

**ОПТИЧЕСКИЕ АНТИОТРАЖАЮЩИЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ
МЕТАЛЛОДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОМПОЗИТНЫХ СРЕД****Р.А.КАРАМАЛИЕВ***Бакинский Государственный Университет**karamaliyev@yahoo.com*

Исследованы теоретически оптические свойства композитной среды, представляющей собой прозрачную диэлектрическую матрицу с включениями наночастиц металлов.

В предположении малости размеров частиц наполнителя по сравнению с длиной волны падающего излучения, исследуется зависимость условий антиотражения от концентрации частиц наполнителя (медь, золото и др.), толщины слоя и оптических параметров веществ покрытия.

Неотражающие поглотители электромагнитного излучения находят широкое применение в различных областях науки и техники. Это, в первую очередь, связано с необходимостью разработки различных покрытий для микроволнового и оптического диапазонов электромагнитного излучения. Как правило, такие поглотители формируются на основе матричного непоглащающего материала (полимера, стекла, керамики) с введением в него в качестве наполнителей высокодисперсных металлических или ферромагнитных веществ. Физические свойства получившихся композитных структур отличаются от свойств исходных материалов. В том случае, когда характерные размеры поглотителей много меньше длины волны излучения, полученный композиционный материал можно рассматривать как однородную оптическую среду, обладающую некоторым эффективным значением диэлектрической проницаемости, отличным от диэлектрических проницаемостей веществ, образующих композиционный материал [1,2]. Стало быть, полученный композиционный материал можно рассматривать как эффективную однородную оптическую среду. Весьма важную роль в оптике композитных сред играет, так называемая, модель эффективной среды. Существуют различные теории эффективной среды, которые применяют для моделирования оптических свойств композитных сред. Здесь теоретический анализ взаимодействия оптического излучения с эффективной средой проводится с помощью модели, предложенной в работе [2].

В данной работе рассматриваются условия возникновения явления полного поглощения электромагнитного излучения в двухслойной плоской системе металлодиэлектрическое композитное покрытие-металл.

Для нахождения условий возникновения полного поглощения электромагнитного излучения в поглощающих диэлектриках (эффективная оптическая среда) рассмотрим отражение плоскополяризованной волны, падающей нор-

мально на поверхность покрытия из композиционного материала, расположенного на идеально проводящей металлической подложке. В качестве наполнителя матричного материала покрытия используется высокодисперсные включения веществ, поглощающие падающее излучение. В предположении малости размеров частиц наполнителя по сравнению с длиной волны падающего излучения, уравнения, которые связывают между собой эффективные значения коэффициентов преломления n и поглощения χ волны композиционного материала покрытия, толщину слоя покрытия l и длину волны λ падающего излучения можно представить в следующем виде [3,4]:

$$\pi(2N - 1) - \varphi = \frac{n}{\chi} \ln \frac{1}{r}; \quad (1)$$

$$\frac{l}{\lambda} = \frac{1}{n} \left(\frac{2N - 1}{4} - \frac{\varphi}{4\pi} \right); \quad (2)$$

где $\varphi = \frac{2\chi}{1 - n^2 - \chi^2}$; $r = \left[\frac{(1 - n)^2 + \chi^2}{(1 + n)^2 + \chi^2} \right]^{\frac{1}{2}}$ – соответственно, фаза и модуль коэффициента отражения волны от рассматриваемой двухслойной системы; $N = 1, 2, 3, \dots$.

Нахождение избирательных значений толщины l слоя и состава δ материала покрытия выполнялось совместным решением уравнений (1), (2) и известным уравнением для эффективного значения диэлектрической проницаемости ε композиционного материала [2]:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 \left(1 + 3\delta \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{\varepsilon_2 + 2\varepsilon_1} \right). \quad (3)$$

Здесь ε_1 и ε_2 – соответственно, диэлектрические проницаемости матричного материала покрытия и наполнителя; δ – объемное содержание наполнителя. Как известно, комплексная эффективная диэлектрическая проницаемость ε композиционного материала имеет реальную ε' и мнимую ε'' части, которые связаны с величинами n и χ :

$$\varepsilon = \varepsilon' - i\varepsilon''; \quad \varepsilon' = n^2 - \chi^2; \quad \varepsilon'' = 2n\chi; \quad (4)$$

