

УДК 535.3: 535.016

Стащук В.С.¹, д.ф.-м.н., проф.,
Стукаленко В.В.², к.ф.-м.н., м.н.с.
Полянська О.П.³, інж.

Моделювання оптичних властивостей системи плівка діелектрика-метал

На основі розробленої двошарової моделі розраховано дисперсію коефіцієнта відбивання в широкій області спектру для системи діелектрик-перехідний шар-основа. Визначено оптичні і геометричні характеристики перехідного шару системи оксид алюмінію-мідь. Розраховані залежності задовільно узгоджуються з отриманими нами експериментальними даними.

Ключові слова: двошарова модель, оксид алюмінію, оптичні сталі, коефіцієнт відбивання.

^{1,2,3}Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 03680, м. Київ, пр-т. Глушкова 4д, e-mail: ²stu@univ.kiev.ua

Статтю представив д.ф.-м.н., проф. Макарець М. В.

Вступ

На поверхню металевих дзеркал, які повинні мати високу променеву стійкість, високу механічну міцність та твердість, наносять плівку діелектрика [1]. Значний інтерес становить з'ясування впливу плівки на дисперсію коефіцієнта відбивання $R(\lambda)$ системи: плівка діелектрика-металева основа [2,3].

При моделюванні властивостей таких систем, зазвичай використовуються відомі залежності коефіцієнта відбивання від оптичних сталей плівки і металу. Як відомо [4], поширення світла через шаруваті системи можна представляти в матричній формі.

В загальному випадку амплітудний коефіцієнт відбивання шаруватого середовища, згідно [4], пов'язаний з елементами характеристичної матриці M_x , яка характеризує поширення світла через середовище, визначається співвідношенням:

$$r = \frac{(m_{11} + m_{12}p_{oc})p_c - (m_{21} + m_{22}p_{oc})}{(m_{11} + m_{12}p_{oc})p_c + (m_{21} + m_{22}p_{oc})}, \quad (1)$$

де m_{ij} елементи матриці M_x , $p_s = n_s \cos \theta$, s – індекс, що характеризує, відповідно, c - середовище з якого падає світло, oc - основу, на

Stashchuk V.S.¹, Dr. Sci., Prof.,
Stukalenko V.V.², PhD., Sci. Res.
Polianska O.P.³, Eng.

Modeling of the optical properties of the dielectric's film-metal system

The reflection coefficient's dispersion in wide spectrum range was calculated for dielectric-transition layer-substrate system using two layer model. Optical and geometric characteristics of aluminum oxide-copper system's transition layer were determined. It was determined a good agreement between calculated and measured data.

Key Words: two layer model, thin film, aluminum oxide, optical constants, reflection coefficient.

^{1,2,3}Taras Shevchenko National University of Kyiv, 03680, Kyiv, Glushkova st., 4d, e-mail: ²stu@univ.kiev.ua

яку нанесено покриття, n – показник заломлення, θ - кут, під яким падає світло.

Для одношарової системи діелектрик – масивний метал, елементи характеристичної матриці є дійсними величинами і розрахунок r не викликає труднощів [5].

Двошарова модель

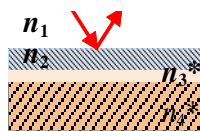


Рис. 1.

Задача ускладнюється, якщо врахувати, що між шарами діелектрика і металу утворюється перехідний шар, що складається частково із діелектрика, а частково із металу (рис. 1). Оптичні властивості цього шару є невідомими, показник заломлення є комплексною величиною.

Нами була створена програма для моделювання оптичних характеристик двошарової системи діелектрик-перехідний шар-основа. Вважалось, що система складається із плівки діелектрика з показником заломлення n_2 і тонкого перехідного шару з комплексним показником заломлення $n_3^* = n_3 + ik_3$. Характеристичні матриці цих плівок M_2 та M_3 (індекс 2 відноситься до плівки діелектрика, індекс 3 – до перехідного шару), в загальному випадку дорівнюють:

$$M_2 = \begin{pmatrix} \cos(k_0 n_2 d_2 \cos \theta) & -(i/p_2) \sin(k_0 n_2 d_2 \cos \theta) \\ -ip_2 \sin(k_0 n_2 d_2 \cos \theta) & \cos(k_0 n_2 d_2 \cos \theta) \end{pmatrix}$$

$$M_3 = \begin{pmatrix} \cos(k_0 n_3^* d_3 \cos \theta) & -(i/p_3) \sin(k_0 n_3^* d_3 \cos \theta) \\ -ip_3 \sin(k_0 n_3^* d_3 \cos \theta) & \cos(k_0 n_3^* d_3 \cos \theta) \end{pmatrix}$$

де k_0 – хвильовий вектор, d – товщина плівки (шару), $p = n \cos \theta$, θ – кут, під яким падає світло.

Результуючу матрицю системи плівка-перехідний шар знаходимо як векторний добуток вказаних матриць $M_r = M_2 \times M_3$. Підставивши у формулу (1) відповідні елементи цієї матриці, можна розрахувати коефіцієнт відбивання такої системи. У нашому випадку підкладкою служить метал, а це означає, що показник заломлення є комплексною величиною і відповідні елементи характеристичної матриці теж є комплексними величинами. Апробація моделі здійснювалася шляхом порівняння розрахованих нами даних і отриманих в літературі [4].

