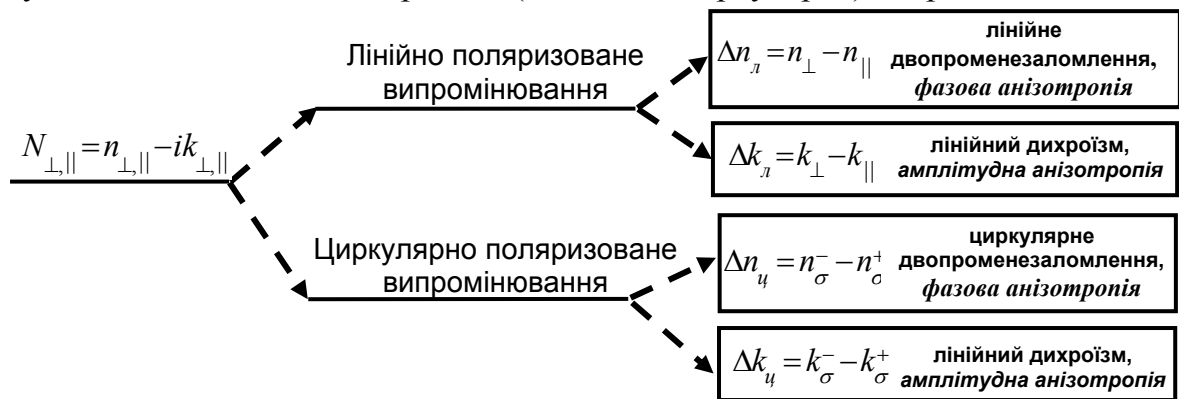


## РЕФЕРАТ

циклу наукових праць «**Фізика і техніка сучасної поляриметрії**», висунутого Інститутом фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України на здобуття Державної премії України в галузі науки і техніки у 2017 році.

**Мета циклу робіт** полягає у розробленні фізичних принципів реєстрації стану поляризації електромагнітного випромінювання та методів аналізу його компонентного складу з метою використання множини комбінацій величин компонент для характеристики об'єктів взаємодії за діелектричними властивостями майже у всіх агрегатних станах. **Практична мета** полягає у розробленні функціональних засобів поляриметрії, фізичних та медикобіологічних пристроїв цільового призначення.

Цикл робіт ґрунтується на системі (див. діаграму) всіх оптичних поляризаційних ефектів - **лінійна та циркулярна фазові та амплітудні анізотропії**, що побудована на двох компонентах комплексного анізотропного показника заломлення  $N_{\perp,\parallel} = n_{\perp,\parallel} - ik_{\perp,\parallel}$  з урахуванням двох станів поляризації (лінійна та циркулярна) випромінювання.



Обставинами сучасності циклу робіт є:

- **досягнення розвитку модуляційної поляриметрії (МП)** у виявній здатності відносно визначення величин 4-х параметрів Стокса  $S = [I \ Q \ U \ V]$ , що характеризують у загальному вигляді стан поляризації випромінювання, набуває переваг, що властиві диференціальній спектроскопії;
- **множина** величин  $4 \times 4$  компонентів матриці Мюллера  $M$  ( $S_{\text{вих}} = M \times S_{\text{вх}}$ ), у яких містяться при відомих векторах Стокса  $S_{\text{вх}}$  та  $S_{\text{вих}}$  вичерпні відомості про властивості речовини і реєстрація яких, накопичення та оброблення масивів даних відбуваються виключно засобами сучасної комп'ютерної техніки;
- **множина** наявних і перспективних конструктивних рішень оптико-поляризаційних пристроїв, призначених для визначення діелектричних параметрів наземних об'єктів та речовин у всіх агрегатних станах з точки зору реєстрації фізичних, хімічних та біологічних властивостей.

### **Наукова новизна.**

**Модуляційна поляриметрія**, що оперує періодичною зміною стану поляризації електромагнітного випромінювання, є одним із новітніх засобів експериментальної фізики. За її допомогою відокремлюється відгук речовини у вигляді сигналу фотодетектора на дію поляризованої компоненти світла із складу в загальному випадку частково поляризованого випромінювання. Подальше використання виключно поляризованої компоненти надає методу МП неперевершеної спроможності в отриманні вичерпної інформації про природу об'єктів дослідження або про причину їх зміни. Інформаційна ефективність методу підвищується за рахунок збільшення на декілька порядків динамічного діапазону вимірюваних величин. Ця обставина виявляється вирішальною у забезпеченні високої чутливості методики МП до ступеню

анізотропії та рекордної виявної амплітудної та просторової здатності відносно оптичних констант матеріалу.

