

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Фізичний факультет

Кафедра оптики

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Заступник декана  
з навчальної роботи

Фізичний  
факультет  
« 10 » червня 2022 року

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Методи і засоби метрологічного забезпечення нанотехнологій  
Methods and tools of metrological support of technology  
для студентів 1 курсу магістратури

галузь знань **15 Автоматизація та приладобудування**  
спеціальність **152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка**  
освітній рівень **магістр**  
освітня програма **Лазерна та оптоелектронна техніка**  
вид дисципліни **обов'язкова**

Форма навчання	денна
Навчальний рік	2022/2023
Семестр	1
Кількість кредитів ECTS	3
Мова викладання, навчання та оцінювання	українська, англійська
Форма заключного контролю	залік

Викладачі: проф. Поперенко Л.В.

Пролонговано: на 20\_\_/20\_\_ н.р. \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) «\_\_» 20\_\_р.  
(підпис, ПІБ, дата)

на 20\_\_/20\_\_ н.р. \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) «\_\_» 20\_\_р.  
(підпис, ПІБ, дата)

на 20\_\_/20\_\_ н.р. \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) «\_\_» 20\_\_р.  
(підпис, ПІБ, дата)

КИЇВ – 2022

Розробник(и): Поперенко Л.В., д.ф.-м.н., професор, зав. кафедри оптики

---

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри  Поперенко Л.В.

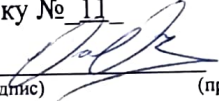
(підпис)

(прізвище та ініціали)

Протокол № 13 від « 19 » травня 2022 р.

Схвалено науково - методичною комісією фізичного факультету \_\_\_\_\_

Протокол від « 10 » червня 2022 року № 11

Голова науково-методичної комісії  (Оліх О.Я.)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 року

## ВСТУП

**1. Мета дисципліни** – вивчення основних методів і ключових оптичних засобів нанотехнологічних досліджень та контролю оптичних і електронних властивостей наноструктурованих матеріалів з різним типом провідності, методів їх виготовлення для потреб оптоелектроніки, процесів обробки цих матеріалів під дією зовнішніх чинників та оптичної діагностики як наногетероструктур з їхнім зовнішнім поверхневим шаром при формуванні сенсорів, так і тонких плівкових систем для виготовлення з них елементів оптоелектронних пристроїв та приладів. Основне завдання курсу – ознайомлення студентів із сучасними підходами до розробки принципів фізико-технічних засад метрології нанооб'єктів і характеристики атомно-електронної будови наноструктурованих матеріалів та поверхневих шарів з різною електропровідністю і технологічними процесами отримання наногетероструктур для оптичних застосувань, їхніми абсорбційними і електронними властивостями, методами обробки поверхневих шарів при створенні сенсорів з плазмонним збудженням для цілеспрямованого керування нанотехнологічними процесами з поточним контролем їх перебігу.

### **2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни (за наявності)<sup>1</sup>:**

- 1. Знати основи фундаментальної метрології та методів оптичних вимірювань з застосуванням спектроскопії конденсованих середовищ і типових підходів до розрахунків електронної структури і оптичних характеристик наноструктур через використання хвильових функцій та енергетичних спектрів густини станів електронів.*
- 2. Вміти аналізувати результати оптичних вимірювань спектрів дійсної та уявної частин діелектричної проникності, фотолюмінесценції і фотопровідності наногетероструктур, еліпсометричних параметрів поверхневих шарів напівпровідникових та металевих тонких плівок і покриттів, кутові залежності коефіцієнта відбивання поляризованого світла при плазмовому збудженні гетероструктур.*
- 3. Володіти елементарними навичками вибору оптичних засобів з метою розробки повіркових схем для проведення діагностики наноструктурованих матеріалів і елементів при створенні прецизійних інструментів і пристроїв оптоелектронної і лазерної техніки.*

### **3. Анотація навчальної дисципліни:**

“Методи і засоби метрологічного забезпечення нанотехнологій” включає вивчення розділів: загальна характеристика матеріалів з різним типом атомного упорядкування нанорозмірних шаруватих структур для виготовлення елементів оптоелектронних систем та методи перевірки і аналітичного контролю товщин і оптичних сталей: показників заломлення і поглинання нанорозмірних шарів; поверхня як атрибут інтерфейсу, атомно-електронна будова нанорозмірних шарів матеріалів з різним типом електропровідності; методи аналізу атомної і електронної будови та діелектричної проникності осаджених шарів і сформованих тонких плівок, графенового шару з його плазмонним відгуком при створенні сенсорів для їх використання в оптико-електронних пристроях.

