

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

Кафедра мікро- та наноелектроніки  
(найменування кафедри)

**СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**ОСНОВИ СПІНТРОНІКИ**

(назва навчальної дисципліни)

Освітня програма: Мікро- та наноелектронні прилади і пристрої  
(назва освітньої програми)

Спеціальність: 153 Мікро- та наносистемна техніка  
(найменування спеціальності)

Галузь знань: 15 Автоматизація та приладобудування  
(найменування галузі знань)

Ступінь вищої освіти: магістр  
(назва ступеня вищої освіти)

Затверджено на засіданні кафедри  
мікро- та наноелектроніки  
(найменування кафедри)

Протокол № 1 від 17 серпня 2021 р.

м.Запоріжжя 2021

<b>1. Загальна інформація</b>	
<b>Назва дисципліни</b>	<u>ВК</u> Основи спінтроніки Вибіркова навчальна дисципліна.
<b>Рівень вищої освіти</b>	Другий (магістерський) рівень
<b>Викладач</b>	Коротун Андрій Віталійович, доцент кафедри мікро- та наноелектроніки, канд. фіз.-матем. наук
<b>Контактна інформація викладача</b>	Робочий телефон: +380617698367, e-mail: <a href="mailto:andko@zp.edu.ua">andko@zp.edu.ua</a>
<b>Час і місце проведення навчальної дисципліни</b>	За розкладом занять.
<b>Обсяг дисципліни</b>	<b>Кількість годин</b> – загальний обсяг 120 годин. <b>Кредитів</b> – 4,0 кредити ЄКТС. <b>Розподіл годин:</b> 30 годин лекцій; 14 годин практичних занять; 76 годин самостійної роботи. <b>Вид контролю</b> – іспит.
<b>Консультації</b>	Згідно з графіком консультацій, який складається кафедрою на початку семестру. <a href="https://zp.edu.ua/kafedra-mikro-ta-nanoelektroniki">https://zp.edu.ua/kafedra-mikro-ta-nanoelektroniki</a>
<b>2. Пререквізити і постреквізити навчальної дисципліни</b>	
<p><b>Пререквізити</b> <b>Дисципліни:</b> «Фізика», «Фізика твердого тіла», «Фізика низькорозмірних систем», «Наноматеріали та процеси їх формування», «Технологія тонких плівок».</p> <p><b>Постреквізити</b> <b>Освітня компонента:</b> Стажування (переддипломна практика), Магістерська робота.</p>	
<b>3. Характеристика навчальної дисципліни</b>	
<p>У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен отримати:</p> <p><b>загальні компетентності:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.</li> <li>➤ ЗК2. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.</li> <li>➤ ЗК4. Здатність проводити дослідження на відповідному рівні.</li> <li>➤ ЗК5. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.</li> <li>➤ ЗК6. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).</li> <li>➤ ЗК8. Здатність спілкуватися з представниками інших професійних груп різного рівня (з експертами з інших галузей знань/видів економічної діяльності).</li> </ul> <p><b>фахові компетентності:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ СК1. Здатність ефективно використовувати складне контрольно-вимірвальне, технологічне та дослідницьке обладнання при дослідженнях та виробництві матеріалів, компонентів, приладів і пристроїв мікро- та наносистемної техніки різноманітного призначення.</li> </ul>	

- СК6. Здатність користуватися сучасними системами пошуку та аналізу науково-технічної інформації, проводити патентний пошук і дослідження та здійснювати захист інтелектуальної власності.

**Очікувані програмні результати навчання:**

- P1. Формулювати і розв'язувати складні інженерні, виробничі та/або наукові задачі під час проектування, виготовлення і дослідження мікро- та наносистемної техніки різноманітного призначення та створення конкурентоспроможних розробок, втілення результатів у бізнес-проектах.
- P2. Визначати напрями, розробляти і реалізовувати проекти модернізації виробництва мікро- та наносистемної техніки з урахуванням технічних, економічних, правових, соціальних та екологічних аспектів.
- P3. Оптимізувати конструкції систем, пристроїв та компонентів мікро- та наносистемної техніки, а також технології їх виготовлення.
- P7. Розв'язувати задачі синтезу та аналізу приладів та пристроїв мікро- та наносистемної техніки.
- P8. Збирати необхідну інформацію, використовуючи науково-технічну літературу, бази даних та інші джерела, аналізувати і оцінювати її.
- P9. Забезпечувати якість виробництва; обирати технології, що гарантують отримання необхідних характеристик твердотільних пристроїв; застосовувати сучасні методи контролю мікро- та наносистемної техніки.

