

## ОПТИКО-ПОЛЯРИЗАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ НАНОСТРУКТУР ZnO, ВИЯВЛЕНІ ТЕХНІКОЮ МОДУЛЯЦІЙНОЇ ПОЛЯРИМЕТРІЇ

К. ф.-м. н. А. П. Чебаненко<sup>1</sup>, Л. М. Філевська<sup>1</sup>, к. ф.-м. н. В. С. Гріневич<sup>1</sup>,  
к. ф.-м. н. І. Є. Матяш<sup>2</sup>, к. ф.-м. н. І. А. Мінайлова<sup>2</sup>, д. ф.-м. н. Б. К. Сердега<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Одеський національний університет імені І. І. Мечникова;

<sup>2</sup>Інститут фізики напівпровідників

ім. В. Є. Лашкарьова НАН України, м. Київ

Україна

irinaminailova125@gmail.com

*Практичне застосування плівок ZnO в електроніці стимулює розроблення та удосконалення технології їх виготовлення. В роботі досліджено зразки, отримані методом хімічного осадження з розчинів ацетату цинку та термічним окисленням плівок цинку. Для дослідження їхніх оптико-поляризаційних властивостей використано техніку модуляційної поляриметрії у варіанті внутрішнього відбиття (геометрія Кречмана). За характером спектральних та кутових залежностей компонентів вектора Стокса виявлено кластерну структуру плівок та незалежну від кута падіння дипольну резонансну взаємодію з електромагнітною хвилею.*

*Ключові слова: модуляційна поляриметрія, плазмонний резонанс, плівки оксиду цинку.*

Пошук нових наноматеріалів, властивості яких визначаються їхньою морфологією, стимулюється використанням цих матеріалів у багатьох практичних застосуваннях. Для їх виявлення використовують різноманітні методи, перелік яких у супроводі значної кількості посилань викладено в [1]. Проте в цьому переліку відсутня інформація про використання модуляційної поляриметрії, що показала свою значну інформативність на прикладах досліджень різноманітних матеріалів у нанорозмірному вимірі [2].

Метою цього дослідження є випробування техніки модуляційної поляриметрії для досліджень оптичних властивостей металодіелектричних нанорозмірних плівок ZnO та інтерпретації їхніх топологічних властивостей з використанням даних, наведених у [2].

Для вимірювань використано три групи зразків. Зразки груп *A* та *B* виготовляли з водного розчину ацетату цинку ( $Zn(O_2CCH_3)_2$ ) з концентрацією 0,25 моль. У розчин для зразків групи *B* додавали 1%-й водний розчин полівінілового спирту ( $C_2H_4O$ ), що підвищувало структурування плівок. Після кількарразового занурення підкладок у розчин зразки відпалювали на повітрі за температури 310°C протягом 60 хвилин. Для отримання зразків групи *C* на очищені скляні підкладки методом термічного нашарування у високому вакуумі наносили тонкі плівки металевого цинку. Після цього плівки цинку відпалювались в атмосфері повітря у закритому просторі за температури 570°C протягом 10—30 хвилин. В результаті відбувався процес окислення та утворювались напівпрозорі плівки оксиду цинку.

При вимірюванні залежностей коефіцієнтів внутрішнього відбиття в геометрії Кречмана [4] із застосуванням техніки модуляційної поляриметрії [3] отримані результати мають підвищену інформативність завдяки тому, що в кутових залежностях міститься інформація про наявність поверхневого плазмонного резонансу, а спектральні характеристики свідчать про амплітудно-фазові параметри резонансу.

На рис. 1, *a* представлено залежності коефіцієнта відбиття  $R_s^2$  для *s*-поляризованого випромінювання зразка групи *A* та поляризаційної різниці  $\rho$  від кута падіння світла  $\Theta$  для зразка групи *A* (рис. 1, *b*). Як показано у [5], параметр  $\rho = R_s^2 - R_p^2$ , що є носієм інформації про два коефіцієнти відбиття, завдяки фізичному відніманню позбавлений похибок, що супроводжують цю операцію, коли вона відбувається математичною дією.