**4. Завдання (навчальні цілі):** - ознайомлення студентів з оптоелектронними матеріалами: осажені в вакуумі плівкові шари металів (золото, алюміній), напівпровідникові гетероструктури та шари поруватого кремнію, графенові покриття на поверхні плівок з оксиду гафнію; принципами діагностики їхніх оптичних властивостей з метою вибору оптимальних фізичних умов для їхнього ефективного функціонування в пристроях оптоелектроніки. Ознайомлення із сучасними технологічними процесами отримання наноструктурованих оптоелектронних матеріалів і способами метрологічного забезпечення єдиності вимірювань характерних розмірів наноконструктивів і їхніх оптичних сталей шляхом мінімізації похибок при одночасному визначенні величин їхніх діелектричних проникностей і товщин сформованих шарів як специфічних нанооб'єктів для використання в оптоелектроніці.

## 5. Результати навчання за дисципліною:

Результат навчання (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація; 4. автономність та відповідальність)		Методи викладання і навчання	Методи оцінювання та пороговий критерій оцінювання (за необхідності)	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
Код	Результат навчання			
1.1	<p>Типи наноструктур і їх ієрархічна класифікація за розміром. Елементарні складові блоки наноструктур і їх 36 основних класів. Еліпсометрична характеристика поруватого кремнію за об'ємною долею пор в його атомній структурі</p> <p>The types of nanostructures and their hierarchical classification due to the dimension. The element blocks of nanostructures and their 36 fundamental classes. Ellipsometric characterization of porous silicon due to a volume fraction of pores in its atomic structure</p>	<p>Лекції та самостійна робота</p> <p>Lectures and home tasks</p>	<p>Щотижневий контроль попереднього матеріалу шляхом відповідей на конкретну кількість питань, модульна контрольна робота</p> <p>The control of previous materials by receiving responses for the determined number of questions from the student</p>	7
1.2	<p>Симетричні властивості атомної будови наноструктур та їхні обмеження при утворенні поверхневого шару. Структура графена і розробка перевіркової схеми для контролю еліпсометричним методом ступеню анізотропії оптичних сталей графена, зумовленої напруженнями в підкладинці</p> <p>Symmetrical properties of atomic order in the nanostructures and their restrictions at formation of the surface layer. Graphene structure and the development of the verification scheme for control of its optical anisotropy caused by stresses in the substrate</p>	<p>Лекції та самостійна робота</p> <p>Lectures and home tasks</p>	<p>Щотижневий контроль попереднього матеріалу шляхом відповідей на конкретну кількість питань</p> <p>The control of previous materials by receiving responses for the determined number of questions from the student</p>	7
1.3	<p>Моделі структурного упорядкування поверхневого шару : аморфна структура, адсорбат і плівка на поверхні. Перевірка схеми по визначенню дійсної і уявної частин комплексної діелектричної проникності та товщини оксидної плівки на поверхні плоского зразка кремнію</p> <p>The models of structural ordering in the surface layer: amorphous structure, adsorbent and thin film on the surface. The verification scheme for the determination of the real and the imaginary parts of the complex dielectric function and the thickness of oxidic film on the plane surface of silicon</p>		<p>Щотижневий контроль попереднього матеріалу шляхом відповідей на конкретну кількість питань</p> <p>The control of previous materials by receiving responses for the determined number of questions from the student</p>	6
1.4	<p>Принцип побудови зони Брілюєна для 2D - структур і взаємозв'язок їхніх оптичних властивостей з характерними особливостями енергетичного спектру густини станів електронів. Розробка засад перевіркової схеми по визначенню через еліпсометричні параметри товщин і оптичних сталей шарів наногетероструктур на основі благородних металів</p> <p>The principle of the representation of the Brillouin zone for 2D-structures and the interconnection of optical properties and characteristic features of the spectrum of the density of electronic states. The development of the base for the verification scheme through the determination due to ellipsometric parameters the thickness and optical constants of nanostructure layers based on the noble metals (Au and Ag)</p>	<p>Лекції та самостійна робота</p> <p>Lectures and home tasks</p>	<p>Щотижневий контроль попереднього матеріалу шляхом відповідей на конкретну кількість питань</p> <p>The control of previous materials by receiving responses for the determined number of questions from the student</p>	6
2.1	<p>Побудова комірки Вігнера-Зейтца для упорядкованої і розупорядкованої (аморфної)</p>	<p>Лекції та самостійна робота</p>	<p>Щотижневий контроль попереднього матеріалу</p>	7