**4. Мета вивчення навчальної дисципліни**

**Метою** вивчення дисципліни є засвоєння студентами фізичних основ і методів спінтроники на рівні, достатньому для подальшого самостійного удосконалення в одному з напрямків даної наукової дисципліни.

**5. Завдання вивчення дисципліни**

**Завданнями** вивчення дисципліни є вивчення основних понять і явищ спінтроники, а також сучасних уявлень про основи спін-залежних явищ різних об'єктах, включаючи низькорозмірні структури і магнітні наноструктури.

**6. Зміст навчальної дисципліни**

***Змістовий модуль 1. Фізичні основи спінтроники.***

**Вступ.**

Предмет дисципліни та її задачі. Стандартна термінологія, основні поняття і визначення.

**Тема 1. Спін електронів, ядер і атомів.**

Спін квантових частинок.

Дозволені енергетичні стани електронів в твердому тілі.

Обмінна взаємодія.

Спін-орбітальна взаємодія.

Електронно-ядерна спінова взаємодія.

Взаємозв'язок між спіновими взаємодіями та магнітними властивостями твердих тіл.

**Тема 2. Магнітні і спінові властивості об'ємних матеріалів, тонких плівок та нанорозмірних частинок.**

Класифікація матеріалів за їх магнітними властивостями.

Параметри, що характеризують магнітні та спінові властивості матеріалів.

Магнітні провідні матеріали.

Магнітні напівпровідники.  
Діелектрики.  
Тонкі плівки магнітних матеріалів.  
Нанорозмірні частинки з магнітних матеріалів.

### **Тема 3. Спінові ефекти в твердотілих структурах.**

Гігантський магнітоопір.  
Тунельний магнітоопір.  
Передача спінового моменту від вільних носіїв заряду магнітним атомам.  
Спіновий ефект Холла.  
Теплові спінові ефекти.  
Ефект Кондо.

### **Тема 4. Інжекція спін-поляризованих носіїв заряду в твердотілі структури.**

Інжекція через невикористаний контакт.  
Тунелювання через потенціальний бар'єр.  
Спінова фільтрація носіїв заряду з використанням низькорозмірних структур.

## ***Змістовий модуль 2. Застосування спінтроники.***

### **Тема 5. Перенос спін-поляризованих носіїв заряду в напівпровідниках.**

Зміна орієнтації спіну електрона за механізмом Елліотта-Яфета.  
Зміна орієнтації спіну електрона за механізмом Д'яконова-Переля.  
Зміна орієнтації спіну електрона за механізмом Біра-Аронова-Пікуса.  
Зміна орієнтації спіну електрона в результаті їх надтонкої взаємодії з ядрами атомів.  
Ефективність прояву механізмів релаксації спіна електронів в напівпровідниках.  
Особливості релаксації спіна електронів в низько розмірних структурах.

### **Тема 6. Визначення спінових характеристик вільних носіїв заряду в твердотільних структурах.**

Оптичні методи.  
Електричні методи.

### **Тема 7. Елементи обробки інформації на спінових ефектах.**

Датчики магнітних полів.  
Зчитуюча магнітна голівка на ефекті гігантського магнітоопору.  
Спінові транзистори.  
Енергонезалежна пам'ять на ефекті гігантського магнітоопору.  
Енергонезалежна пам'ять на основі спін-залежного тунелювання.  
Спінова логіка.

### **Тема 8. Квантова обробка інформації з використанням спінів ядер атомів і електронів в твердотільних структурах.**

Основи квантової обробки інформації.  
Квантовий біт інформації.  
Квантовий комп'ютер.  
Матеріали елементів для квантової обробки інформації на спінах електронів і ядер атомів.  
Елементи для квантової обробки інформації на спінах ядер атомів.  
Елементи для квантової обробки інформації на спінах електронів в квантових точках.