### **Моделювання, оптимізація та дослідження перетворювачів поляризації.**

Розроблено метод часткових областей (МЧО), який використовується для оптимізації складних конфігурацій в хвилеводних і антенно-фідерних пристроях. У поєднанні з методом декомпозиції цей метод використано як основу для побудови і програмної реалізації математичної моделі для вирішення векторних задач аналізу складних 3D хвилеводних вузлів з довільними декартово-координатними кусково-лінійними межами. Висока продуктивність та універсальність розробленого обчислювального модуля дозволила побудувати на його основі ефективну систему електродинамічного моделювання. За допомогою розробленої системи моделювання синтезовано ряд пристроїв з характеристиками не досяжними раніше. Серед них, зокрема, поляризатори і обертачі площини поляризації в квадратному і круглому хвилеводах, необхідні в поляриметрії. Зокрема запропоновано конструкції, що дозволяють обертати площину поляризації на довільні кути, та що мають задовільні характеристики коефіцієнта відбиття у заданій смузі частот.

**Матрична поляризаційна оптика** на прикладі матриць Мюллера здійснила прорив у дослідженнях складних з точки зору анізотропії об'єктів, що є загальним випадком реальних кристалів, біологічних сполук тощо, завдяки чому були обійдені труднощі класичного електродинамічного підходу. Цьому сприяла систематизація відомих у природі поляризаційно залежних ефектів, на основі якої було сформульовано «узагальнену теорему еквівалентності». Згідно теореми кожне анізотропне середовище з довільною складністю є еквівалентним скінченній послідовності шарів з наявними у природі чотирма елементарними типами анізотропії - двопроменезаломлення, оптична активність, лінійний та циркулярний дихроїзм. Даною теоремою продукуються широкі можливості для формулювання та розв'язку цілого ряду актуальних фундаментальних та прикладних задач сучасної поляриметрії, зокрема:

- вивчення симетрії матриці Мюллера та зв'язків між елементами;
- синтез середовищ із заданими анізотропними характеристиками;
- оптимізація поляриметричних досліджень анізотропних середовищ.

### **Основні результати.**

#### **Модуляційна поляриметрія та її досягнення.**

#### ***І. Лінійний дихроїзм (амплітудна анізотропія) в напівпровідникових кристалах та металах.***

Поляриметрія в широкому розумінні ґрунтується на двох тісно взаємозв'язаних складових: - фізико-технічні підстави процесу вимірювання та об'єкти вимірювання, як джерела інформації. Тому носіями цих особливостей поляриметрії є дві її складових, а саме Стокс- та Мюллер-поляриметрії.

**Стокс-поляриметрія** оперує чотирма параметрами Стокса, що описують у нормованому вигляді компоненти величин лінійної та циркулярної поляризації в еліптично поляризованому випромінюванні. У даній частині роботи на прикладах взаємодії випромінювання з численними середовищами практично у всіх агрегатних



станах продемонстровано надзвичайну інформативну здатність стану поляризації електромагнітної хвилі відносно різних типів анізотропних властивостей речовин: лінійної фазової та амплітудної анізотропії. На підставі розробленої теорії модуляції поляризованого випромінювання та створених різноманітних варіантів оптичних схем

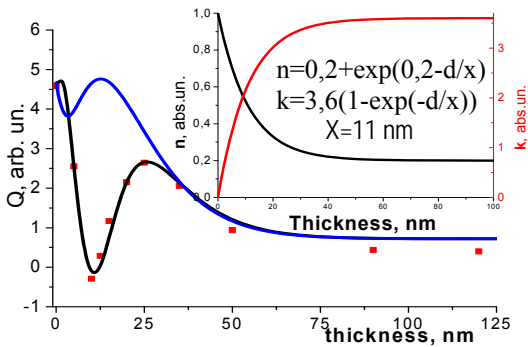


Рис. 1.

поверхневий плазмонний резонанс (ППР), що вперше був дослідженим методикою МП в нанорозмірних плівках золота реєстрацією Q-компоненти вектора Стокса в умовах внутрішнього відбиття. Отримані результати дають підстави для спостереження, детального вивчення та використання явища ППР не тільки у типових матеріалах (срібло, золото, мідь та алюміній), а й практично у необмеженій кількості об'єктів сучасної нанофізики твердого тіла.

Методикою МП виявлено оптичний розмірний ефект (рис. 1), що полягає у пороговій взаємодії Q-компоненти випромінювання відносно товщини металевого (золото) шару та встановлено граничну межу його прояву у вигляді товщини  $d = 11$  нм. Виявлено топологічний просторовий розмірний ефект в композитних та металодіелектричних плівках, зумовлений кластерною природою та їх несферичністю, а також нову властивість явища ППР, що полягає у його збудженні обома станами поляризації випромінювання.

Встановлено високоінформативну здатність кутових та спектральних характеристик Q-компоненти, що ґрунтується на багатоваріантній їх формі, знаковмінній амплітуді, розширеному її динамічному діапазоні та в накопиченій базі даних, отриманих з результатів дослідження різноманітних нанорозмірних матеріалів. На численних прикладах показано, що розроблена методика має перспективи широкого використання у діагностиці нанорозмірних об'єктів з визначенням їх оптичних параметрів, особливостей морфології структур та товщини. Її переваги перед сучасною атомно-силовою мікроскопією полягають у здатності характеристики речовин з точки зору структури їх внутрішньої поверхні.

