler. – Woodhead Publishing, 2015. – 274 p.
3. Черв'яков В. Д. Основи надійності об'єктів системотехніки: навч. посіб. / В. Д. Черв'яков, А. В. Павлов, О. Ю. Журавльов. – Суми: Сумський державний університет, 2011. – 245 с.
4. Ohring M. Reliability and Failure of Electronic Materials and Devices / Milton Ohring, Lucian Kasprzak. – Academic Press, 2014. – 758 p.
5. Крилик, Л. В. Надійність та стандартизація приладів мікро- і наноелектроніки : навчальний посібник / Л. В. Крилик, О. О. Селецька ; ВНТУ. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 132 с.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття:

1. **Основні категорії та визначення теорії надійності.** Якість, надійність, роботоздатність, відмова. **Характеристики надійності за раптових відмов.** Одиничні та комплексні показники надійності, їх визначення та взаємозв'язок.
2. **Закони розподілу випадкових величин за аналізу надійності виробів електроніки.** Біномний, експоненційний та нормальний розподіли, розподіли Пуассона, Вейбулла та Релея, гамма-розподіл. Аналіз структурних схем надійності радіоелектронних виробів. Послідовна та паралельна моделі надійності.
3. **Резервування радіоелектронних систем.** Види резервування. Загальне, поелементне та змішане резервування. Надійність відновлювальних радіоелектронних виробів. Оцінювання надійності нерезервованих: відновлюваної системи, відновлюваної двома способами системи, відновлюваної системи з двох блоків. Оцінювання надійності

резервованих: відновлюваної системи з ненавантаженим резервом, відновлюваної системи з навантаженим резервом.

4. **Основні поняття термодинаміки.** Термодинамічні системи, їх класифікація. Зовнішні та внутрішні параметри системи. Стан термодинамічної рівноваги. Термодинамічні процеси, їх класифікація. Умови протікання термодинамічних процесів. Вплив зовнішніх факторів на ймовірність термодинамічних процесів.
5. **Кінетичне рівняння нерівноважної термодинаміки.** Умови нерівноваги термодинамічної системи. Виробництво ентропії. Термодинамічні сили та споріднені потоки енергії та речовини. Рівняння Онзагера. Природа термодинамічних сил. Потоки речовини та енергії та їх зв'язок із силовими полями. Примусові потоки у зовнішніх полях.
6. **Дифузійний механізм старіння.** Умови протікання механізму. Рівняння вільної дифузії. Стала часу процесу дифузії. Вплив природи матеріалу виробу та умов його експлуатації на сталу часу процесу.
7. **Електродифузійний механізм старіння.** Необхідні та достатні умови для електродифузійного механізму старіння. Загальне рішення рівняння примусової дифузії. Вплив граничних умов на рішення. Старіння діелектриків. Стала часу примусової дифузії в слабких та сильних електричних полях. Зв'язок сталої часу з умовами експлуатації та природою діелектрика.
8. **Електродифузійний механізм старіння.** Старіння провідників. Природа рушійної сили масопереносу у металах. Ефективний заряд утягнення. Стала часу процесу старіння, її зв'язок із параметрами металу та умовами експлуатації. Старіння напівпровідникових структур під струмом. Рівноважні тверді розчини. Розпад розчинів під впливом постійного струму.
9. **Термодифузійний механізм старіння.** Потоки речовини в теплових полях. Умови старіння. Напрямки переносу речовини, вплив природи матеріалу. Стала часу процесу старіння. Особливості електродифузійного старіння провідників у теплових полях. Вплив значення струму на сталу часу старіння.
10. **Бародифузійний механізм старіння.** Перенос речовини у полі механічних напружень. Вплив напружень на дифузію речовини. Стала часу процесу старіння.
11. **Основні положення теорії хімічних перетворень.** Класифікація хімічних перетворень. Основи теорії активних зіткнень. Енергія активації хімічної реакції. Хід реакції.
12. **Кінетика хімічних перетворень.** Кінетика необоротних перетворень. Визначення миті відмови, її зв'язок з природою перетворень та умовами протікання. Каталітичні процеси. Хід та енергія активації каталізу. Вплив каталізаторів на строк роботи виробів. Кінетика оборотних процесів.
13. **Кінетика хімічних перетворень.** Швидкість прямих та зворотних переходів. Стан рівноваги. Вплив температури на швидкість ендо- та екзо-термічних процесів. Кінетика гетерогенних перетворень. Основні стадії. Області протікання. Вплив зовнішніх умов на область протікання. Швидкість гетерогенних перетворень у різних областях протікання.
14. **Електрохімічна корозія.** Умови протікання електрохімічної корозії. Типи та рушійні сили корозійних елементів. Кінетика корозії. Вплив зовнішніх факторів та природи металу на швидкість корозії.
15. **Термофлуктуаційна природа руйнування твердого тіла.** Флуктуації енергії у твердому тілі та ймовірність розриву міжатомного зв'язку. Роль механічних напружень у накопиченні розірваних зв'язків. Концентратори механічних напружень. Рівняння Журкова. Вплив природи та структури матеріалу на термін служби навантаженого твердого тіла. Вплив характеру навантаження на руйнацію твердого тіла. Особливості механічного руйнування полімерів. **Кінетика руйнування твердого тіла.** Стадії руйнування твердого тіла. Теорія Гриффітса та ріст тріщин руйнування. Роль поверхнево активних речовин у руйнації.