Постає питання: якими вибрати величини оптичних і геометричних характеристик перехідного шару (ПШ)? Товщина ПШ варіювалась в межах від кількох нм до 10 % від товщини нанесеної плівки оксиду. Окремо розглядалися випадки, коли сума товщин плівки оксиду і ПШ дорівнювала експериментально виміряній товщині конкретного зразка. Показник заломлення n_3 і коефіцієнт поглинання k_3 ПШ визначаємо за формулами: $n_3 = Xn_2 + Yn_4$, $k_3 = Zk_4$, де коефіцієнти X , Y , Z змінюються в широких межах, виходячи з фізичної доцільності, індекс 4 стосується величин, які характеризують основу. Створена нами програма дозволяє змінювати характеристики кожного із шарів, а також основи (металу) в широких межах. Для порівняння розрахованих і експериментальних даних обчислювався енергетичний коефіцієнт відбивання за формулою: $R = |r|^2$.

Результати та їх обговорення

На рис. 2 показані криві дисперсії коефіцієнта відбивання при варіації товщини d_3 перехідного шару, показника заломлення n_3 , коефіцієнта поглинання k_3 . Як видно з рис. 2 а, збільшення товщини перехідного шару веде до "просідання кривої" як цілого, без зміни положення екстремумів в шкалі довжин хвиль (відповідні значення величин параметрів вказані на рис. 2). Складна поведінка ходу дисперсії $R(\lambda)$ має місце при зміні n_3 в широких межах ($X=0 \div 1$, $Y=1 \div 0$). Якщо $X+Y > 1$, то крива $R(\lambda)$ опускається, особливо великою стає різниця в довгохвильовій (ДХ) області. В короткохвильовій (КХ) області при $X+Y < 1$, екстремуми $R(\lambda)$ зміщуються вгору порівняно із випадком без врахування ПШ (рис. 2.б). Зміна поглинання ПШ (параметра Z) веде до зміщення екстремумів в КХ-області і мало позначається на ході кривих $R(\lambda)$ в ДХ-області. (рис. 2 в).

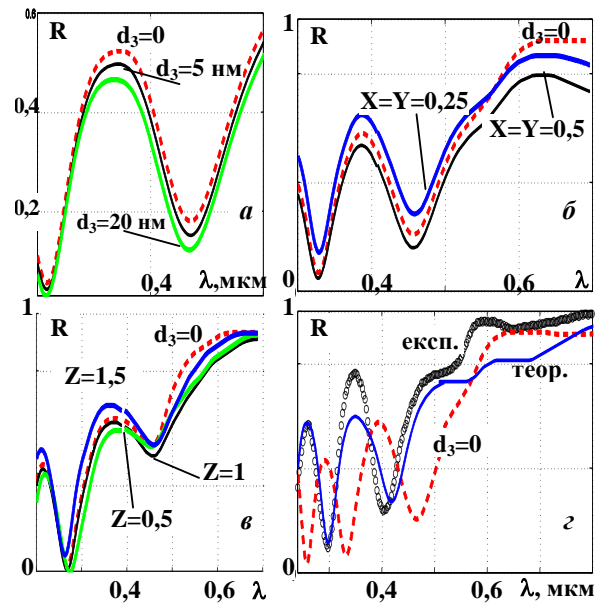


Рис. 2. Тенденції зміни ходу спектральної залежності коефіцієнта відбивання двошарової системи оксид алюмінію-мідь при варіаціях характеристик перехідного шару: d_3 (а), n_3 (б), k_3 (в), варіація всіх параметрів (г). Пунктирна кр. на всіх рис. – розрахунок без ПШ ($d_3=0$).

Таким чином, описаним способом при варіації характеристик перехідного шару та товщини плівки можна досягти задовільного узгодження розрахованих та експериментальних результатів ходу дисперсії R в широкій області спектру і отримати дані про характеристики як шару оксиду, так і перехідного шару.

Список використаних джерел

1. Poperenlo L.V., Stashchuk V.S. The basis of physics' optotechnique materials – K: VPC «Kyiv Univ», 2011 – 686 p. (in Ukrainian).
2. Andreev S.V., Putilin E.S. Determining the optical constants of thin metallic films while they are being deposited in vacuum//Journal of Optical Technology. –2008. – 75, № 4. – С.78-81. (in Russian)
3. Shamala K.S., Murthy L.C.S. and K Narasimha Rao Studies on optical and dielectric properties of Al_2O_3 thin films prepared by electron beam evaporation and spray pyrolysis method//Materials Science and Engineering. – 2004. – B106. – P. 269-274.
4. Born M., Wolf E. Principles of Optics (4th.ed.).-Pergamon Press.-1970.-856 p.
5. Stashchuk V.S., Stukalenko V.V., Filipov Ya.V., Statsenko A.O., Polianska O.P., Chernukha Ie.O. Optical properties of the aluminium oxide film - copper system // Visn., Ser. Phys.-Mat. Nauky, Kyiv Univ. im. Tarasa Shevchenka. – 2012. – N 3. – P. 363-367. (in Ukrainian).

Надійшла до редколегії 16.01,2014