### 7. План вивчення навчальної дисципліни

№ тижня	Назва теми	Форми організації навчання	Кількість годин
1	Вступ. Тема 1. Спін електронів, ядер і атомів.	Лекція	2
2	Тема 1. Спін електронів, ядер і атомів.	Лекція	2
2	Спін електронів, ядер і атомів.	Практичне заняття	2
3	Тема 2. Магнітні і спінові властивості об'ємних матеріалів, тонких плівок та нанорозмірних частинок.	Лекція	2
4	Тема 2. Магнітні і спінові властивості об'ємних матеріалів, тонких плівок та нанорозмірних частинок.	Лекція	2
4	Магнітні і спінові властивості об'ємних матеріалів, тонких плівок та нанорозмірних частинок.	Практичне заняття	2
5	Тема 3. Спінові ефекти в твердотілих структурах.	Лекція	2
6	Тема 3. Спінові ефекти в твердотілих структурах.	Лекція	2
6	Спінові ефекти в твердотілих структурах.	Практичне заняття	2
7	Тема 4. Інжекція спін-поляризованих носіїв заряду в твердотілі структури.	Лекція	2
8	Тема 4. Інжекція спін-поляризованих носіїв заряду в твердотілі структури.	Лекція	2
8	Інжекція спін-поляризованих носіїв заряду в твердотілі структури.	Практичне заняття	2
9	Тема 5. Перенос спін-поляризованих носіїв заряду в напівпровідниках.	Лекція	2
10	Тема 5. Перенос спін-поляризованих носіїв заряду в напівпровідниках.	Лекція	2
10	Перенос спін-поляризованих носіїв заряду в напівпровідниках.	Практичне заняття	2
11	Тема 6. Визначення спінових характеристик вільних носіїв заряду в твердотільних структурах.	Лекція	2
12	Тема 6. Визначення спінових характеристик вільних носіїв заряду в твердотільних структурах.	Лекція	2
12	Визначення спінових характеристик вільних носіїв заряду в твердотільних структурах.	Практичне заняття	2
13	Тема 7. Елементи обробки інформації на спінових ефектах.	Лекція	2
14	Тема 7. Елементи обробки інформації на спінових ефектах.	Лекція	2
14	Елементи обробки інформації на спінових ефектах.	Практичне заняття	2
15	Тема 8. Квантова обробка інформації з використанням спінів ядер атомів і електронів	Лекція	2

	в твердотільних структурах.		
15	Квантова обробка інформації з використанням спінів ядер атомів і електронів в твердотільних структурах.	Практичне заняття	2

### Індивідуальні завдання

Студенти денної форми навчання готують два індивідуальних домашніх завдання у вигляді розв'язаних задач. Максимальна оцінка індивідуального завдання складає 15 балів.

Для студентів заочної форми навчання передбачена *контрольна робота*.

### 8. Самостійна робота

№ тижня	Назва тем	Види СР	Кількість годин	Контрольні заходи
<b>Змістовий модуль 1</b>				
1, 2	Вступ. Тема 1. Спін електронів, ядер і атомів.	Проробка літературних джерел, вивчення лекційного матеріалу, доопрацювання завдань практичних занять.	10	Усне опитування на лекціях, перевірка виконаних завдань практичних робіт.
3, 4	Тема 2. Магнітні і спінові властивості об'ємних матеріалів, тонких плівок та нанорозмірних частинок.	Проробка літературних джерел, вивчення лекційного матеріалу, доопрацювання завдань практичних занять.	8	Усне опитування на лекціях, перевірка виконаних завдань практичних робіт.
5, 6	Тема 3. Спінові ефекти в твердотілих структурах.	Проробка літературних джерел, вивчення лекційного матеріалу, доопрацювання завдань практичних занять.	12	Усне опитування на лекціях, перевірка виконаних завдань практичних робіт.
7	Тема 4. Інжекція спінополяризованих носіїв заряду в твердотілі структури.	Проробка літературних джерел, вивчення лекційного матеріалу, доопрацювання завдань практичних занять.	6	Усне опитування на лекціях, перевірка виконаних завдань практичних робіт.
<b>Змістовий модуль 2</b>				
8	Тема 5. Перенос спінополяризованих носіїв заряду в напівпровідниках.	Проробка літературних джерел, вивчення лекційного матеріалу, доопрацювання завдань практичних занять.	6	Усне опитування на лекціях, перевірка виконаних завдань практичних робіт.
9, 10	Тема 6. Визначення спінових характеристик вільних носіїв заряду в твердотілих структурах.	Проробка літературних джерел, вивчення лекційного матеріалу, доопрацювання завдань практичних занять.	12	Перевірка виконаної роботи викладачем.
11, 12	Тема 7. Елементи обробки інформації на спінових ефек-	Проробка літературних джерел, вивчення лекційного матеріалу, доопра-	10	Усне опитування на лекціях, перевірка виконаних завдань практичних