В анізотропних матеріалах, якими є практично всі речовини в реальних умовах, коефіцієнти пропускання, поглинання, відбиття світла, коефіцієнти генерації носіїв заряду, плазмонів, поляритонів тощо залежать від орієнтації вектора поля лінійно поляризованої хвилі відносно напрямку оптичної вісі (осей) оптичної індикатриси речовини. Абсолютна або відносна різниця відзначених коефіцієнтів є мірою величини відповідного ефекту дихроїзму (фотоплеохроїзму). Отримані із них відомості у вигляді відповідних функціональних залежностей поглибили знання щодо фізики твердого тіла та сприяли встановленню певних властивостей речовин. До них відносяться:

- поляризаційно залежна фотоманітна ЕРС в напівпровідниковому кристалі Ge свідчить про величину міждолинного часу релаксації електронів;
- із спектральних характеристиках міждолинної компоненти фотоманітної ЕРС встановлено енергетичне положення екстремумів зонного спектру кристалу Ge;

- спектральні характеристики фотоплекроїзму у фотопровідності, вентильній та об'ємноградієнтній фотоерс вказують на величини таких важливих параметрів матеріалів та приладів із них як дифузійна довжина електронів, товщини емітера та шару просторового заряду в р-п-переходах (рис. 2).

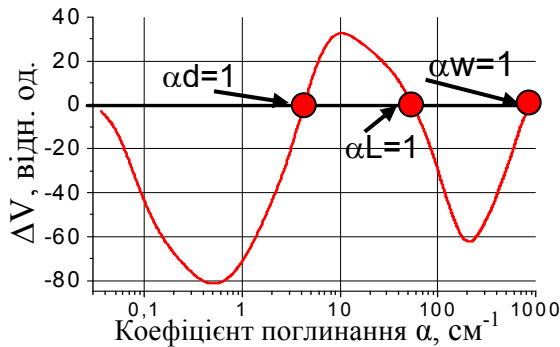
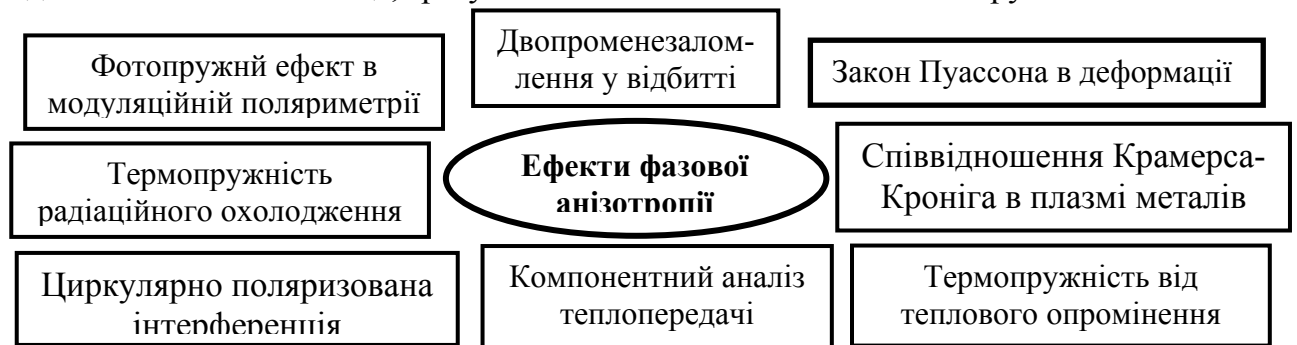


Рис. 2. Приклад інформаційної здатності МП: єдина характеристика фотоплекроїзму  $\Delta V(\alpha)$  кремнієвого р-п-переходу містить відомості про три параметри: товщину бази, довжину дифузії та товщину шару просторового заряду.

## II. Лінійне двопронезаломлення (фазова анізотропія) в напівпровідникових кристалах, композитах та наноб'єктах.

Потік тепла в твердому тілі з поверхні супроводжується неоднорідним температурним полем, що генерує контактну термопружність. Опромінювання твердого тіла є причиною виникнення радіаційної термопружності. Дифузія речовини під дією градієнту її складу зумовлює "заморожену" термопружність. Це різні варіанти одного і того ж явища, результатом якого є механічне напруження та оптична



анізотропія. Її реєстрацією за допомогою техніки МП вирішується зворотна задача термопружності - визначення кінетики і динаміки (в часі і просторі) температури за результатами вимірювань величини і знака механічної напруги. Використання зазначеного методу сприяє вирішенню цього завдання тим, що завдяки надвисокої чутливості розроблених в інституті модуляційно-поляризаційних вимірювальних

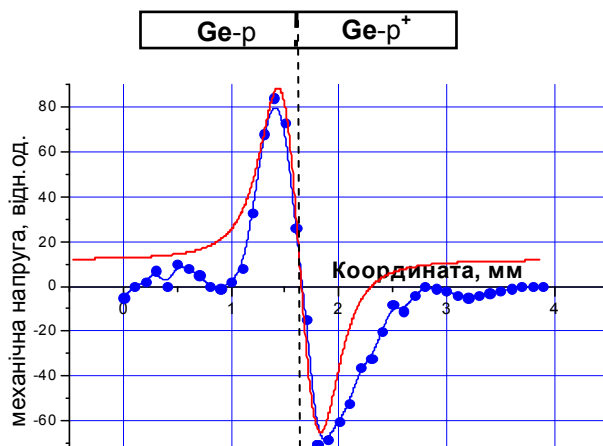


Рис.3 Приклад збігання координатної функції напруження  $\sigma$  (синя) в кристалі Ge та другої похідної потенціалу  $\phi$  (складу речовини), як ілюстрація закону Пуассона  $\frac{d^2\phi}{dx^2} = -\frac{1}{\tau}\sigma$

