

## **ВЛИЯНИЕ ПОДЛОЖКИ НА ПРОПУСКАНИЕ И ОТРАЖЕНИЕ СЛОЕВЫХ СТРУКТУР<sup>1</sup>**

**С. С. Михеев, А. Б. Сотский, Н. И. Стаськов**

(Учреждение образования «Могилевский государственный университет имени А. А. Кулешова»,  
кафедра общей физики)

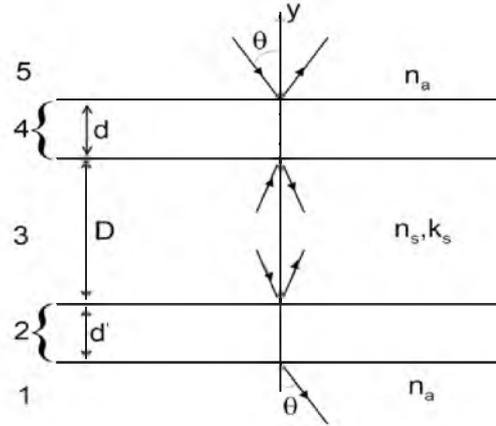
*С помощью аналитических приближений для спектров отражательной  $R(\lambda)$  и пропускательной  $T(\lambda)$  способностей частично когерентного света выполнено решение обратной задачи спектрофотометрии для наноразмерной пленки оксида цинка, легированного алюминием ( $ZnO:Al$ ), нанесенной на плоскопараллельную стеклянную подложку.*

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке ГПНИ Республики Беларусь «Фотоника, опто- и микроэлектроника 1.3.03».

Спектрофотометрия является одним из методов, который широко применяется для определения основных оптических и геометрических параметров наноразмерных пленок. В спектрофотометрах используются широкополосные источники света, из которых при помощи перестраиваемого монохроматора можно выделить узкий диапазон длин волн. В этом случае излучение, падающее на исследуемую структуру, является частично когерентным. При решении обратных задач этот факт необходимо учитывать, так как частично когерентное излучение может оказывать довольно ощутимое влияние на измеряемые прибором спектры  $R(\lambda)$  и  $T(\lambda)$  [1–3].

Исследуемая структура представляет собой наноразмерную пленку ZnO:Al на плоскопараллельной стеклянной подложке, толщиной 2.14 мм (рис. 1).



**Рис. 1.** Модель исследуемой структуры:  $n_a$  – показатель преломления воздуха;  $n_s, k_s$  – показатели преломления и поглощения подложки, которая размещена в области  $-D - d \leq y \leq -d$ ;  $d, d'$  – толщины неоднородных слоев на подложке;  $\theta$  – угол падения излучения на исследуемую структуру

При решении обратной задачи использовались аналитические приближения, учитывающие частичную когерентность зондирующего излучения

$$R_\alpha(\lambda_0) = \left| r_{53}^{(\alpha)} \right|^2 + \left| r_{31}^{(\alpha)} t_{35}^{(\alpha)} t_{53}^{(\alpha)} \exp(-2ik_y^{(s)} D) \right|^2 \left[ 1 - \left| r_{31}^{(\alpha)} r_{35}^{(\alpha)} \exp(-2ik_y^{(s)} D) \right|^2 \right]^{-1},$$

$$T_\alpha(\lambda_0) = \left| t_{53}^{(\alpha)} t_{31}^{(\alpha)} \exp(-ik_y^{(s)} D) \right|^2 \left[ 1 - \left| r_{31}^{(\alpha)} r_{35}^{(\alpha)} \exp(-2ik_y^{(s)} D) \right|^2 \right]^{-1},$$

где  $\alpha$  – символ поляризации излучения, равный  $s$ , либо  $p$ ,  $k_{ys} = k_0 \sqrt{\varepsilon_s - \beta^2}$ ,  $k_0 = \omega c^{-1}$  – волновое число вакуума,  $c$  – скорость света в вакууме,  $\varepsilon_s = (n_s - ik_s)^2$ ,  $\beta = n_a \sin \theta$ ,

$$r_{53}^{(p)} = [ik_{ya} u_1(0) - n_a^2 v_1(0)] [ik_{ya} u_1(0) + n_a^2 v_1(0)]^{-1},$$

$$t_{53}^{(p)} = 2ik_{ya} [ik_{ya} u_1(0) + n_a^2 v_1(0)]^{-1},$$

$$r_{35}^{(s)} = [ik_{ys} u_2(-d) + \varepsilon_s v_2(-d)] [ik_{ys} u_2(-d) - \varepsilon_s v_2(-d)]^{-1},$$