	тах.	цювання завдань практичних занять.		робіт.
13, 14, 15	Тема 8. Квантова обробка інформації з використанням спінів ядер атомів і електронів в твердотільних структурах.	Проробка літературних джерел, вивчення лекційного матеріалу, доопрацювання завдань практичних занять.	12	Усне опитування на лекціях, перевірка виконаних завдань практичних робіт.

**Консультативна допомога** студенту надається у таких формах:

- особиста зустріч викладача і студента за графіком консультацій (не менш ніж 2 години на тиждень або за попередньою домовленістю);
- використання системи дистанційного навчання Moodle: <https://moodle.zp.edu.ua/course/view.php?id=4242>;
- листування за допомогою електронної пошти [andko@zp.edu.ua](mailto:andko@zp.edu.ua) (у форматі 24/7 кожного дня);
- відеозустріч в системі ZoomMeeting, аудіоспілкування або повідомлення у сервісах Viber та WhatsApp (за графіком консультацій викладача);
- спілкування по телефону (за графіком консультацій викладача).

## 9. Система та критерії оцінювання курсу

Оцінка знань студентів здійснюється за кредитно-модульною системою. Навчальний семестр складається з двох змістових модулів.

Для студентів денної форми навчання кожен змістовий модуль оцінюється за 100-бальною шкалою. Підсумкова оцінка визначається як середня двох контролів за змістові модулі. Студент має право додатково скласти іспит за 100-бальною шкалою. В цьому випадку підсумкова оцінка визначається як середня в цілому двох змістових модулів та іспиту.

Для студентів заочної форми навчання навчальна дисципліна в цілому оцінюється за 100-бальною шкалою.

Оцінка за 100-бальною шкалою переводиться відповідно у національну шкалу («відмінно», «добре», «задовільно», «незадовільно») та шкалу європейської кредитно-трансфертної системи (ЄКТС –A, B, C, D, E, FX, F).

### Шкала оцінювання при виді контролю: іспит

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ЄCTS	Оцінка за національною шкалою
90-100	A	Відмінно
85-89	B	Добре
75-84	C	
70-74	D	
60-69	E	Задовільно
35-59	FX	Незадовільно з можливістю повторного складання
1-34	F	Незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

Оцінка «відмінно» виставляється студентові за повне та відмінне виконання завдання без помилок, або з незначними помилками. Оцінка «добре» - за правильне виконання завдання, але з деякими помилками. Оцінка «задовільно» виставляється за виконання завдання в достатньому обсязі зі значною кількістю недоліків або в мінімальному обсязі. Оцінка «незадовільно» виставляється студентові, який не виконав завдання, або обсяг виконання завдання недостатній та містить грубі помилки, а також у випадку, коли у студента відсутні знання базових положень навчальної дисципліни або їх недостатньо для продовження навчання чи початку професійної діяльності.

### Критерії оцінювання курсу

Оцінювання навчальних успіхів студентів реалізується шляхом проведення поточного та підсумкового контролю успішності.

1. Курсом передбачені практичні заняття. Враховуючи активність студента на практичних заняттях та результати аудиторних контрольних робіт студент може отримати в кожному модулі максимально 25 балів.