16. **Локальні методи неруйнівної діагностики.** Методи реєстрації внутрішніх електромагнітних полів матеріалу виробу: теплова, магнітна та електромагнітна дефектоскопія. Методи дефектоскопії по реакції виробу на випромінювання: акустична, радіохвильова, радіаційна та капілярна дефектоскопія.
17. **Інтегральні методи діагностики.** Елементи теорії розпізнання образів. Інформативні параметри виробів, методи їх пошуку. Діагностика резисторів, конденсаторів. Інформативні параметри та діагностика діодів, транзисторів та мікросхем. **Руйнівні методи діагностики.** Методи виявлення потенційно ненадійних виробів. Термообробки, термообробки з електричними полями, механічні та кліматичні випробування.

18. Залік.

Практичні заняття:

1. Одиничні показники надійності, їх взаємозв'язок
2. Закони розподілу випадкових величин за аналізу надійності виробів електроніки. Розрахунок показники надійності систем за різних законів розподілу відмов.
3. Аналіз структурних схем надійності радіоелектронних виробів. Розрахунок ймовірності безвідмовної роботи системи за її еквівалентною надійнісною схемою.
4. Резервування радіоелектронних систем. Розрахунок надійності виробів за основного та резервного з'єднання елементів.
5. Надійність відновлювальних радіоелектронних виробів. Розрахунок надійності невідновлювальних та відновлювальних виробів.
6. Хімічна природа старіння. Дослідження оборотних хімічних перетворень.
7. Хімічна природа старіння. Визначення області протікання гетерогенного процесу.
8. Механічне руйнування твердого тіла. Дослідження впливу характеру навантаження, природи та структури матеріалу на руйнування металу.
9. Захист практичних робіт.

6. Самостійна робота здобувача вищої освіти

Розрахунково-графічна робота. Для стимуляції самостійної роботи студентів і заохочення їх до самовдосконалення в дисципліні передбачено в якості індивідуального завдання розрахунково-графічна робота. В роботі необхідно розрахувати вплив природи матеріалу та зовнішніх чинників на сталу часу процесу старіння матеріалів. На виконання завдання передбачено 30 годин самостійної роботи.

Також **на самостійну роботу винесено** вивчення наступного теоретичного матеріалу:

- Деструкція полімерних та герметизуючих матеріалів – 4 години;
- Підвищення стійкості виробів до перерозподілу речовини у матеріалах – 4 години;
- Підвищення стійкості виробів до механічних навантажень – 4 години
- Корозійний захист виробів – 4 години;
- Підготовка до заліку – 20 годин.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Виконання всіх завдань є обов'язковою умовою допуску до заліку.