	атомної 2D-структури. Розробка повірковий схеми еліпсометричного методу вимірювання глибини скін-шару в атомній структурі стрічок аморфного металевого сплаву на основі 3d-металів. The consideration of the Wigner-Seitz cell for ordered and disordered (amorphous) atomic 2D-structure. The development of the verification scheme of ellipsometric measurement method for determination of the skin layer depth in disordered atomic structure of amorphous 3d-metal-based metallic alloy ribbons	Lectures and home tasks	шляхом відповідей на конкретну кількість питань, модульна контрольна робота The control of previous materials by receiving responses for the determined number of questions from the student	
2.2	Використання Фур'є-перетворень для аналізу атомної будови 2D-структур за аналогією обробки просторових частот в оптичній мікроскопії The application of the Fourier- transformations for analysis of atomic order in 2D-structure due to the analogue due to the treatment of space frequencies for the image in optical microscopy	Лекції та самостійна робота Lectures and home tasks	Щотижневий контроль попереднього матеріалу шляхом відповідей на конкретну кількість питань The control of previous materials by receiving responses for the determined number of questions from the student	7

**6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання (необов'язково для вибіркових дисциплін які не входять до блоків спеціалізації)**

Результати навчання дисципліни (код)	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2
<b>Програмні результати навчання (назва)</b>						
ПР01 Знати і розуміти сучасні методи наукових досліджень, організації і планування експерименту і комп'ютерних методів дослідження та опрацювання результатів вимірювань To know and to understand the modern methods of scientific investigations, organization and planning of the experiment and computer methods as well as treatment of the measurement results	+	+		+		
ПР02 Знати і розуміти основні поняття теорії вимірювань, застосовувати на практиці та при комп'ютерному моделюванні об'єктів та явищ To know and to understand principal definitions of the measurements theory, to apply due to the practice and computer modelling of the objects and phenomena			+		+	+
ПР04 Вміти виконувати аналіз інженерних продуктів, процесів і систем за встановленими критеріями, обирати і застосовувати найбільш придатні аналітичні, розрахункові та експериментальні методи для проведення досліджень, інтерпретувати результати досліджень To know how to fulfil the analysis of the engineer products, processes and systems due to steady criteria, to select and to apply the most appropriate analytical, numerical calculation and experimental methods for fulfillment of the investigations, to interpret the results of the investigations	+		+	+		+
ПР07 Вміти проектувати і розробляти інженерні продукти, процеси та системи метрологічної спрямованості, обирати і застосовувати методи комп'ютеризованих експериментальних досліджень To know how to project the engineer products, the processes and systems of metrological direction, to select and to apply the methods of the computerized experimental researches		+		+	+	+

<b>ПР13</b> Застосовувати апаратні та програмні засоби сучасних інформаційних технологій для вирішення задач в сфері метрології та інформаційно-виміральної техніки To apply apparatus and program instruments of modern informational technology for the decision of the tasks in the sphere of metrology and informational measurement technique	+	+	+	+		
<b>ПР16</b> Застосовувати сучасні методи теоретичних і експериментальних досліджень з оцінювання точності отриманих результатів вимірювань, вміти формулювати обґрунтовані висновки To apply the modern theoretical and experimental investigations due to the estimation of the accuracy of the obtained results of the measurements, to make basic conclusion			+	+	+	+
<b>ПР21</b> Формулювати робочі гіпотези досліджуваної проблеми, вибирати та вміти обґрунтувати необхідні та ефективні методи їх експериментальних досліджень в залежності від предмету та об'єкту досліджень To formulate the preliminary hypothesis of the investigated problem, to select and to know how to substantiate the necessary and effective methods of their experimental investigations in dependence on the subject and object of the research	+	+				+

