

ПОЛОСА ИЗБИРАТЕЛЬНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДВУХСЛОЙНОЙ СИСТЕМЫ ДИЭЛЕКТРИК-МЕТАЛЛ

Э.Р. КАСИМОВ, М.А. САДЫХОВ, Р.М. КАСИМОВ, Ч.О. КАДЖАР

Институт Фотоэлектроники АН Азербайджана

370141, Баку, ул. Ф. Агаева 555 квартал

Исследована полоса избирательного поглощения электромагнитного излучения двухслойной системы диэлектрик-металл, установлено теоретически и подтверждено экспериментально ее сужение с увеличением толщины материала покрытия и его коэффициента преломления.

В работе [1,2] установлена возможность возникновения безотражательного поглощения электромагнитного излучения в слое поглащающего диэлектрика, нанесенного на идеально отражающую металлическую подложку. Показано, что избирательное поглощение возникает в дисперсионной области диэлектрика при дискретных длинах волн λ_0 и толщине l_0 слоя покрытия. Учитывая возможность изготовления целого класса поглотителей нового типа на базе указанного эффекта, особый интерес представляло проведение оценки полосы избирательного поглощения волн таких поглотителей вблизи этих значений λ_0 и l_0 .

Для решения данной задачи рассмотрим отражение плоскополяризованной электромагнитной волны, падающей перпендикулярно на нанесенный на металлическую поверхность слой диэлектрика с комплексным значением диэлектрической проницаемости $\hat{\epsilon} = \epsilon' - i\epsilon''$.

Для такой системы модуль коэффициента отражения волны ρ определяется выражением

$$\rho = \left| \frac{th(\gamma l - \sqrt{\epsilon})}{th(\gamma l \sqrt{\epsilon}) + \sqrt{\epsilon}} \right|, \quad (1)$$

где $\gamma = i \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\epsilon}$ - постоянная распространения волн; λ - длина волн; l - толщина слоя покрытия [3].

Введем обозначение $x = l/\lambda_g$ и учтем выражения для диэлектрической проницаемости ϵ' и диэлектрических потерь ϵ'' .

$$\epsilon' = n^2 (1 - y^2); \quad \epsilon'' = 2n^2 y \quad (2)$$

где n , y - соответственно, коэффициент преломления и фактор диэлектрических потерь диэлектрика; λ_g - длина волн в материале покрытия.

Из совместного решения уравнений (1) и (2) следует, что

$$\rho = \sqrt{\frac{P - Q}{P + Q}} \quad (3)$$

$$P = M^2 + N^2 + 1; \quad Q = 2M;$$

$$M = \frac{1}{n(1 + y^2)} \frac{sh4\pi xy - y \sin 4\pi x}{ch4\pi xy + \cos 4\pi x}$$

$$N = \frac{1}{n(1 + y^2)} \frac{ysh4\pi xy + \sin 4\pi x}{ch4\pi xy + \cos 4\pi x}$$

Как показано в работе [1], безотражательное поглощение волны в рассматриваемой двухслойной системе возникает при выполнении условий $P = 0$ и $Q = 0$. В этом случае

$$P_0 = Q_0; \quad P_o^1 Q_o^1 = Q_o^1 P_0; \quad M_0 = 1; \quad N_0 = 0 \quad (4)$$

где индекс 0 - соответствует резонансным значениям P , Q , M , N .

Представим уравнение (3) в следующем виде:

$$V = P/Q = \frac{1 + \rho^2}{1 - \rho^2} \quad (5)$$

При фиксированной величине толщины l_0 слоя покрытия и длины волны λ_0 ограничимся анализом поведения функции V в области её малых отклонений от значений λ_0 и l_0 . Ввиду малости этих отклонений можно преубречь изменением диэлектрических свойств материала покрытия с частотой падающего излучения и допустить их постоянство в пределах рассматриваемой области изменения λ и ρ . Разложим функцию $V = P/Q$ в ряд Тейлора при $x_0 = l_0/\lambda_{g0}$ и ограничимся учётом лишь первых трёх членов разложения вблизи значений x_0 . Тогда, принимая во внимание условия (4), справедливые при $x = x_0$, получим

$$V = 1 + 2\pi^2 (x - x_0)^2 [[M^1]_0^2 + [N^1]_0^2] \quad (6)$$

Малые отклонения x от x_0 сопровождаются незначительным изменением величины модуля коэффициента отражения волны ρ по сравнению с его нулевым значением. Поэтому, правую часть выражения (5) в первом приближении можно представить в следующем виде

$$V = 1 + 2\rho^2 n \quad (7)$$

где ρ_n - величина ρ на границах оцениваемой полосы поглощения рассматриваемой двухслойной системы.