Перед практичними заняттями необхідно попередньо ознайомитись із завданням на дане заняття.

Розрахунково-графічна робота має бути захищена. На захист має бути пред'явлена виконана робота, оформлена згідно вимог ДСТУ 3008-2015. Процедура захисту складається з відповідей на запитання викладача за темою роботи. За неправильні відповіді або неправильне

оформлення роботи оцінка знижується згідно вимог PCO. За умови неправильної відповіді більш ніж на третину запитань захист не зараховується.

З метою контролю процесу засвоєння учбового матеріалу у курсі передбачено дві модульні контрольні роботи. Перша робота за матеріалом розділів 1...3, друга за матеріалом розділів 4-6. Оцінювання контрольних робіт здійснюється згідно рейтингової системи. За неправильні відповіді бали не зараховуються, за неточні або не повні відповіді бали знижуються.

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

Поточний контроль: МКР, РГР.

Календарний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силябусу (відповідно до діючого положення в КПІ ім. Ігоря Сікорського).

Семестровий контроль: залік, студент, який набрав не менше 60 рейтингових балів має можливість отримати оцінку "автоматом" відповідно до таблиці п.8.2.

Умови допуску до семестрового контролю: виконання всіх практичних робіт, РГР та отримання 40 балів рейтингу.

8.1. Система рейтингової оцінки по видам занять:

№ з/п	Компоненти, що підлягають рейтинговій оцінці	Загальна кількість завдань	Максимальний бал за 1 завдання	Кількість балів на "відмінно"
1	Практичні роботи	8	4	32
2	Модульна контрольна робота (МКР)	2	20	40
3	Розрахунково-графічна робота (РГР)	1	28	28
Усього за семестр				100

8.2. Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

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

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік запитань для семестрового контролю:

- Основні категорії та поняття теорії надійності.
- Поняття «відмова» з погляду ймовірнісної теорії надійності. Класифікація відмов.
- Одиничні показники надійності. Їх визначення та взаємозв'язок.
- Комплексні показники надійності.
- Закони розподілу випадкових величин: біномний, експоненційний, Релея.
- Закони розподілу випадкових величин: нормальний, гама-розподіл.
- Закони розподілу випадкових величин: Пуассона, Вейбулла.
- Послідовна та паралельна моделі надійності.
- Види резервування. Їх переваги та недоліки.
- Загальне, поелементне та змішане резервування.
- Функції готовності та перестою. Правила складання диференціальних рівнянь для визначення функцій готовності та перестою.
- Оцінювання надійності нерезервованої відновлюваної системи та нерезервованої системи, відновлюваної двома способами.