## 7. Схема формування оцінки.

### 7.1 Форми оцінювання студентів:

#### - семестрове оцінювання:

1. Модульна контрольна робота 1: 20 балів
2. Модульна контрольна робота 2: 20 балів

#### - підсумкове оцінювання у формі заліку: - 60 балів

#### - умови допуску до підсумкового заліку:

Студент не допускається до екзамену, якщо під час семестру набрав менше ніж 20 балів.

**7.2 Організація оцінювання:** (обов'язково зазначається порядок організації передбачених робочою навчальною програмою форм оцінювання із зазначенням орієнтовного графіку оцінювання).

### 7.3 Шкала відповідності оцінок

<b>Відмінно</b> / Excellent	90-100
<b>Добре</b> / Good	75-89
<b>Задовільно</b> / Satisfactory	60-74
<b>Незадовільно</b> / Fail	0-59
<b>Зараховано</b> / Passed	60-100
<b>Не зараховано</b> / Fail	0-59

## 8. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план лекцій

№ п/п	Номер і назва теми	Кількість годин	
		Лекції	Самостійна робота
<p><i>Змістовий модуль 1 Відмінність атомної і електронної будови наноматеріалів для оптоелектроніки від структури масивних твердих тіл</i></p> <p><i>The difference of atomic and electronic structure of nanomaterials for optoelectronics in comparison to one for bulk solids</i></p>			
1	<p><b>Тема 1</b> Вступ до курсу. Загальна характеристика повіркових схем на основі оптичних методів вимірювань. Діяльність вітчизняних і закордонних організацій по розробці методів і засобів метрологічного забезпечення високих технологій.</p> <p>The introduction to the course. General characteristic of the verification schemes due to optical methods of measurement. The activity of fatherland and foreign organization on the developments of the methods and the tools of metrological support of high technology.</p>	2	4
2	<p><b>Тема 2.</b> Поверхня як атрибут розмежування двох середовищ з нанорозмірною структурою. Будова поверхні і її опис в моделі "тераса-сходина-злам". Точкові дефекти атомної структури поверхневого шару : вакансії, домішкові атоми занурення і заміщення. Дефекти Шоттки.</p> <p>The surface as an fundamental attribute in dividing two media with nanometer dimension structure. The surface structure and its description in the " terrace-ledge-kink" (TLK) model The point defects of atomic surface structure: vacancies, the impurity atoms of implementation and substitution. The Shottky defects.</p>	1	3
3	<p><b>Тема 3.</b> Поверхнева фаза . Схематичне представлення перебігу власних атомних процесів на поверхні. Моделі структурного упорядкування поверхневого шару: реконструйована, релаксована , аморфна структура, адсорбат і плівки на поверхні. Осадження надтонких плівок. Графен. Розробка повіркової схеми контролю ступеню анізотропії оптичних сталих графена на основі еліпсометричного методу. Результат навчання за дисципліною 1.2</p> <p>The surface phase. The schematic presentation own atomic processes on the surface. The models of the structural ordering: reconstructed, relaxed, amorphous structure, adsorbent and thin films on the surface. The deposition of subtle films on the surface. Graphene. The development of the verification control scheme due to anisotropy degree of the optical constants of graphene by ellipsometric method. The results of the study due to the discipline 1.2</p>	2	4
4	<p><b>Тема 4.</b> Методи отримання атомарно чистої поверхні конденсованого середовища і технологічні умови зберігання її властивостей.</p> <p>The methods of a formation of atomically clean surface of the condensed matter and technological condition of its property serving.</p>	2	4
5	<p><b>Тема 5.</b> Осаджені моношари і моделі їхнього специфічного росту: Франка – фон дер Мерве (1), Странські – Кастанова (2) і Фольмера – Вебера (3). Графеновий верхній шар і його використання в плазмоніці. Шорсткість пласкої поверхні і класи чистоти її обробки. Європейські стандарти параметрів шорсткості поверхні. Атомно-силова мікроскопія шорстких поверхонь і оптичні еліпсометричні методи їх діагностики. Наноструктури</p>	2	4

