

УДК 621.372.8:535

## ЗАДАЧА СПЕКТРОФОТОМЕТРИИ РАСТУЩЕГО СЛОЯ

Л. И. СОТСКАЯ<sup>1</sup>, Е. А. ЧУДАКОВ<sup>2</sup>, А. Б. СОТСКИЙ<sup>2</sup><sup>1</sup>Белорусско-Российский университет<sup>2</sup>Могилевский государственный университет имени А. А. Кулешова

Могилев, Беларусь

При нанесении интерференционных покрытий на поверхности применяются встроенные спектрофотометрические системы контроля оптических параметров слоев. В них в реальном времени (*in situ*) многократно измеряются спектры отражения  $R_k(\lambda)$  либо пропускания  $T_k(\lambda)$  слоя в процессе его роста ( $k$  – номер измерения). В силу технологических ограничений такие измерения осуществляются при фиксированном (чаще всего нулевом) угле падения света на слой. Этим определяется специфика обратной задачи спектрофотометрии слоя *in situ*. Действительно, если спектр  $F_k(\lambda)$ , где  $F_k(\lambda) = R_k(\lambda)$ , либо  $F_k(\lambda) = T_k(\lambda)$  измерен на длинах волн  $\lambda_j$ , ( $j = \overline{1, m}$ ), то данная задача, состоящая в определении значений показателя преломления  $n_j = n(\lambda_j)$  и текущей толщины слоя  $d_k$ , не имеет единственного решения, т. к. число неизвестных параметров превышает число измерений. Для преодоления этой трудности необходимы дополнительные условия.

В работе в качестве такого условия рассматривается допущение постоянства показателя преломления слоя в процессе роста слоя. Тогда если измерены  $q$  спектров  $F_k(\lambda_j)$  ( $k = \overline{1, q}$ ), то  $qm > q + m$ , где  $qm$  – число измерений,  $q + m$  – число неизвестных.

Пусть слой наносится на плоскопараллельную диэлектрическую подложку. Тогда можно получить уравнение

$$d_k = 0,25\lambda\pi^{-1}\Phi(n, F_k), \quad (1)$$

где функция  $\Phi(n, F_k)$  допускает аналитическое задание. Алгоритм решения обратной задачи состоит в выборе некоторого значения  $n_1 = n(\lambda_1)$ , вычислении  $d_k$  на основании (1) и последующем численном решении уравнения (1) относительно  $n_j$  ( $j > 1$ ) при данном  $d_k$ . В результате достигается полное совпадение теоретических и экспериментальных спектров  $F_k(\lambda_j)$  при всех  $k$  и  $j$ . Но значения  $n_j$  ( $j > 1$ ) в общем случае зависят от  $k$  ( $n_j = n_{jk}$ ). Такая

зависимость исключается только при истинном  $n_1$ , который доставляет минимум функции

$$D(n_i) = (mq)^{-1} \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^q [n_{jk} - q^{-1} \sum_{p=1}^q n_{jp}]^2.$$

О корректности алгоритма свидетельствует рис. 1. Он соответствует нанесению слоя  $Nb_2O_5$  на подложку из стекла К8. В качестве «экспериментальных» использованы рассчитанные на основании строгих соотношений [1] спектры  $R_k(\lambda_j)$  при  $q = 5$ ,  $d_{k+1} - d_k = 2,8$ .

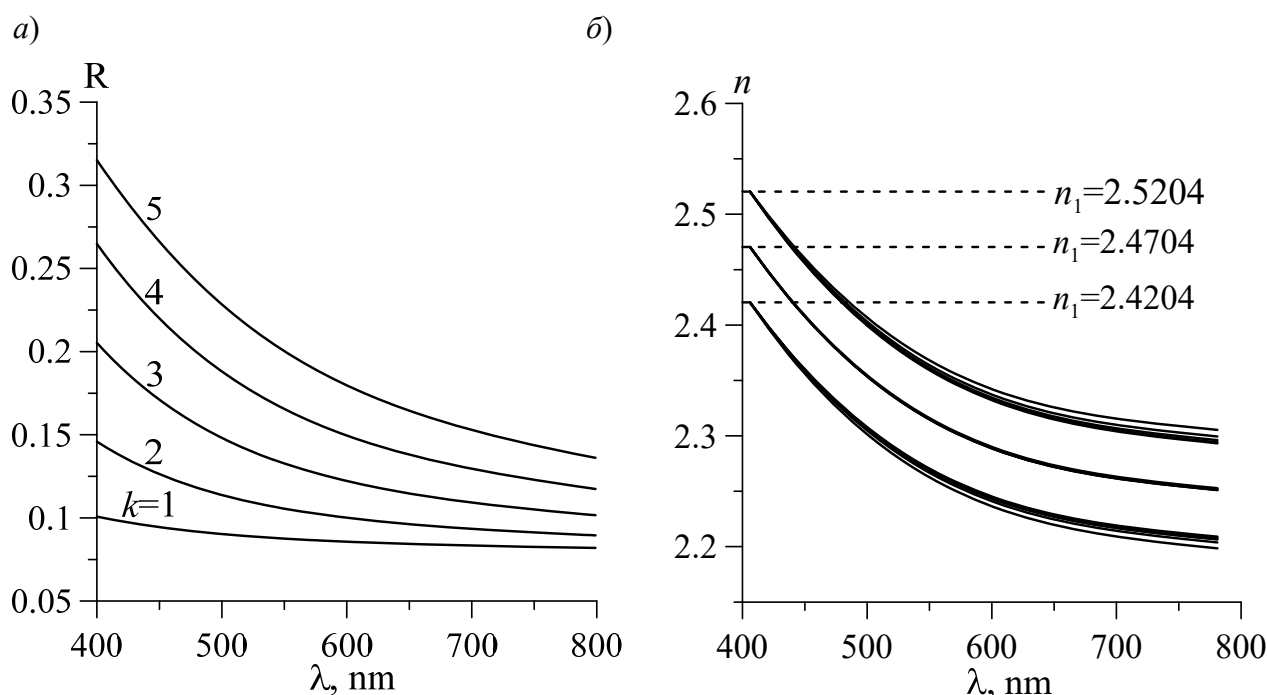


Рис. 1. Спектры коэффициента отражения растущего слоя (а) и результаты их обработки по описанному алгоритму (б)

Согласно рис. 1, б, при отклонении значения  $n_1$  от истинного  $n_1 = 2,4704$  действительно наблюдается разброс восстановленных спектров  $n(\lambda)$ , который возрастает по мере увеличения толщины слоя и удаления  $\lambda$  от  $\lambda_1 = 406$  нм.

Работа выполнена в рамках Государственной программы научных исследований РБ «1.15 Фотоника и электроника для инноваций».

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Спектроскопия слоев на плоскопараллельных подложках / А. Б. Сотский [и др.] // Оптика и спектроскопия. – 2020. – Т. 128, № 8. – С. 1133–1143.