Из выражений (6) и (7) следует, что

$$x = x_0 + \frac{\rho_n}{\pi} \frac{1}{\sqrt{(M')_o^2 + (N')_o^2}}. \quad (8)$$

Используя соотношения для M, N, M^1, N^1 при $x=x_0$ в уравнении (8), получим, что

$$x = x_0 + \frac{\rho_n}{2\pi} \operatorname{sh}[4\pi x_0 Y_o] \quad (9)$$

Так как $x=1/\lambda_g=1n/\lambda$, то при допущении постоянства n изменение x в пределе полосы избирательного поглощения волн будет определяться изменением величины l и λ . Если одно из них фиксируется и устанавливается равным соответственно l_0 или λ_0 , выражение для относительной полосы избирательного поглощения волн с учётом её симметричности приобретает следующий вид:

$$\frac{1}{\rho_n} \left[\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \right]_{l=l_0} = \frac{1}{\rho_n} \left[\frac{\Delta l}{l_0} \right]_{\lambda=\lambda_0} = \frac{s h 4\pi x_0 Y_o}{\pi x_0} \quad (10)$$

где $x_0=l_0 n_0 / \lambda_0$; l_0, n_0, λ_0 - соответственно, толщина слоя, коэффициент преломления вещества покрытия и длина волны, при которых выполняется условие безотражательного поглощения волны в рассматриваемой двухслойной системе.

По определению, безотражательное поглощение волны возникает в точках одного из минимумов функции $\rho(x)$, при достижении им нулевой величины

$$x_0 = \frac{2N - 1}{4} + \Delta, \quad (11)$$

где N - номер соответствующего нулевого минимума функции $\rho(x)$.

Входящий в выражение (11) параметр Δ зависит от диэлектрических свойств вещества покрытия и номера N минимума функции $\rho(x)$. Его величина уменьшается с ростом N и становится незначительной при $N > 3$ [4]. При этих значениях N уравнение (10) преобразуется с учётом (11) к следующему виду:

$$\frac{1}{\rho_n} \left[\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \right]_{l=l_0} = \frac{1}{\rho_n} \left[\frac{\Delta l}{l_0} \right]_{\lambda=\lambda_0} = \frac{4 s h [\pi Y_o (2N - 1)]}{\pi (2N - 1)} \quad (12)$$

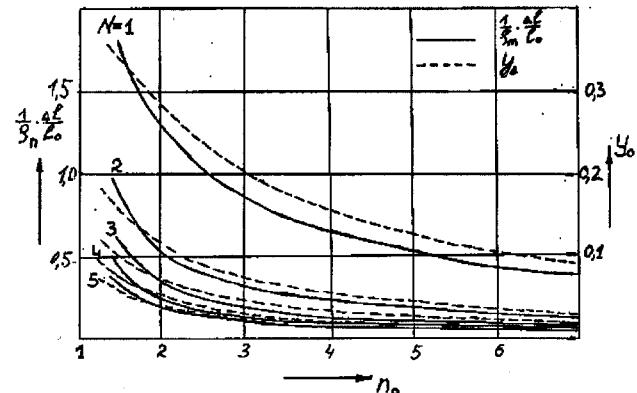


Рис. Зависимости приведенных значений относительной по-

лосы поглощения $\frac{1}{\rho_n} \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$ и фактора диэлектрических

потерь Y_o от величины коэффициента преломления n_0 материала покрытия для первых пяти нулевых минимумов функции $\rho(x)$.

На рисунке представлены вычисленные по уравнению (10) зависимости приведённых значений относительной

полосы поглощения $\frac{1}{\rho_n} \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$ или $\frac{1}{\rho_n} \frac{\Delta l}{l_0}$ от величины

n_0 материала покрытия. Зависимости даны для первых пяти нулевых минимумов функции $\rho(x)$. Там же представлены, вычисленные по данным работы [1], зависимости Y_o от n_0 (пунктирные линии на рисунке). Как следует из рисунка при заданном уровне ρ_n относительная полоса избирательного поглощения волны вблизи $\lambda=\lambda_0$ или $l=l_0$ снижается по величине с повышением n_0 и N . При больших значениях n_0 и N величина Y_o становится малой. В этих случаях с достаточной степенью приближения соблюдается соотношение

$$n_0 t h \left[\frac{\pi Y_o}{2} (2N - 1) \right] = 1$$

и уравнение (12) может быть упрощено и сведено к виду:

$$\frac{1}{\rho_n} \left[\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \right]_{l=l_0} = \frac{1}{\rho_n} \left[\frac{\Delta l}{l_0} \right]_{\lambda=\lambda_0} = \frac{8}{\pi (2N - 1)} \frac{n_0}{n_0^2 - 1} \quad (13)$$