Для высокодисперсного включения поглощающее падающее излучение диэлектрическая проницаемость ε_2 также является комплексной величиной и можно представить в виде:

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_2' - i\varepsilon_2'', \quad \varepsilon_2' = n_2^2 - \chi_2^2, \quad \varepsilon_2'' = 2n_2\chi_2, \quad (5)$$

Диэлектрическая проницаемость прозрачного матричного материала равна $\varepsilon_1 = n_1^2$, где n_1 , n_2 – коэффициенты преломления волны матричного материала и наполнителя; χ_2 – коэффициент поглощения вещества наполнителя.

При условии применения идеальной металлической подложки проведены расчеты избирательных значений l и δ поглощающего покрытия в оптическом диапазоне волн, при которых выполнимы условия полного, безотражательного поглощения электромагнитного излучения в рассматриваемой системе. В качестве матричного материала таких покрытий применены полимерные материалы, а в качестве высокодисперсного наполнителя – ряд металлов (медь, золото и др.).

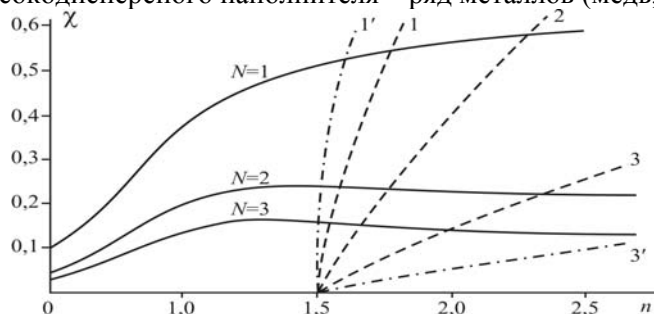


Рис.1. Зависимости между избирательными значениями n , χ покрытия, при которых выполняются условия полного поглощения электромагнитной волны и эффективными величинами n , χ бинарной композиции матричного материала покрытия с поглотителем из меди (-----) и золота (-·-·-·-) при длине падающего излучения 0.3 (1), 0.5 (2), 0.6 (3) мкм. N - номер нулевого минимума зависимости коэффициента отражения волн от толщины слоя покрытия.

Методика расчета иллюстрируется на рис.1., где представлены зависимости между избирательными значениями $\bar{\chi}$ и \bar{n} покрытия, при которых выполняются условия полного поглощения электромагнитной волны, и эффективные величины χ и n , бинарной композиции из матричного материала с показателем преломления $n_1 = 1.5$ и процентным содержанием в нем того или иного выбранного наполнителя. Результаты проведенных расчетов сведены в таблицу.

Полученные данные использованы для проведения анализа характеристик отражения двухслойной системы в зависимости от частоты падающего излучения и толщины слоя композиционного покрытия. При этом величина модуля коэффициента отражения волны R определялась из следующего выражения [4]:

$$\widehat{R} = \frac{E + iF - 1}{E + iF + 1} ; \quad (6)$$

где

$$E = \frac{1}{n(1 + y^2)} \cdot \frac{sh4\pi xy - y \sin 4\pi x}{ch4\pi xy + \cos 4\pi x} ; \quad F = \frac{1}{n(1 + y^2)} \cdot \frac{ysh4\pi xy + \sin 4\pi x}{ch4\pi xy + \cos 4\pi x} . \quad (7)$$

Здесь $x = l/\lambda_d$; $y = \chi/n$.

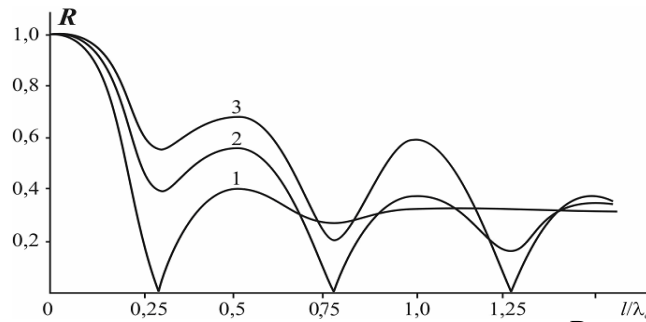


Рис. 2. Зависимости модуля коэффициента отражения волны R от толщины l слоя покрытия, соответствующие условию полного поглощения электромагнитного излучения с длиной волны 0.5 мкм. Наполнитель из золота с объемным содержанием δ 15.2 (1), 6.8 (2) и 4.6 (3) %. Матричное вещество покрытия с коэффициентом преломления $n_1=1.5$. λ_d - длина волны в веществе покрытия.

