

ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОГЛОЩАЮЩИХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Р.А. КАРАМАЛИЕВ

*Бакинский Государственный Университет
AZ-1148, Баку, З.Халилова, 23*

Рассмотрено распространение оптических волн в плоском поглощающем слое диэлектрика расположенного на границе раздела двух не поглощающих сред. Исследуются зависимости оптических характеристик слоя от толщины слоя, оптических постоянных сред и вещества покрытия.

The propagation of optical waves in a plane absorbing dielectric layer located on a border of two non-absorbing media is considered. The dependences of optical characteristics of layer on its thickness and optical constants of media and substance of an coating is investigated.

Оптические покрытия, как с дискретным, так и с плавным изменением свойств составляющих их слоев применяют в линзах, солнечных элементах, в лазерах, в компонентах волоконной оптики, в биологических системах при создании не отражающих поглотителей и при решении других практически важных задач. Изучение законов распространения электромагнитных волн в слоистых системах становится актуальным в последнее время также в связи с анализом работы лазеров с распределенной обратной связью, исследованием распространения света в наноструктурах, исследованием фотонных кристаллов [1-3].

Исследование взаимодействия электромагнитного излучения со слоистыми средами является достаточно сложной задачей. Она в настоящее время решена в некоторых частных случаях, когда объектами рассмотрения служили слоистые среды из прозрачных материалов или поглощающий слой, расположенный на металлической или полубесконечной не поглощающей подложке [4-7].

Цель данной работы – исследовать характеристики антиотражающих оптических покрытий с комплексным показателем преломления.

Рассмотрим нормальное прохождение излучения с длиной волны λ через плоский слой, расположенного на границе раздела двух не поглощающих полубесконечных сред со значениями коэффициентов преломления n_1 и n_2 .

Комплексное значение коэффициентов отражения R и пропускания T падающей волны такой системы определяются выражениями:

$$R = \frac{r + r_2 \exp(-2ikl)}{1 + r_1 r_2 \exp(-2ikl)}, T = \frac{t_1 t_2 e^{-ikl}}{1 + r_1 r_2 e^{-2ikl}} \quad (1)$$

где $r_1 = r_1 e^{i\varphi_1}$; $r_2 = r_2 e^{i\varphi_2}$; $r_1, r_2, \varphi_1, \varphi_2$ – соответственно комплексные значения, модули и фазы коэффициентов отражения волны от границ раздела сред; k – волновое число вещества, l – толщина поглощающего слоя.

Коэффициенты Френеля для отражения и пропускания равны

$$r_1 = \frac{1-n}{1+n} \quad r_2 = \frac{n-n_1}{n+n_1} \quad t_1 = \frac{2}{1+n} \quad t_2 = \frac{2n}{n_1+n} \quad (2)$$

Комплексный показатель преломления покрытия имеет вид $n = n - i\chi$, где n, χ – коэффициенты преломления и экстинкция вещества.

Входящее в (1) волновое число для вещества поглощающего слоя равно:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} (n - i\chi) = \frac{2\pi}{\lambda_d} (1 - iy) \quad (3)$$

где λ, λ_d – длина волны падающего излучения в вакууме и в веществе; $y = \chi/n$ – фактор диэлектрических потерь.

Для рассматриваемой трехслойной системы модули и фазы коэффициентов отражения имеют вид:

$$r_1 = \sqrt{\frac{(n_1 - n)^2 + \chi^2}{(n_1 + n)^2 + \chi^2}}; r_2 = \sqrt{\frac{(n - n_2)^2 + \chi^2}{(n + n_2)^2 + \chi^2}};$$

$$\varphi_1 = \arctg \frac{2\chi n_1}{n_1^2 - n^2 - \chi^2}; \varphi_2 = \arctg \frac{2n_2 \chi}{n_2^2 - n^2 - \chi^2} \quad (4)$$

Обозначим $x = l/\lambda_d$. Для удобства дальнейшего рассмотрения примем, что

$$x = \frac{2N-1}{4} + \Delta \quad (5)$$

где $N = 1, 2, 3, \dots$; Δ – малая, но ненулевая величина, определяемая оптическими параметрами вещества покрытия.

Найдем условие просветления поглощающего покрытия. С учетом принятых обозначений, после подстановки выражения (5) в первое из уравнения (1) получим условие безотражательного распространения волн:

$$\chi[\pi(2N-1) + \varphi_2 - \varphi_1] = n \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (6)$$

$$\Delta = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{4\pi} \quad (7)$$

Уравнения (5)- (7) устанавливают функциональную связь между такими избирательными значениями длины волны λ падающего излучения и коэффициента преломления n , экстинкции χ и толщины слоя l вещества покрытия, при которых в рассматриваемой системе создается условия для полного поглощения излучения в слое покрытия.