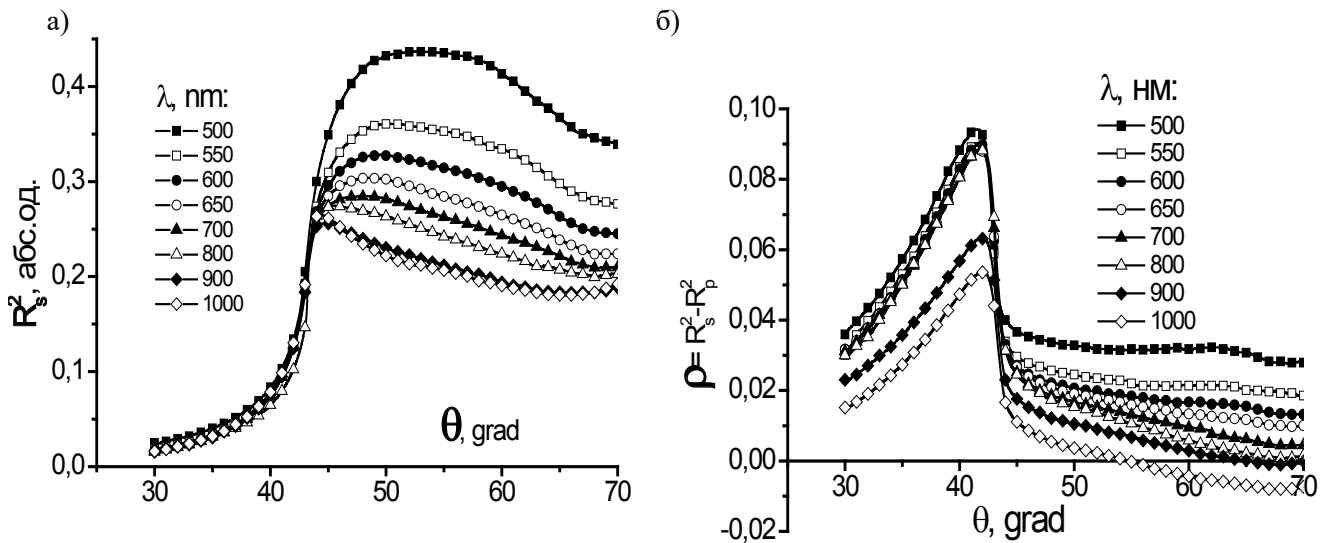


Рис. 1. Залежності коефіцієнта відбиття  $R_s^2$  для  $s$ -поляризованого випромінювання (а) та поляризаційної різниці  $\rho = R_s^2 - R_p^2$  (б) від кута падіння світла  $\theta$  для зразка групи А

Проведені дослідження дозволили виявити, що характерною ознакою експериментальних залежностей є наявність плазмон-поляритонного резонансу не тільки для  $p$ -поляризованого випромінювання, що властиво однорідним суцільним плівкам, але й для  $s$ -поляризованого випромінювання. Ця остання обставина вказує на кластерну структуру отриманих плівок. Результати експерименту добре узгоджуються з АСМ-фазовою топологією поверхні зразків. Ця модель базується на тому реальному факті, що в разі ізольованих діелектриком кластерів електромагнітні хвилі  $s$ - і  $p$ -поляризованих станів по чергово орієнтовані компонентами поля уздовж нормалі до поверхні кластера

Отримані результати свідчать про придатність нанорозмірних плівок ZnO групи А виконувати роль оптичних плазмонних сенсорів.

#### ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Bhardwaj R., Bharti A., Singh J. E. et al. Structural and electronic investigation of ZnO nanostructures synthesized under different environments. *Heliyon*, 2018, vol. 4, iss. 4, E00594. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00594>
2. Rudenko S.P., Maksimenko L.S., Matyash I.E. et al. Diagnostic of surface plasmons resonances in nanosized gold films by modulation polarization spectroscopy. *Plasmonics*, 2016, vol. 11, № 2, p. 557–563.
3. Сердега Б.К. *Модуляційна поляриметрия*. Київ, Наукова думка, 2011, 260 с.
4. Kretschman E. Die bestimmung optischer konstanten von metallen durch anregung von oberflachschwingungen. *Z. Physik*, 1971, vol. 241, p. 313–324.
5. Гриневич В.С., Максименко Л.С., Матяш І.Е. и др. Поляризационные характеристики поверхностного плазмонного резонанса в нанокластерных пленках SnO<sub>2</sub>. *ФТТ*, 2011, т. 45, вып. 11.

A. P. Chebanenko, L. M. Filevskaya, V. S. Grinevich, I. E. Matyash, I. A. Minailova, B. K. Serdega

#### Optical polarization properties of ZnO nanostructures detected by the modulation polarimetry technique

*The practical application of ZnO films in various areas of electronics stimulates the development and improvement of their production technology. The authors study the samples obtained by chemical deposition from zinc acetate solutions and thermal oxidation of zinc films. The optical-polarization properties of the films are studied using the modulation polarimetry technique in the version of internal reflection (Kretschman geometry). The nature of the spectral and angular dependences of the Stokes vector components allowed discovering the cluster structure of the films and finding that the dipole resonant interaction with the electromagnetic wave is independent of the angle of incidence.*

*Keywords: modulation polarimetry, plasmon resonance, zinc oxide films.*