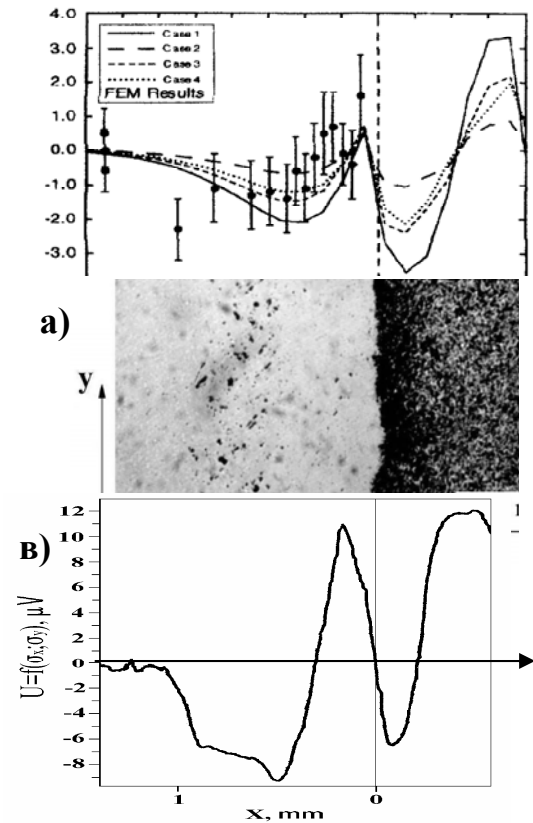
пристроїв реєструються напруги з перепадом температури, яка незначно перевищує кімнатну.

Виявлені особливості термопружності складають другу групу ефектів, що відносяться до підмножини фазової анізотропії. Явище інтерференції поляризованого випромінювання є джерелом багатьох варіантів фотопружного ефекту. Його роль винятково важлива у розвитку матеріалознавства, де вирішення проблеми термопружності (контактної, радіаційної та «замороженої») супроводжується множиною задач, пов'язаних необхідністю

вимірювання механічних напружень неруйнівними та безконтактними методами. Інформаційний потенціал ефекту за рахунок використання МП забезпечив розширення до  $5\div 6$  порядків діапазон вимірюваної фази електромагнітної хвилі на величину  $2\pi \cdot 10^{-6}$  радіан, що відповідає деформаційній анізотропії від власної ваги зразка.

Передбачено поляризаційний ефект «замороженої» термопружності у моделі кристалу Ge, легування якого має вигляд сходинки. Просторовий розподіл величини механічної напруги (рис. 3) узгоджується з рівнянням Пуассона, у якому роль координатної функції потенціалу  $\phi(x)$  належить енергіям зон  $E_v$ ,  $E_c$ , чи енергії Фермі. Його достовірність має місце в композитних матеріалах та у місцях з'єднання різномірних матеріалів (рис. 4).

Рис. 4. Напруження на межі кераміка/композит а), отримані дифракцією нейтронів протягом доби б) та методом МП протягом кількох хвилин в).



Виявлено фототермопружний ефект у варіанті відбиття, індукований градієнтом складу речовини, за оперативністю реєстрації напруження є неперевершеним порівняно з використанням рентгенівського чи синхротронного випромінювання.

Виявлено зв'язок величин та знаку термонапружень радіаційного походження, генерованих тепловими потоками у двох варіантах – зовнішнім опроміненням спектром теплового діапазону чорного тіла при  $T=310$  °K та радіаційного охолодження зразка, при якому досліджуваний зразок втрачає внутрішню енергію за рахунок теплового випромінювання. В результаті аналізу кінетики напружень отримано кількісні співвідношення амплітуд та характеристичного часу всіх трьох компонент теплопередачі. Подвійним графічним інтегруванням експериментальної функції механічних напружень отримано координатні залежності температури в різні моменти часу як рішення оберненої задачі термопружності. Зміщенням у просторі координат екстремуму функції механічної напруги здійснено «фотографію» теплового фронту. Із аналізу кінетики напружень встановлено ієрархію характеристичних часів релаксації процесів кожного із механізмів теплопередачі та визначено їх кількісний внесок.

Вперше виконано Стокс-аналіз стану поляризації випромінювання з використанням її модуляції у дослідженні явища повного внутрішнього відбиття. Виявлено, що крутизна кутової функції V-компоненти забезпечує реєстрацію показників заломлення на рівні  $\Delta n/n=10^{-8}$ , що є досягненням світового рівня.