2. За індивідуальне завдання, яке включає в себе розв'язок та захист набору задач за варіантами, студент може отримати в кожному модулі максимально 15 балів, за умови демонстрації високого рівня знань, а також творчої, розумової, нерепродуктивної діяльності під час застосування теоретичних знань на практиці.

3. По закінченню першого і другого напівсеместру проводиться рубіжні контролю у вигляді аудиторної модульної контрольної роботи. Максимальна рейтингова оцінка цих видів контролю – 60 балів.

4. За підсумками першого та другого рубіжного модульного контролю студенту формується підсумкова оцінка знань, яка оголошується до початку екзаменаційної сесії. Під час екзаменаційної сесії студенти, які незгодні з оцінкою за підсумками рубіжного контролю або отримали незадовільну оцінку, з'являються на екзамен.

Для студентів заочної форми навчання захист контрольної роботи, розв'язування задач, усний або письмовий іспит.

### Критерії оцінювання

Поточне тестування та самостійна робота									Підсумкова
Модуль №1				Модуль № 2					
ПЗ	ІДЗ	МК	Σ	ПЗ	ІДЗ	РГЗ	МК	Σ	100
25	15	60	100	15	10	15	60	100	

ПЗ – практичні заняття; ІДЗ – індивідуальне домашнє завдання; РГЗ – розрахунково-графічне завдання; МК – модульна контрольна робота.

Отже, сумарна кількість балів, яку отримує студент впродовж семестру, складає 100. В залежності від отриманої суми балів до залікової відомості та в залікову книжку виставляється оцінка згідно національної шкали.

### 10. Політика курсу

#### Політика щодо академічної доброчесності

Складати всі проміжні та фінальні завдання самостійно без допомоги сторонніх осіб. Надавати для оцінювання лише результати власної роботи.

Не вдаватися до кроків, що можуть нечесно покращити ваші результати чи погіршити/покращити результати інших студентів.



Не публікувати відповіді на питання, що використовуються в рамках курсу для оцінювання знань студентів

#### **Політика щодо відвідування аудиторних занять (особиста присутність студента)**

Студентам рекомендується відвідувати заняття, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для виконання семестрового індивідуального завдання. Система оцінювання орієнтована на отримання балів за активність студента, а також виконання завдань, які здатні сформувати загальні та фахові компетентності. Самостійну роботу студент може виконати у системі дистанційного навчання (<https://moodle.zp.edu.ua/course/view.php?id=4242>) з подальшим захистом: . За об'єктивних причин (наприклад, лікарняні, стажування, мобільність, індивідуальний графік, інше) аудиторні види занять та завдань також можуть бути трансформовані в систему дистанційного навчання (сервіс Moodle).

#### **Політика щодо дедлайнів**

Студент зобов'язаний дотримуватись крайніх термінів (дата для аудиторних видів робіт або час в системі дистанційного навчання), до яких має бути виконано певне завдання. За наявності поважних причин (відповідно до інформації, яку надано деканатом) студент має право на складання індивідуального графіка вивчення окремих тем дисципліни.

#### **Політика щодо оскарження результатів контрольних заходів**

Студенти мають можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто. Студенти мають право оскаржити результати контрольних заходів, але обов'язково аргументовано, пояснивши з яким критерієм не погоджуються.

#### **Політика щодо дотримання прав та обов'язків студентів**

Права і обов'язки студентів відображено у п.7.5 Положення про організацію освітнього процесу в Національному університеті «Запорізька політехніка» ([https://zp.edu.ua/uploads/dept\\_nm/Polozhennia\\_pro\\_organizatsiyu\\_osvitnoho\\_protseesu.pdf](https://zp.edu.ua/uploads/dept_nm/Polozhennia_pro_organizatsiyu_osvitnoho_protseesu.pdf)).

#### **Політика щодо конфіденційності та захисту персональних даних**

Обмін персональними даними між викладачем і студентом в межах вивчення дисципліни, їх використання відбувається на основі закону України «Про захист персональних даних» (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2297-17#Text>). Стаття 10, п.3.