На рис.2 представлены зависимости модуля коэффициента отражения волны R от толщины слоя l покрытия, содержащего в своем составе высокодисперсные частицы золота. Они соответствуют длине волны падающего излучения 0.5 мкм и первым трем избирательным значениям толщины слоя покрытия ($N = 1, 2, 3$). Характерным признаком этих зависимостей является присутствие, так называемых, нулевых минимумов.

Таблица

Эффективные значения коэффициента преломления n и поглощения χ волны, толщина слоя покрытия l , объемного содержания поглотителя δ из меди, серебра и золота композиции материала покрытия. λ - длина волны падающего излучения, N – номер нулевого минимума зависимости модуля коэффициента отражения волны от толщины слоя покрытия.

Cu	N	λ , мкм	n	χ	δ , %	l , мкм
Cu	1	0.2	1.530	0.516	22.5	0.039
		0.3	1.775	0.546	33.0	0.048
		0.4	1.980	0.564	26.5	0.056
		0.5	2.13	0.569	20.4	0.064
		0.6	-	-	-	-
	2	0.2	1.495	0.235	10.0	0.104
		0.3	1.590	0.232	12.0	0.146
		0.4	1.665	0.230	8.5	0.185
		0.5	1.720	0.229	7.6	0.223
		0.6	2.350	0.222	22.0	0.186
	3	0.2	1.49	0.152	6.0	0.170
		0.3	1.56	0.150	7.5	0.246
		0.4	1.60	0.150	5.5	0.316
		0.5	1.63	0.144	4.6	0.388
		0.6	2.02	0.146	12.0	0.373
Ag	1	0.2	1.475	0.51	30.0	0.404
		0.3	-	-	-	-
	2	0.2	1.465	0.235	13.0	0.106
		0.3	1.56	0.234	24.0	0.149
	3	0.2	1.478	0.155	8.0	0.172
		0.3	1.53	0.150	10.0	0.254
Au	1	0.5	1.602	0.525	15.2	0.091
	2	0.5	1.526	0.232	6.8	0.255
	3	0.5	1.515	0.147	4.6	0.418

ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградов А.П. Электродинамика композитных материалов. М.: УРСС, 2001, 208 с.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М.: Наука, 1982, 656 с.
3. Касимов Р.М., Карамалиев Р.А., Салманов В.М., Transactions of Azerbaijan Academy of Sciences, series of physical- mathematical and technical sciences, Physics and Astronomy, 26, №5, 2006, с.118.
4. Касимов Э.Р. Радиотехника и электроника. 2003, т.48, №7, с.1-9.

METALLODİELEKTRİK KOMPOZİT MÜHİTLƏR ƏSASINDA OPTİK ƏKS ETDİRMƏYƏN ÖRTÜKLƏR

R.Ə.KƏRƏMƏLİYEV

XÜLASƏ

Şəffaf dielektrik matris və ona qarışdırılmış metal nanozərrəciklərdən ibarət kompozit mühitin optik xassələri nəzəri olaraq tədqiq edilmişdir. Zərrəciklərin ölçülərinin düşən dalğanın uzunluğundan çox kiçik olduğu halda əks olunmamasının konsentrasiyadan (mis, qızıl və s.) layın qalınlığından və onun optik parametrlərindən asılılıqları araşdırılmışdır.

OPTICAL ANTIREFLECTIVE COATINGS ON THE BASIS OF METALLODIELECTRIC COMPOSITE MEDIA

R.A.KARAMALIYEV

SUMMARY

Optical properties of composite medium consisting of a transparent dielectric matrix with inclusion of metallic nanoparticles are investigated theoretically. At the assumption of small sizes of filler particles (in comparison with the incident radiation wavelength), the dependence of the antireflection conditions on the effect of filler particle concentrations (copper, gold, etc.), layer thickness and optical parameters of substances of a coating are investigated.