### ***III. Резонансні властивості штучних матеріалів і кластерів з металевих нанокул у терагерцовому діапазоні хвиль.***

Періодичні ґратки з плазмових нанокул широко вивчаються в науковій літературі, оскільки характеризуються цікавими властивостями, які відкривають нові можливості для нових практичних застосувань. Наприклад, вони можуть бути

використані для досягнення посилення ближнього поля і надрозділення в оптичному діапазоні, для оптимізації спрямованого випромінювання, в мікроскопії та спектроскопії з використанням гігантського комбінаційного розсіювання, для розробки біосенсорів і ДНК-детекторів.

В роботі розглянуто одношарові, двошарові і багатошарові періодичні ґратки з електрично малих металевих куль нескінченні в двох напрямках. Досліджено їх поляризаційні властивості. Такі шаруваті "штучні матеріали" здатні забезпечити посилення ближнього поля і ефект субхвильового фокусування. Обидва явища докладно досліджено і пов'язано з дисперсійними характеристиками. Зокрема показано, що частоти вираженості цих явищ відповідають плоскій частині дисперсійних кривих для мод, поляризованих ортогонально до ґратки. Розглянуто середовище, що утворене парами тісно пов'язаних срібних нанокул. Вперше показано, що така структура може підтримувати антисиметричні електромагнітні коливання, які відповідальні за штучний магнетизм.

## Розвиток методів адаптивної поляриметрії.

### 1. Розроблення матричних моделей анізотропних середовищ.

Мюллер-поляриметрія є другою складовою сучасної поляриметрії, що ґрунтується на вимірюваннях матриць Мюллера досліджуваних об'єктів. Як коефіцієнт пропорційності між чотирьох-компонентними векторами Стокса  $S_{\text{вих}} = M \times S_{\text{вх}}$  для початкового та кінцевого станів поляризації хвилі матриця має розмір  $4 \times 4$  елементів і тому є портретом досліджуваного об'єкта. Інформативна ефективність цього методу досягається, по-перше, обґрунтуванням мінімальної ( $3 \div 4$ ) кількості вимірювань для встановлення значень 16 компонентів матриці. А по-друге, визначенням відповідних співвідношень між компонентами, з використанням яких розшифровується зміст матриці Мюллера як «чорного ящика» щодо виявлення сукупних властивостей зразка. Практична значимість розв'язку цієї задачі полягає у характеризації досліджуваного середовища без залучення систем з диференційних рівнянь (рис. 5). Крім того, формалізм Мюллера оперує з величинами у вигляді інтенсивності світла, що реєструються безпосередньо фотодетекторами.

На основі розв'язку спектральної задачі для матричної моделі однорідного анізотропного середовища вперше отримано матричні моделі класів середовищ, власні

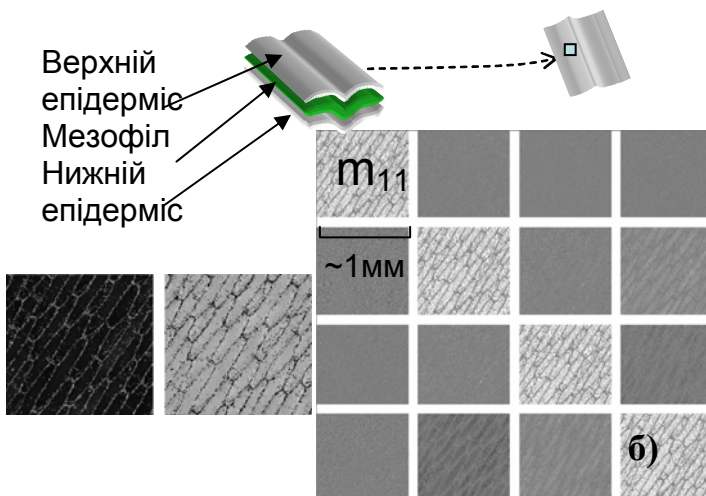


Рис.5. Приклад мікроскопічного розподілу анізотропії у верхньому епідермісі листка *Chlorophitum*. Переважає тип анізотропії - лінійне подвійне променезаломлення. Максимальна анізотропія ( $\delta \sim 30^\circ$ ) в оболонках клітин, швидка вісь ( $\alpha$ ) лежить в площині оболонок. Центр клітин має незначну анізотропію ( $\delta \sim 2^\circ$ )

числа яких є фазовими, амплітудними і виродженими. Показано, що кожна з цих моделей в загальному випадку містить всі чотири елементарні види анізотропії. Варіюючи значення лише будь-якого одного і залишаючи незмінними значення решти параметрів анізотропії, виявляється можливим перейти від класу середовищ, що

характеризуються фазовими власними числами, до класів, що характеризуються амплітудними або виродженими власними числами.

Запропоновано метод, що дозволяє отримувати найкращі оцінки для повних і неповних матриць Мюллера в класі матриць, який відповідає класу конкретної оберненої задачі. Продемонстровано, що даний метод дозволяє вирішити проблему нестійкості розв'язків на основі неповних матриць Мюллера. Тим самим вперше доведено перспективність використання методу неповних матриць Мюллера і його інформативність при дослідженні анізотропних характеристик об'єктів.