$$t_{35}^{(s)} = 2ik_{ys} [ik_{ys} u_2(-d) - \varepsilon_s v_2(-d)]^{-1},$$

$$r_{31}^{(s)} = [ik_{ys} u(-d-D) - \varepsilon_s v(-d-D)] [ik_{ys} u(-d-D) + \varepsilon_s v(-d-D)]^{-1},$$

$$t_{31}^{(s)} = 2ik_{ys} [ik_{ys} u(-d-D) + \varepsilon_s v(-d-D)]^{-1},$$

$$k_{ya} = k_0 \sqrt{n_a^2 - \beta^2}, \quad k_y = k_0 \sqrt{\varepsilon - \beta^2},$$

$$u_1(0) = \cos(k_y d) + ik_{ys} k_y^{-1} \sin(k_y d), \quad v_1(0) = -k_y \sin(k_y d) + ik_{ys} \cos(k_y d),$$

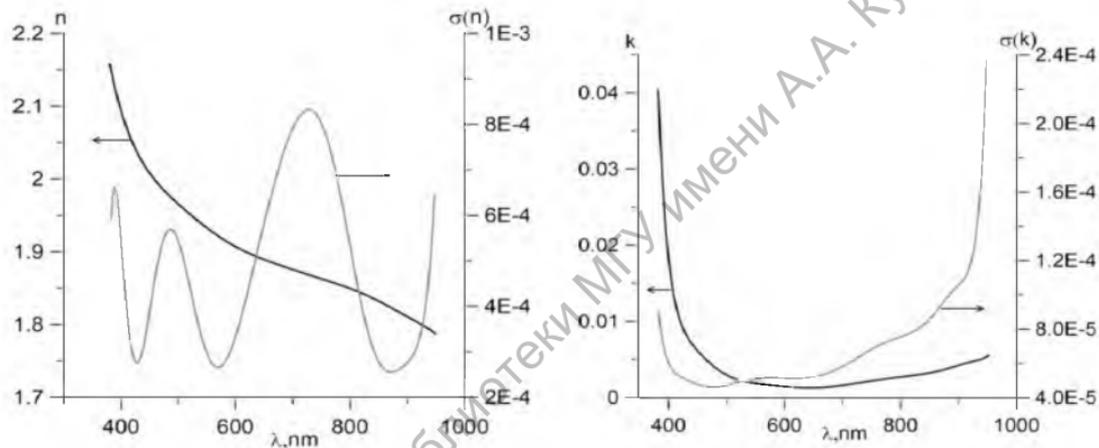
$$u_2(-d) = \cos(k_y d) + ik_{ya} k_y^{-1} \sin(k_y d), \quad v_2(-d) = k_y \sin(k_y d) - ik_{ya} \cos(k_y d),$$

$$u(-d-D) = \cos(k'_y d') + ik_{ya} k'_y{}^{-1} \sin(k'_y d'),$$

$$v(-d-D) = -k'_y \sin(k'_y d') + ik_{ya} \cos(k'_y d'),$$

$k'_y = k_0 \sqrt{\varepsilon' - \beta^2}$ ,  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость слоя 4,  $\varepsilon'$  – диэлектрическая проницаемость слоя 2.

Результат решения обратной задачи представлен на рис. 2. Восстановленная толщина пленки оказалась равна 355.2 нм.



**Рис. 2.** Восстановленные спектры  $n(\lambda)$ ,  $k(\lambda)$  и их среднеквадратичные ошибки  $\sigma$  для пленки ZnO:Al на стеклянной подложке

### Литература

1. Minkov, D. Computation of the optical constants of a thin dielectric layer on a transmitting substrate from the reflection spectrum at inclined incidence of light / D. Minkov // J. Opt. Soc. Am. A. – 1991. – Vol. 8, № 2. – P. 306–310.
2. Gonzalez-Leal, J. M. Influence of substrate absorption on the optical and geometrical characterization of thin dielectric films // J. M. Gonzalez-Leal, R. Prieto-Alcon, J. A. Angel, D. A. Minkov, E. Marquez // Appl. Opt. – 2002. – Vol. 41, № 34. – P. 7300–7308.
3. Fu, K. Unified analytical formulation of thin-film radiative properties including partial coherence / K. Fu, P. Hsu, Z. M. Zhang // Appl. Opt. – 2006. – Vol. 45, № 4. – P. 653–661.