13. Оцінювання надійності системи з двох блоків при ремонті однією бригадою, двома бригадами, однією бригадою та частиною другої бригади.
14. Оцінювання надійності системи з ненавантаженим та навантаженим резервом.
15. Термодинамічні системи, їх класифікація. Стан термодинамічної рівноваги.
16. Термодинамічні процеси, їх класифікація. Умови протікання термодинамічних процесів.
17. Вплив зовнішніх умов на ймовірність термодинамічних процесів.
18. Вплив зовнішніх умов на положення рівноваги оборотних процесів.
19. Кінетичне рівняння нерівноважної термодинаміки (рівняння Онзагера).
20. Напрявлені потоки речовини у нерівноважних системах, що знаходяться в ізотермічних умовах.
21. Напрявлені потоки речовини й енергії у нерівноважних системах, що знаходяться у неізотермічних умовах.
22. Вимушені потоки речовини у нерівноважних системах.
23. Повне кінетичне рівняння нерівноважної термодинаміки.
24. Класифікація механізмів старіння.
25. Дифузійний механізм старіння.
26. Електродифузійне старіння діелектриків. Стала часу процесу старіння у слабких і сильних електричних полях.
27. Граничні умови при електродифузійному старінні діелектриків.
28. Електродифузійне старіння провідників.
29. Термодифузійний механізм старіння.
30. Вплив механізму дифузії на термодифузійне старіння виробів.
31. Вплив теплового поля на електродифузійне старіння провідників.
32. Бародифузійний механізм старіння.
33. Умови виникнення хімічного механізму старіння. Класифікація хімічних перетворень.
34. Енергія активації та тепловий ефект хімічної реакції. Основи теорії активних зіткнень (рівняння Арреніуса).
35. Кінетика простих необоротних хімічних перетворень.
36. Кінетика складних паралельних і послідовних хімічних перетворень.
37. Кінетика складних оборотних хімічних перетворень.
38. Вплив температури на швидкість оборотних ендо- та екзотермічних процесів.
39. Кінетика каталітичних процесів.
40. Основні стадії та області протікання гетерогенних реакцій.
41. Кінетика гетерогенного процесу типу $G_1 + T \rightarrow G_2$. Швидкість процесу у різних областях протікання.
42. Кінетика гетерогенного процесу типу $G + T_1 \rightarrow T_2$. Швидкість процесу у різних областях протікання.
43. Вплив температури та тривалості процесу на область протікання гетерогенного процесу типу $G + T_1 \rightarrow T_2$.
44. Кінетика електрохімічної корозії.
45. Умови перебігу електрохімічної корозії металів. Типи корозійних комірок.
46. Умови перебігу електрохімічної корозії металів. Гальванічна корозійна комірка.
47. Умови перебігу електрохімічної корозії металів. Концентраційна корозійна комірка.
48. Умови перебігу електрохімічної корозії металів. Електролітична корозійна комірка.
49. Природа термофлуктуацій та їх роль у руйнуванні твердого тіла.
50. Термофлуктуаційне руйнування твердого тіла.
51. Роль механічних напружень у руйнуванні твердого тіла. Рівняння Журкова.
52. Концентратори механічних напружень та їх роль у руйнуванні твердого тіла.
53. Вплив лінійно мінливого навантаження на руйнування твердого тіла.
54. Руйнування твердого тіла під дією циклюючого механічного навантаження.
55. Кінетика руйнування твердого тіла (теорія руйнування Гріффітса).
56. Технічна діагностика. Класифікація методів діагностики.

57. Руйнівні методи діагностики виробів. Температурна, термопольова й термострумова обробки.
58. Механічні випробування виробів. Мета й види випробувань.
59. Кліматичні випробування виробів. Мета й види випробувань.
60. Класифікація локальних методів діагностики.
61. Теплова діагностика виробів.
62. Магнітні методи діагностики.
63. Електростатична діагностика виробів (метод Кельвіна).
64. Акустична дефектоскопія.
65. Капілярна дефектоскопія.
66. Радіохвильова дефектоскопія.
67. Радіаційна дефектоскопія.
68. Методи течешування.
69. Інтегральні методи діагностики виробів. Інформативні параметри.
70. Методи пошуку газових включень в ізоляції виробів.
71. Основні показники опору ізоляції.
72. Методи термостимульованих струмів поляризації та деполіаризації.
73. Методи виявлення окисних плівок на поверхні провідників.
74. Способи підвищення стійкості виробів до дифузійного старіння.
75. Підвищення стійкості діелектриків до електродифузії.
76. Підвищення стійкості металізації мікросхем до електродифузії.
77. Підвищення стійкості виробів до термо- та бародифузійного старіння.
78. Способи підвищення стійкості виробів до механічних навантажень.
79. Підвищення стійкості виробів до електрохімічної корозії.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доц. каф.МЕ, к.т.н., доц. Діденком Ю.В. та ст.викл. каф.МЕ, к.т.н., Королевичем Л. М.

Ухвалено кафедрою мікроелектроніки (№22 від 23.06.2023 р.)

Погоджено Методичною комісією факультету електроніки (протокол № 06/23 від 29.06.2023 р.)