Проверка полученных уравнений была экспериментально осуществлена в диапазонах сверхвысоких частот при длинах волн $\lambda = 1,5$ см и $0,815$ см. Для снятия характеристик отражения волн при заданной частоте излучения использовались панорамные измерители стоячей волны по напряжению Р2-66 и Р2-67, индикаторное уст-

ройство ЯР2-67 и связанные с ними волноводные короткозамкнутые на конце измерительные ячейки. Ячейки термостатировались и имели приспособления для регулировки толщины слоя вводимого жидкого полярного диэлектрика. В качестве объектов измерения использовались бинарные растворы полярных веществ (ацетона,

ацетонитрила, амидов и др.) в неполярных растворителях (бензole, диоксане).

Условия безотражательного поглощения микроволнового излучения в слое бинарного раствора подбирались регулированием состава и толщины слоя в ячейке при фиксированной длине волны λ_0 падающего излучения. В результате определялись порядковый номер N нулевого минимума функциональной зависимости коэффициента стоячей волны η от толщины l слоя раствора и концентрация полярного компонента раствора φ , а также интервалы изменения толщины слоя Δl , в пределах которой

Расчетные и экспериментальные значения полосы избирательного поглощения волн ряда бинарных растворов при $T=20^{\circ}\text{C}$ и длинах волн $\lambda=1,5$ см и $0,815$ см. φ - объемная концентрация полярного компонента раствора в %; N - номер нулевого минимума отраженной волны; n_0 - коэффициент преломления раствора.

Таблица

N	Растворы	λ , см	N	φ , % объем	$n_0=\lambda/\lambda_g$	$\frac{l}{\rho} \frac{\Delta l}{l}$	
						экспер.	расчет.
1	Ацетон-бензол	1.5	1	10	3,18	0,87	0,81
			2	4,5	2,35	0,47	0,43
			3	2,9	2,10	0,32	0,32
			4	2,15	2,03	0,27	0,24
2	N,N-диметилацетамид-диоксан	0.815	1	33	2,19	1,44	1,18
			2	7,4	1,88	0,60	0,60
			3	3,6	1,80	0,48	0,40
			4	2,85	1,785	0,31	0,29
			5	2,0	1,765	0,37	0,24
3	Нитрометан - диоксан	0.815	1	10,5	2,57	1,82	1,02
			2	6,7	1,87	0,73	0,62
			3	2,8	1,82	0,34	0,39
			4	1,6	1,79	0,28	0,29
			5	1,1	1,775	0,22	0,23

Полученные результаты могут оказаться полезными при разработке узкополосных поглощающих устройств в диапазоне СВЧ.

- [1] Р.М. Касимов. Инженерно-физический журнал, 1994, т. 65, № 5-6, с. 489.
[2] Э.Р. Касимов, С.Т. Азизов, Р.М. Касимов, Ч.О. Каджар. Известия АН Азербайджана, сер. физ.-тех. и мат. наук, 1995, № 3, с. 45.
[3] А.Ф. Харвей. Техника СВЧ, 1965, т. 1, с. 67.
[4] Р.М. Касимов. Метрология, 1987, № 7, с. 45.

E.R. Qasimov, M.A. Sadixov, R.M.Qasimov, Ç.O. Qacar

İKİQATLI DİELEKTRİK-METAL SİSTEMİNİN ELEKTROMAQNİT ŞÜALANMASININ SEÇİCİ UDULMA ZOLAĞI

İkiqatlı dielektrik-metal sisteminin elektromaqnit şüalanmasının seçici udulma zolağının örtük materialının qalınlığının ve onun sinma əmsalinin artması ilə müəyyən edilmiş nəzəri daralması eksperimental tədqiqatla sübut edilmişdir.

E.R. Kasimov, M.A. Sadikhov, R.M. Kasimov, Ch.O. Kadjar

BAND OF SELECTIVE ABSORPTION OF ELECTROMAGNETIC RADIATION IN TWO-LAYER SYSTEM DIELECTRIC-METAL

The theoretically established narrowing of a band of selective absorption of radiation in two-layer system- dielectric-metal with increasing of thickness of a covering material and its factor of refraction is confirmed by an experimental research.

Дата поступления: 09.09.98

Редактор: Д.М. Абдинов