	<p>як пористі середовища. Оптичні властивості поруватого кремнію. Результат навчання дисципліни 1.1.</p> <p>The deposited monolayers and models of their specific growth: Frank- Fonder Merve (1)), Stransky-Kastanov (2) and Volmer-Weber (3). Graphene upper surface layer and its application in plasmonics. The roughness of plane surface and the cleanness classes of its treatment . The European standards for the roughness parameters. Atomic Force Microscopy of roughness surfaces and optical ellipsometric methods for their diagnostics. The nanostructures as porous media. Optical properties of porous silicon. The results of the study due to the discipline 1.1</p>		
6	<p><b>Тема 6.</b> Схематичне представлення перебігу атомних процесів на поверхні наноструктур під дією зовнішніх чинників. Імплантація, розпорошення. Каскадні процеси. Ефект каналювання в поверхневому шарі.</p> <p>The schematic presentation of atomic processes on the surface of nanostructures under action of external factors. Implantation and sputtering. Cascade processes. Channeling effect within surface layer.</p>	1	3
7	<p><b>Тема 7.</b> Концепція двовимірної (2D) ґратки для опису ідеальної атомної структури поверхні. Поверхнева структура атомів. Основи двовимірної кристалографії. Поняття про просту та складну ґратку, базис і кристалічну структуру у 2D-випадку. Симетрія поверхневих структур і симетрійні обмеження при їх утворенні.</p> <p>The concept of 2D-lattice for the description of ideal atomic structure of the surface. The surface atomic structure. The fundamentals of 2D-crystallography. Primitive and compose lattice, basis and crystal structure in 2D-variant. The symmetry of the surface structures and symmetry restrictions at their formation.</p>	2	4
8	<p><b>Тема 8</b> Комірки Вігнера-Зейтца для упорядкованої і розупорядкованої (аморфної) атомної 2D-структури. Фундаментальні засади для розробки повіркової схеми еліпсометричного методу вимірювання глибини скін-шару в розупорядкованій атомній структурі стрічок аморфного сплаву на основі 3d-металів. Результат навчання дисципліни 2.1.</p> <p>The Wigner-Seitz cell for ordered and disordered (amorphous) atomic 2D-structure. The fundamentals for the development of the verification scheme of ellipsometric measurement method in relation to the determination of the skin layer depth in the disordered atomic structure of amorphous 3d-metal-based alloy ribbons. The results of the study due to the discipline 2.1.</p>	1	3
9	<p><b>Тема 9.</b> Узагальнена схема використання радіаційних джерел і детекторів в аналітиці наноструктурованих матеріалів оптоелектроніки. Вибір пар зондових і детектовних частинок із їх ряду: фотони, електрони і йони. Інформаційно-вимірювальні комп'ютерно-інтегровані оптичні системи: зондові і детектовні частинки – фотони. Важливі інформаційні матеріали міжнародної організації оптиків-інженерів. Її активність на теренах ЗВО України. Результати навчання дисципліни 1.3</p> <p>The generalised scheme of the application of the radiation sources and detectors at the analysis of nanostructured optoelectronics materials. The selection of the pairs of the probed and detected particles from the row^ photons, electrons and ions. Informational-measurement computer-integrated optical systems: the probed and the detected particles are photons. Relevant information source of the International Society of Photo-Instrumentation Engineering – SPIE. Its activity in the Universities of</p>	2	4