## ***II. Визначення характеристик середовищ з використанням матриць Мюллера***

Отримані в даній частині роботи результати утворюють основу нової концепції вимірювальної поляриметрії - адаптивної Мюллер-поляриметрії. Її зміст полягає в тому, що вибір методу вимірювання та конкретного варіанта його реалізації має обумовлюватися поляризаційними властивостями досліджуваного об'єкта. При цьому вибір здійснюється автоматизовано на основі поповнюваної системи критеріїв. Побудовано Мюллер-поляриметр, який реалізує дану концепцію (рис. 6).

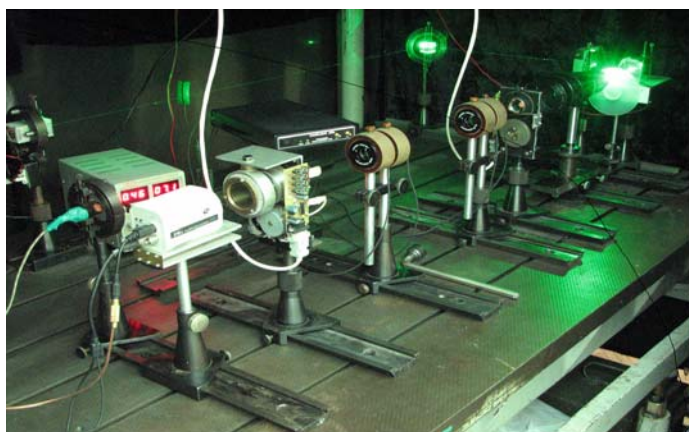


Рис.6. Адаптивний лазерний Мюллер-поляриметр. Виявна здатність відносно - лінійного та циркулярного двопронезаломлення -  $(2p/l)dDn = 0.1^\circ$ ; - орієнтації швидкої осі та осі максимального пропускання -  $Da, Dq = 0.1^\circ$ ; - лінійного та циркулярного дихроїзму  $p^\perp/p\parallel, (r_l-r_r)/(r_l+r_r) = 0.02$ .

Дослідження вимірювальних схем поляриметрів з послідовним зондуванням та схем з динамічним перетворенням поляризації випромінювання дозволило розробити аналітичну базу для визначення та врахування індивідуального характеру залежностей похибок визначення параметрів Стокса та елементів матриць Мюллера середовищ в кожній конкретній схемі. Її аналіз виявив, що не можна *a priori* віддати перевагу одному або іншому методу поляриметричних вимірювань.

Таким чином вперше в поляриметрії розроблено підстави для створення поляриметрів та методології поляриметричних досліджень, взагалі, які реалізують вищезазначену концепцію адаптивної Мюллер-поляриметрії. Тобто, вибір відповідного методу вимірювання і конкретного варіанту його реалізації (структури вимірюваної неповної матриці Мюллера) має обумовлюватися поляризаційними властивостями досліджуваного об'єкта. При цьому вибір має здійснюватись автоматизовано на основі поповнюваної системи критеріїв.

Поєднання фундаментального та прикладного доробку і експериментального досвіду дозволило розробити комплексний підхід щодо постановки та оптимізації поляриметричних досліджень – метод адаптивної Мюллер-поляриметрії. Практична значимість цього методу полягає у тому, що він дозволяє отримати максимальний об'єм інформації про досліджуваний об'єкт з максимально досяжною точністю і швидкістю. До того ж відбуватиметься це при тій же заданій конфігурації та метрологічних характеристиках вузлів дослідної установки, тобто без додаткових матеріальних витрат.

## **Розроблення, створення та випробування фізичних та біологічних сенсорних систем на основі поверхневого плазмонного резонансу.**

Третя складова сучасної поляриметрії міститься у розробленні та створенні ряду фізичних та біологічних сенсорних систем на основі явища ППР. У цьому ряду приладів біологічні та хімічні сенсори являють собою новітній практичний результат поєднання науки та технології, особливо ефективний у галузі медико-біологічних досліджень. Принцип функціонування таких сенсорних систем використовує високу чутливість явища резонансу, параметри якого у вигляді інтенсивності або фази відбитого р-поляризованого випромінювання залежать від фізичних властивостей досліджуваного середовища на поверхні чутливого елемента сенсора. Найважливішою перевагою сенсорів на основі ППР є їх здатність на безпосередню реєстрацію у реальному масштабі часу кінетики специфічних біомолекулярних взаємодій чи взагалі зміни діелектричних властивостей зовнішнього відносно металевій плівці середовища. Цим самим відкриваються принципово нові можливості для вивчення механізмів молекулярного розпізнавання, реєстрації особливостей ДНК в невідомих зразках, створення сучасних методів аналізу в медичній та ветеринарній медицині.

Для практичного використання сенсорної системи проведено моделювання явища ППР у рамках математичного формалізму з точки зору оптимізації її чутливості в залежності від товщини плівки металу, довжини хвилі використаного випромінювання та значень оптичних параметрів матеріалів сенсору. Розглянуто варіанти збільшення чутливості сенсорів, побудованих за схемою шаруватої структури діелектрик-метал-діелектрик. З метою порівняння методик чутливості розглянуто дві схеми комп'ютерної обробки кривої резонансу: оригінальна – де інформативним є значення похідної в позиції, близької до позиції, що відповідає напівширині кривої резонансу, та більш традиційна – де інформативним є зміщення кутової позиції мінімуму ППР-кривої. Для прикладу, зафіксовано різницю показника заломлення чистого повітря та повітря з 10% домішкою водню, або збільшення атмосферного тиску на 10 Па.