В частном случае при отсутствии поглощения в покрытии ($\chi = 0, \Delta = 0$) из совместного рассмотрения уравнения (5) – (7) следуют условия просветления данной слоистой системы.

$$n = \sqrt{n_1 n_2}, \quad \frac{l}{\lambda_d} = \frac{2N-1}{4} \quad (8)$$

Входящее в уравнения (6)- (7) оптические параметры n и χ вещества покрытия связаны со значениями его диэлектрической проницаемости ϵ' и диэлектрических потерь ϵ'' известными соотношениями:

$$\epsilon' = n^2 - \chi^2, \quad \epsilon'' = 2n\chi. \quad (9)$$

В диапазонах оптических и инфракрасных длин волн дисперсия у диэлектриков носит резонансный характер и связана с колебанием электронов и атомов в молекулах вещества. При этом диэлектрические свойства вещества в области его дисперсии волн описываются следующими уравнениями :

$$\epsilon' = n_\infty^2 + \frac{4\pi N_0 q^2}{m} \cdot \frac{\omega_1^2 - \omega^2}{(\omega_1^2 - \omega^2)^2 + \gamma^2 \omega^2},$$

$$\epsilon'' = \frac{4\pi N_0 q^2}{m} \cdot \frac{\gamma \omega}{(\omega_1^2 - \omega^2)^2 + \gamma^2 \omega^2} \quad (10)$$

где n_∞ – вне дисперсионный высокочастотный коэффициент преломления волны вещества покрытия; q , m - заряд и масса электрона, N_0 - число молекул, γ - коэффициент затухания колебательной системы, ω - круговая частота [5].

Для конденсированных сред с учетом поля Лоренца входящая в уравнение резонансная круговая частота ω_1 связана с аналогичным значениям ω_0 для разряженных сред соотношением:

$$\omega_1^2 = \omega_0^2 - \frac{4\pi N_0 q^2}{m}. \quad (11)$$

Входящий в уравнение (10) коэффициент затухания колебательной системы γ определяется по ширине полосы поглощения $\Delta\omega$ частотной зависимости, отсчитанной на половинном уровне ее максимальной величины.

Резонансная дисперсия волн, как правило, располагается в области частот достаточно близких к ω_1 . Поэтому, определяемая по уравнениям (10) зависимость ϵ'' от ϵ' в плоскости координат [ϵ' , ϵ''] в первом приближении имеет вид окружности радиуса

$$b = \frac{2\pi N_0 q^2}{m\omega_1 \gamma} \text{ и с центром с координатами } (n_\infty^2, b)$$

$$(\epsilon' - n_\infty^2)^2 + (\epsilon'' - b)^2 = b^2 \quad (12)$$

Из совместного решения уравнений (6) и (12) можно рассчитать избирательные значения диэлектрических и оптических параметров вещества покрытия, при которых возникает полное поглощение падающего излучения. Частоты, при которых возникают полное поглощение излучения, определяется из уравнения

$$\frac{\epsilon''}{\epsilon' - n_\infty^2} = \frac{\gamma}{2(\omega_1 - \omega)} \quad (13)$$

Далее учитывая эти селективные значения частот в уравнении (5), нетрудно получить избирательное значение толщины слоя покрытия.

Таким образом, безотражательное поглощение в оптическом диапазоне, как и в микроволновой области частот, носит спектральный характер. Получаемый спектр частот индивидуален для вещества покрытия и определен его оптическими свойствами.

[1]. Ф.Качмарек, Введение в физику лазеров, «МИР», М.,1981.
 [2]. А.Ярив., П.Юх., Оптические волны в кристаллах, «Мир»,М.,1987
 [3]. Light in NanoSize Solids. Book of Abstracts, Baku 2004.
 [4]. Л.М.Бреховских., Волны в слоистых средах, М.,Изд.АН СССР,1957.

[5]. М.Борн., Э.Вольф., Основы оптики, Наука, М.,1970.
 [6]. Э.Р.Касимов, М.А.Садыхов, Р.М.Касимов, Ч.О.Каджар. Инженерно-физический журнал, т.72, № 4, 1999, с.737-739.
 [7]. R.M.Kasimov., R.A.Karamaliyev., V.M.Salmanov. // Trans.of Acad.of Science of Azerb., ser.of phys.-tech. and math.sciences v.26.,№5.,2006.,pp.118-123.

Received:10.02.2007