	Ukraine. The results of the study due to the discipline 1.3.		
10	<p><b>Тема 10.</b> Індеси Міллера для позначення площин і напрямків в упорядкованій структурі (приклади). Правила їх визначення. Низькоіндексні площини окремих кристалічних наноструктур. Особливості позначень для опису структури вуглецевих нанотрубок.</p> <p>The Miller indices for definition of the planes and directions in the ordered structure (the samples). The rules for their definition. Low-index planes of some crystal-like structures. The features of similar definitions for description of carbon nanotubes</p>	1	2
11	<p><b>Тема 11.</b> Поняття про надгратку для опису атомної структури поверхні: співрозмірні і неспіврозмірні ґратки на поверхні упорядкованої структури. Позначення надґраток за Вудом (приклади).</p> <p>The definition of superstructure and superlattice. The coincidence lattice and incoherent structure on the surface of</p> <p>solids. The Wood-nomenclature in the definition of overlayer ordered structures (the samples)</p>	2	3
12	<p><b>Тема 12.</b> Методи діагностики та аналізу атомної структури поверхні. Оптична мікроскопія ближнього поля, електронна та атомно-силова мікроскопія структури поверхні. Вивчення атомної структури і складу поверхні методом зворотного резерфордівського розсіювання атомів. Дифракція повільних електронів. Глибини проникнення електронів у поверхневому шарі атомів. Методи Фур'є-аналізу у вивченні поверхневої структури (аналогія з Фур'є-перетворенням в дифракційній теорії Аббе стосовно обробки 2D-зображення в оптиці). Результат навчання за дисципліною 2.2</p> <p>Methods of diagnostics and analysis of atomic structure of the surface Optical microscopy of the nearest field, electron and atomic-force microscopy of the surface. Study of atomic structure and atomic composition by the Rutherford back-scattering method. Diffraction of low energy electrons. The depth of the electron penetration into surface atomic layer. The Fourier-transformation analysis in study of surface structure ( the analogue with such transformation in the Abbe diffraction theory of 2D-image treatment in optics) The results of the study due to the discipline 2.2</p>	2	4
13	<p><b>Тема 13.</b> Методи аналізу електронної структури поверхні. Електронна спектроскопія. Фотоелектронна спектроскопія, Оже-метод і спектроскопія енергетичних втрат електронів (СЕВЕ). Спектроеліпсометрія поверхні і порівняння її метрологічних даних з отриманими методом СЕВЕ. Розробка перевіркової схеми по вимірюванню еліпсометричним методом глибини скін-шару наноструктурованих матеріалів. Результат навчання за дисципліною 2.1.</p> <p>The methods of analysis of electronic structure of the surface. Electron spectroscopy. Photoelectron spectroscopy, the Auger-method and electron energy losses spectroscopy EELS. Spectroellipsometry of surfaces and the comparison of its metrological data with EELS ones. The development of the verification scheme of ellipsometric measurement method for determination of the skin layer depth in the nanostructure materials The results of the study due to the discipline 2.1.</p>	1	2
14	<p><b>Тема 14.</b> Електронна структура і її особливості при розгляді поверхневого шару. Двовимірна обернена ґратка. Примітивна комірка Вігнера-Зейтца в оберненому просторі і принцип її побудови. Зона</p>		