Запропоновано оригінальний підхід для реєстрації мутних середовищ за допомогою ППР. Оскільки явище ППР має місце в умовах ПВО і радіаційна мода відсутня, то з'являється можливість зареєструвати комплексний показник заломлення таких непрозорих речовин як кров та молоко. Запропоновано фізичну інтерпретацію явища ППР в мутних середовищах, де діелектрична проникність стає неоднорідною і може бути відображена методами теорії ефективного середовища.

З метою підвищення чутливості реєстрації адсорбції молекул на поверхні металу реалізовано спробу збільшення загальної поверхні шляхом спеціального середовища – тонкої плівки нанопоруватого оксиду алюмінію. В результаті доведено придатність та перспективність відзначених сенсорних наноструктур для детектування вологого повітря, ацетону, етанолу та гексану.

**Практична значимість циклу робіт.** Розроблено технологію виготовлення модуляційних пристроїв, функціонування яких ґрунтується на фізичних ефектах і полягає у періодичній зміні фаз ортогональних компонент лінійно та циркулярно поляризованого випромінювання. Про досконалість модуляційних пристроїв свідчить незмінність амплітуди модульованої хвилі, що відповідає визначенню терміна поляризаційної модуляції. Розроблено базову технологію модуляційної поляриметрії, як одного із сучасних ефективних засобів наукового експерименту, основною функцією якої є фізичне виділення поляризованої компоненти світла.

З використанням фотопружного ефекту у якості фізичного принципу модуляції та розробленої низки модуляторів побудовано ряд експериментальних установок для вимірювання ефектів амплітудної та фазової анізотропії. Розроблено та виготовлено



модуляційний **кутовий поляриметр** для вимірювання параметрів ППР у практично всіх об'єктах сучасної нанофізики твердого тіла.

Розроблено та виготовлено модуляційно-поляризаційний **лазерний тензометр** для визначення просторового розподілу величини термонапружень у твердих тілах, реєстраційна швидкодія перевершує наявні рентгенівські установки.

Вагомим результатом прикладного характеру стало створення першого в Україні **автоматизованого Мюллер-поляриметра** з джерелом випромінювання 10.6 мкм, яка узгоджується з «вікном» прозорості земної атмосфери і активно використовується військовими, астрономами та екологами для дистанційного моніторингу відповідних об'єктів. Поєднання фундаментального та прикладного доробку і експериментального досвіду дозволило розробити комплексний підхід щодо постановки та оптимізації поляриметричних досліджень – метод адаптивної Мюллер-поляриметрії. Практична значимість цього методу у тому, що він дозволяє забезпечити отримання максимального об'єму інформації про досліджуваний об'єкт з максимально досяжною точністю та швидкістю при заданій конфігурації та метрологічних характеристиках вузлів дослідної установки без додаткових матеріальних витрат.

Запропоновано метод, що дозволяє отримувати найкращі оцінки для повних і неповних матриць Мюллера в класі матриць, який відповідає класу оберненої задачі, що розглядається. Продемонстровано, що даний метод дозволяє вирішити проблему істотної некоректності оберненої задачі поляриметрії і нестійкості розв'язків на основі неповних матриць Мюллера. Тим самим вперше доведено перспективність використання і інформативність методу неповних матриць Мюллера при дослідженні анізотропних характеристик об'єктів.

Розроблення на основі явища ППР приладів для реєстрації біомолекулярних

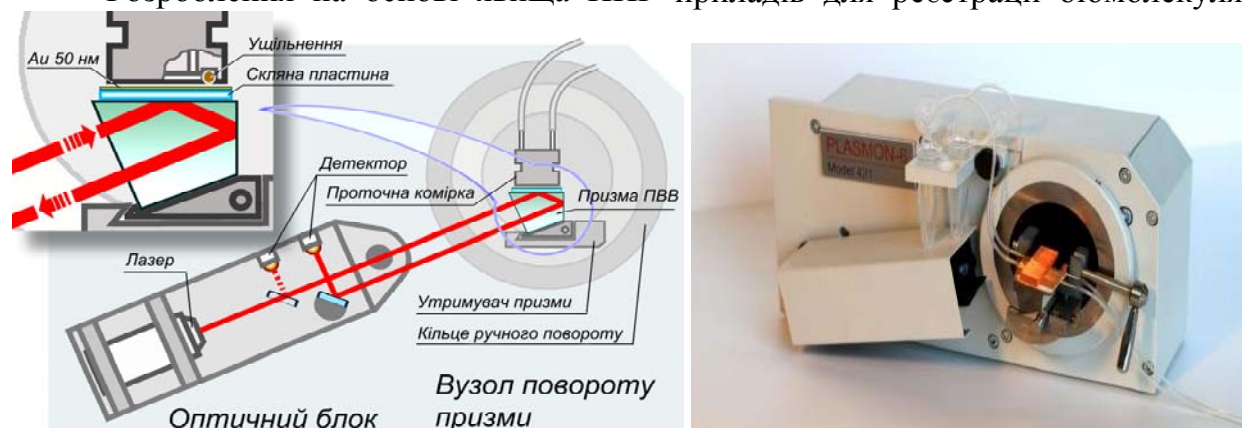


Рис.7. Оптична схема серійного приладу та одна із моделей - Плазмон-6.

