

УДК 621.383.52

ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТОНКИХ ПЛІВОК NiO

Г. П. Пархоменко, к. т. н. М. М. Солован, к. т. н. А. І. Мостовий,
д. ф.-м. н. П. Д. Мар'янчук

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича,
Україна, м. Чернівці
h.parkhomenko@chnu.edu.ua

Використавши метод реактивного магнетронного розпилення при постійній напрузі було отримано тонкі плівки NiO. За допомогою конвертного методу визначено спектральні залежності оптичних коефіцієнтів (показник заломлення $n(\lambda)$, коефіцієнт поглинання $\alpha(\lambda)$, коефіцієнт екстинкції $k(\lambda)$), а також товщину плівки d та ширину забороненої зони тонких плівок NiO.

Ключові слова: NiO, тонкі плівки, оптичні властивості.

На сьогодні тонкі плівки оксидів металів викликають значний науковий і практичний інтерес. Прозорі провідні шари широко застосовуються для виготовлення приладів електроніки, оптоелектроніки і сонячної енергетики. Зокрема, оксид нікелю (NiO) досить широко використовується в різних приладах, особливо в галузі фотоелектричної техніки для різних цілей: прозорі шари (вікна) для сонячних елементів, антивідбивальне покриття [1, 2]. Тому метою даної роботи було дослідження оптичних властивостей тонких плівок NiO.

Нанесення тонких плівок NiO проводилося на попередньо очищені підкладки із покривного скла в універсальній вакуумній установці Leybold-Heгаeus L560 за допомогою реактивного магнетронного розпилення при постійній напрузі. Перед початком процесу напилення вакуумна камера відкачувалася до залишкового тиску $5 \cdot 10^{-3}$ Па. Використовувалося короткочасне протравлювання бомбардувальними іонами аргону поверхні мішені та підкладки для видалення неконтрольованого забруднення.

Для напилення плівок NiO нікелева мішень (99,99) (шайба діаметром 100 мм і товщиною приблизно 1 мм) розміщувалася на столику магнетрона з водяним охолодженням на відстані 7 см від підкладок. Температура підкладок контролювалася системою термодпар у вакуумній камері і становила приблизно 100°C. Протягом процесу напилення парціальні тиски у вакуумній камері складали $3,4 \cdot 10^{-3}$ мбар для аргону та $2,4 \cdot 10^{-4}$ мбар для кисню. Була встановлена потужність магнетрона 120 Вт. Процес напилення тривав 10 хв.

Спектр пропускання тонких плівок NiO отримано за допомогою спектрофотометра СФ-2000. Експериментальні точки знімалися в області довжин хвиль 200 – 1100 нм із кроком 1 нм.

На рис. 1 представлено типовий спектр пропускання тонких плівок NiO. На спектрах пропускання тонких плівок NiO спостерігаються періодичні піки та впадини, які обумовлені інтерференційними явищами. Це свідчить про хорошу однорідність та якість поверхні тонких плівок.

Оптичні коефіцієнти тонких плівок (показник заломлення $n(\lambda)$, коефіцієнт екстинкції $k(\lambda)$, коефіцієнт поглинання $\alpha(\lambda)$) були визначені із спектра пропускання з інтерференційними ефектами з використанням конвертного методу [3, 4]. Даний метод можна застосовувати за умови слабого поглинання тонкою плівкою та повністю прозорої підкладки, товщина якої набагато більша від товщини плівки. Ці вимоги задовольняються у нашому випадку. Для визначення товщини d плівок за допомогою конвертного методу використовували формулу

$$d = \frac{A\lambda_1\lambda_2}{2[n(\lambda_1)\lambda_2 - n(\lambda_2)\lambda_1]}, \quad (1)$$

де λ_1 та λ_2 – довжини хвиль, які відповідають сусіднім екстремальним точкам на спектрі пропускання, $A = 1$ для двох сусідніх екстремумів одного типу (max – max, min – min) і $A = 0,5$ для двох сусідніх екстремумів протилежного типу (max – min, min – max).

Середнє значення товщини плівок NiO, що розраховане за формулою (1) для усіх комбінацій

екстремальних точок, складає приблизно 0,28 мкм.