	<p>Бріллюена у 2D- випадку, позначення її характерних точок і напрямків. Енергетика електронних станів атомів у поверхневому шарі. Енергетичні спектри густини станів. Рівень Фермі. Оптичні і електронні властивості гетероструктур на основі благородних металів і аморфних сплавів на основі 3d -металів: визначення релаксаційної і плазмової частот. Результати навчання за дисципліною 2.1.</p> <p>Electronic structure and its features at the consideration of surface layer. Two-dimensional reciprocal lattice. Primitive Wigner-Seitz cell in inverse space and the principle of its construction. The Brillouen zone in 2D-variant, the definition of its characteristic points and directions. The energies of the electron states of atoms within surface layer. The Fermi level. Optical and electronic properties of the noble-metal-based heterostructure and amorphous 3d-metal-based alloys: the determination of the relaxation and plasma frequencies. The results of the study due to the discipline 2.1.</p>	2	3
15	<p><b>Тема 15.</b> Плазмони. Поверхневий плазмонний резонанс (ППР). Порівняння метрологічних даних оптичної спектроскопії з результатами вимірювань методом спектроскопії енергетичних втрат електронів- СЕВЕ (на прикладі наноструктурованих плівок золота). Типові енергії плазмонних збуджень в твердих тілах та особливість їх перебігу в тонкому поверхневому шарі. Результат навчання за дисципліною 1.4.</p> <p>The plasmons. The surface plasmon resonance (SPR). The comparison of optical spectroscopy data with the results of the measurements by method of electron energy losses spectroscopy-EELS ( on a sample of the nanostructured Au films).</p> <p>The typical energy of plasmon excitations in the solids and the peculiarity of their behavior in thin surface layer. The results of the study due to the discipline 1.4.</p>	2	4
16	<p><b>Тема 16</b> Напівпровідникові матеріали оптоелектроніки та типові електронні пристрої на їх основі і транзистори та інтегральні схеми. Ефект Ганна. Технологія арсеніду галію. Зонна інженерія. Матеріали світлодіодів і напівпровідникових лазерів. Рідкокристалічні дисплеї. Semiconductor materials of optoelectronics and typical electronic devices on their base and transistors and integral circuits. The Gann effect. GaAs technology peculiarity. Zone engineering. Materials for light emission diodes and semiconductor lasers. Liquid crystal display.</p>	2	4
17	<p><b>Тема 17</b> Електронні матеріали для сенсорів і детекторів випромінювання та фізичні принципи їхньої дії в процесі перетворення сигналу як засобу метрологічного забезпечення заданого рівня їхньої спектральної чутливості. Ефект Франца-Келдиша і модулятори електропоглинання на його основі. Характеризація ППР-сенсорів методом порушеного повного внутрішнього відбивання. Розробка повіркової схеми стосовно ППР-сенсорів для визначення методом поляритонної еліпсометрії спектрального інтервалу з максимальною чутливістю їхнього функціонування в оптоелектронних пристроях. Результати навчання за дисципліною 1.4.</p> <p>Electron materials for sensors and radiation detectors and physical principles of their function during signal transformation as a tool of metrological support of the assigned level of their spectral sensitivity. The Frantz -Keldish effect and modulator of electroabsorption on its base. The characterization of the surface plasmon resonance sensors by methods of the frustrated total internal reflection. The development of the verification scheme due to surface</p>	2	3

	plasmon resonance sensors by spectral polariton ellipsometric method for the determination of the spectral interval with maximal sensitivity of such sensors to efficiency function in optoelectronic devices. The results of the study due to the discipline 1.4.		
18	<b>Тема 18.</b> Наноструктуровані тонкі плівки аморфного кремнію та селену і метрологічне забезпечення їхньої оптимальної товщини для потреб ксерографії. Пристрої оптичного запису і зчитування інформації на основі гетероструктур і тонких плівок. The nanostructured thin films of amorphous Si and Se and the metrological support of their optimal thickness for application in xerography. The devices of optical information recording and reading on the base of heterostructures and thin films.	<b>1</b>	<b>2</b>
	<b>ВСЬОГО<sup>2</sup></b>	<b>30</b>	<b>60</b>

**Загальний обсяг 90 год.<sup>3</sup>**, в тому числі (вибрати необхідне):

Лекцій – **30 год.**

Самостійна робота - **60 год.**

## 9. Рекомендовані джерела<sup>4</sup>:

### Основні:

1. Л.В. Поперенко, В.С. Стащук. Основи фізики матеріалів оптотехніки. ВПЦ «Київський університет», 2011, 686 с.
2. Л.В. Поперенко, В.Г. Кравець. Наноматеріали: оптичні, магнітооптичні, магніторезистивні і електронні властивості. ВПЦ «Київський університет», 2013, 110 с.
3. Rajpal S. Sirohi. Introduction to Optical Metrology. CRC Press. London, New York. 2016. 408 p.

### Додаткові:

1. Handbook of Optical Dimensional Metrology, edited by Kevin Harding. CRC Press. London, New York. 2013, 480 p.
2. Звіти за науково-дослідними розробками кафедри оптики фізичного факультету КНУ імені Тараса Шевченка в 2018-2020 роках.
3. <https://www.nist.gov/pml/sensor-science/optical-properties-materials>
4. Stephen Elliot. The physics and chemistry solids. Willey, Chichester. 1998, 770 p.
5. Harald Ibach, Hans Luth. Solid-State Physics. Springer Verlag, Berlin. 1993, 341 p.

<sup>2</sup> У робочій програмі навчальної дисципліни для лекційних, семінарських, практичних і лабораторних занять зазначається *реальна* кількість годин (*кратне 2 год. – час тривалості пари*).

<sup>3</sup> Загальна кількість годин, відведених на дану дисципліну згідно навчального плану.

<sup>4</sup> В тому числі *Інтернет ресурси*