Галузі застосування: ветеринарія; медицина; біотехнологія; харчова промисловість; екологічний моніторинг; митний контроль.

реакцій розпочалось в ІФН ім. В.Є.Лашкарьова НАН України на початку 1990-х років практично одночасно зі шведською компанією Pharmacia Biosensor AB. Результатом цих робіт є експериментальний зразок біосенсору **Плазмон-1**. Його випробування та вдосконалення призвело до створення приладів **Плазмон-4** та першого серійно спроможного біосенсору **Плазмон-5**, цілком придатних для експлуатації в умовах лабораторій біохімічного та біофізичного профілю. Подальшим вдосконаленням схеми приладу та його програмного забезпечення створено прилад **Плазмон-6**, яким розпочато модельний ряд ППР-спектрометрів серії "**Плазмон**". На даний час модельний ряд включає двоканальні прилади **Плазмон-6**, **Плазмон-7** та **Плазмон-71**. Наявність двох каналів дозволяє проводити два різних дослідження одночасно, або працювати за диференційною схемою, використовуючи один із каналів як опорний. Диференційні виміри значно підвищують реальну чутливість приладу завдяки

виключення впливу багатьох зовнішніх факторів. Створено універсальний багатоканальний прилад **Плазмон-8** (рис. 7), який дозволяє проводити одночасно вісім незалежних досліджень, та прилад **Лейкоплазм-2**, що є спеціалізованим для діагностування лейкозу великої рогатої худоби.

Основне призначення приладів – використання їх як біосенсорів для наукових досліджень, діагностування захворювань, для лабораторних аналізів наявності деяких отруйних та інших шкідливих речовин тощо. Здатність приладів до визначення оптичних констант відкриває шлях для широкого їх використання в фізичних дослідженнях тонких плівок. Наявність системи точного калібрування кута падіння світла та створеного математичного апарату повного чисельного аналізу резонансної кривої дозволяє визначати оптичні константи досліджуваних рідких або газоподібних речовин, що знаходяться на плазмон-підтримуючій плівці.

#### **Висновки:**

- в циклі наукових праць розроблено теоретичні та фізико-технічні засади новітнього експериментального напрямку – поляриметрії високої інформативної здатності;
- досягнення в розробці модуляційної поляриметрії спричинили нову технологію експерименту - Стокс-поляриметрію, що сприяло виявленню низки фундаментальних ефектів у фізиці твердого тіла (міждолинна фотоманітна ЕРС в Ge та Si, поляризаційно залежна вентильна фотоерс, термофотопружний ефект, розмірні класичний та топологічний ефекти в наноматеріалах тощо);
- розроблено нову концепцію вимірювальної поляриметрії - адаптивну Мюллер-поляриметрію та створено базову установку для її реалізації;
- розроблено поляриметричні прилади різних типів, функціонування яких ґрунтується на принципі Стокс-поляриметрії;
- свідченням широкого використання приладів «Плазмон» є свідоцтво №37-477-14 про їх державну метрологічну атестацію;
- розроблено технологію серійного виготовлення ряду приладів "Плазмон" та проведено їх широкомасштабне випробування в медико-біологічних установах: Інститут нейрохірургії ім. А.П.Ромоданова АМН України; Інститут біохімії ім. О.В.Палладіна НАН України; Інститут мікробіології ім. Д.К.Заболотного НАН України; Інститут експериментальної патології, онкології та радіобіології ім. Р.Е.Кавецького; Інститут молекулярної біології і генетики НАН України.

В рамках договорів про співробітництво передано прилади серії **Плазмон** установам: Інституту нейрохірургії ім. А.П.Ромоданова АМН України; Національному технічному університету «Київський політехнічний інститут»; Інституту імунології Національного медичного університету ім. О.О.Богомольця.

В різних формах міжнародного співробітництва прилади серії **Плазмон** використовуються у **15 зарубіжних установах.**

*Результати досліджень викладено у 228 публікаціях, в т.ч. у 19 монографіях, 40 патентах та 169 статтях у реферованих журналах (в т.ч. 94 статті у 37 зарубіжних журналах). Згідно баз даних Scopus публікації авторів процитовано у 431 наукових журналах, а загальний індекс цитування цих публікацій складає 1412, h-індекс = 21. За даною тематикою захищено 3 докторських та 14 кандидатських дисертацій.*

Матяш І.Є.

Руденко С.П.

Самойлов А.В.

Савенков С.М.

Сердега Б.К.

Стешенко С.О.

Ушенін Ю.В.

Ширшов Ю.М.