Коефіцієнт поглинання $\alpha(\lambda)$ в області власного поглинання тонких плівок був визначений за формулою

$$\alpha(\lambda) = \frac{1}{d} \ln \left[\frac{(1 - R_1(\lambda))(1 - R_2(\lambda))(1 - R_{12}(\lambda))}{T(\lambda)} \right], \quad (2)$$

де T – пропускання; R_1, R_{12}, R_2 – коефіцієнти відбивання від границь відповідно повітря – плівка, плівка – підкладка, підкладка – повітря,

$$R_1 = \left(\frac{n(\lambda) - 1}{n(\lambda) + 1} \right)^2, \quad R_{12} = \left(\frac{n_s - n(\lambda)}{n_s + n(\lambda)} \right)^2, \quad R_2 = \left(\frac{1 - n_s}{1 + n_s} \right)^2.$$

Спектри поглинання тонких плівок NiO в короткохвильовій області формуються прямими міжзонними оптичними переходами, на що вказує прямолінійна ділянка залежності $\alpha^2 = f(h\nu)$ (рис. 2). Шляхом екстраполяції прямолінійної ділянки залежності $\alpha^2 = f(h\nu)$ до перетину з віссю енергій ($\alpha^2 = 0$) [5] визначено ширину забороненої зони тонкої плівки NiO ($E_g = 3,38$ еВ).

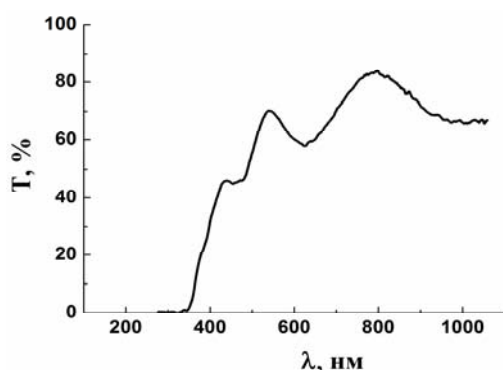


Рис. 1. Спектр пропускання тонкої плівки NiO, напиленої на скляну підкладку

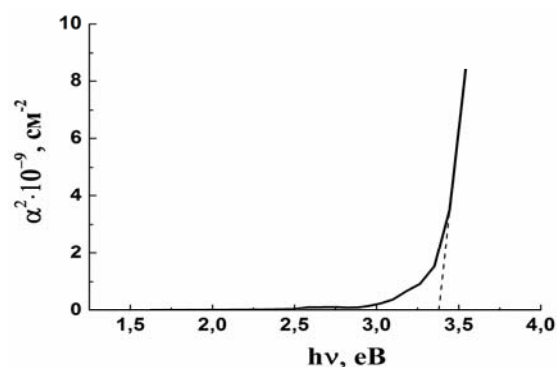


Рис. 2. Графік залежності $\alpha^2 = f(h\nu)$ для тонких плівок NiO

Таким чином, на основі спектральних залежностей пропускання тонких плівок NiO, використавши конвертний метод, визначено основні оптичні константи: показник заломлення $n(\lambda)$, коефіцієнт поглинання $\alpha(\lambda)$, коефіцієнт екстинкції $k(\lambda)$, а також товщину тонких плівок NiO $d \approx 0,28$ мкм, напиленої методом реактивного магнетронного розпилення на підкладки з покривного скла. Встановлено наявність в плівках прямих міжзонних оптичних переходів. Ширина забороненої зони досліджуваних плівок становить $E_g \approx 3,4$ еВ, що добре узгоджується з даними, отриманими в [2].

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Nel J. M., Auret F. D., Wu L., Legodi M. J., Meyer W. E., Hayes M. Fabrication and characterisation of NiO/ZnO structures // *Sensors and Actuators B: Chemical*, (2004). 100(1), 270–276.
2. Sasi B., Gopchandran K. G., Manoj P. K., Koshy P., Rao P. P., Vaidyan V. K. Preparation of transparent and semiconducting NiO films // *Vacuum*, (2002). 68(2), 149–154.
3. Sanchez-Gonzalez J. Determination of optical properties in nanostructured thin films using the Swanepoel method // *Applied Surface Science*.– 2006.– 252.– 6013–6017.
4. Брус В. В. Визначення оптичних властивостей тонких плівок TiO₂ за допомогою конвертного методу // *Східно-європейський журнал передових технологій*.– 2010.– 47(5) .– 13.
5. Уханов Ю. И. Оптические свойства полупроводников.– Москва: Наука, 1977.

G. P. Parkhomenko, M. M. Solovan, A. I. Mostovyi, P. D. Maryanchuk

Optical properties of NiO thin films

Nickel oxide is a large band gap semiconductor with many interesting properties. This material possesses high refractive index and low absorption coefficient in visible range, which makes it an excellent optical coating material. Nickel oxide thin films were deposited onto the glass in a universal coating system Leybold – Heraeus L560 by DC reactive magnetron sputtering. The transmission spectra of the NiO thin films were measured by a spectrophotometer SF-2000 within the wavelength range 200 – 1100 nm with a step of 1 nm.

Keywords: NiO, thin films, optical properties.