

УДК 621.3.035.222.7: 621.317.335.3

## ВЫБОР ТОЛЩИНЫ И СВОЙСТВ ПРОСВЕТЛЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ ПЛОСКИХ МИКРОВОЛНОВЫХ ПОГЛОТИТЕЛЕЙ

Ч.О.КАДЖАР, С.Р.КАСИМОВА

*Институт Фотоэлектроники АН Азербайджана  
370141, Баку, ул. Ф. Агаева, 555 квартал*

Получены условия просветления плоской двухслойной системы, состоящей из поглощающей подложки бесконечной толщины и регулируемого по толщине слоя непоглощающего покрытия. Исследуется зависимость толщины слоя и диэлектрических свойств просветляющего покрытия от диэлектрических свойств материала подложки, природа дисперсии волн которой описывается теорией Дебая.

Для повышения эффективности плоских микроволновых поглотителей на его поверхность наносится слой из непоглощающего вещества, обеспечивающего подбором его свойств и толщины полноту гашения поступающей энергии за счет согласования входного сопротивления поглотителя с волновым сопротивлением окружающей его среды [1]. Как правило, поглотители микроволнового диапазона обладают высокими поглощающими способностями, что позволяет при их взаимодействии с падающим излучением рассматривать поглотитель в виде плоского слоя бесконечной толщины. В отличие от оптических просветляющих покрытий непоглощающих подложек условия полного (безотражательного) прохождения излучения через покрытие в поглощающую подложку зависят от фактора потерь материала подложки и реализуются при толщинах покрытия не кратных четверти длины волны в веществе покрытия [2]. Это усложняет формирование просветляющих систем и делает настоящим разработку инженерных методов их расчета, в частности, при выборе материала и толщины слоя покрытия при заданных диэлектрических свойствах материала поглощающей подложки.

Коэффициент отражения плоскополяризованной волны, падающей нормально на двухслойную систему из поглощающей подложки бесконечной толщины и нанесенного на нее слоя непоглощающего покрытия толщиной  $l$ , равен

$$\rho = \frac{r_{01} + r_{12} \exp(-2\gamma l)}{1 + r_{01} r_{12} \exp(-2\gamma l)} \quad (1);$$

где:  $r_{01} = \frac{1 - n_1}{1 + n_1}$ ;  $r_{12} = \frac{n_1 - n(1 - iy)}{n_1 + n(1 - iy)}$  - соответственно коэффициенты отражения

волны на границах раздела смежных сред;  $n_1$  - коэффициент преломления вещества покрытия;  $n, y$  - коэффициент преломления и фактор диэлектрических потерь материала подложки;  $\gamma = i2\pi n_1 / \lambda$  - постоянная распространения волны в веществе покрытия;  $\lambda$  - длина волны излучения; индексы 0,1,2 - соответствуют вакууму, просветляющему покрытию и поглощающей подложки [1].

Условию просветления рассматриваемой двухслойной системы будет соответствовать условие

$$\exp(-2yi) = -\frac{r_{01}}{r_{12}} \quad (2);$$

В выражении (2)  $r_{01} = |r_{01}| \exp(i\varphi_{01})$ ;  $r_{12} = |r_{12}| \exp(i\varphi_{12})$ , где:

$$|r_{01}| = \frac{n_1 - 1}{n_1 + 1}; \quad |r_{12}| = \sqrt{\frac{(n_1 - n)^2 + n^2 y^2}{(n_1 + n)^2 + n^2 y^2}}; \quad \varphi_{01} = \pi; \quad \varphi_{12} = \arctg \frac{2n_1 n y}{n_1^2 - n^2 (1 + y^2)}$$

Используя эти соотношения в выражении (2), получим

$$n_1 = \sqrt{n + \frac{n^2 y^2}{n - 1}} \quad (3);$$

$$\frac{l_0}{\lambda_{10}} = \frac{1}{4\pi} \arctg \frac{2y n n_1}{n_1^2 - n^2 (1 + y^2)} \quad (4);$$

где:  $l_0, \lambda_{10}$  - соответственно толщина слоя покрытия и длина волны в веществе покрытия, при которых возникает безотражательное поглощение излучения в подложке.

Полученные уравнения устанавливают функциональную связь между толщиной слоя покрытия и диэлектрическими свойствами веществ подложки и покрытия, при которых в системе возникает полное безотражательное поглощение падающего излучения. Результаты совместного решения уравнений (3) и (4) представлены на Рис.1 в виде семейств зависимостей  $n_1$  и  $l_0/\lambda_{10}$  от  $n$  при различных дискретных значениях  $y$ .

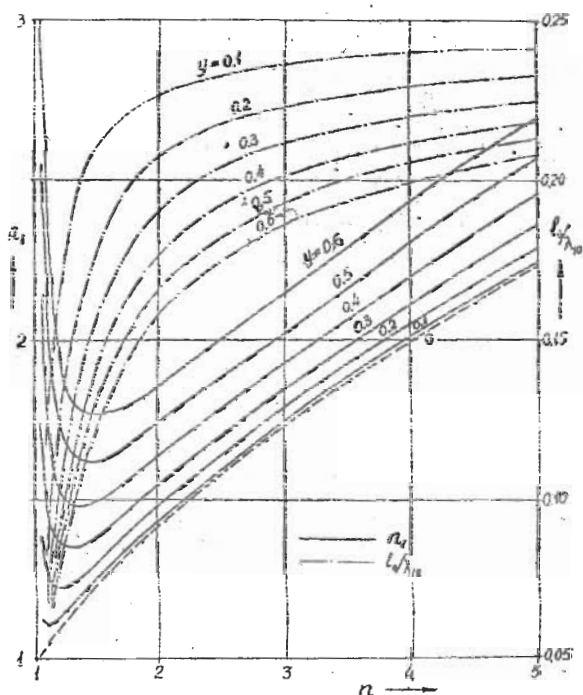


Рис.1.

Зависимость между коэффициентом преломления покрытия  $n_1$ , толщиной  $l_0$  слоя покрытия, фактором диэлектрических потерь  $y$  и коэффициентом преломления  $n$  подложки, соответствующие условию просветления поглощающей двухслойной системе;  $\lambda_0$  - длина волны падающего излучения.

В частном случае отсутствия поглощения излучения в материале подложки системы  $y = 0$  и уравнение (3) переходит в уравнение  $n_1 = \sqrt{n}$ , совпадающее с известным критерием просветления оптики [1]. Для этого случая, как это следует из уравнения (4), толщина слоя покрытия становится кратной четверти длины волны  $\lambda_{10}$  в веществе покрытия. В общем случае, при наличии в системе поглощающей подложки толщина  $l_0$  слоя покрытия будет по величине меньше величины кратной  $\lambda_{10}/4$ . Как следует из Рис.1, безотражательное поглощение излучения в рассматриваемой двухслойной системе возможно только при значениях  $n_1 > n_{1m}$ , где:

$$n_{1m} = \sqrt{\frac{n}{2 - n}} \quad (5)$$

В отличие от материала покрытия диэлектрические характеристики материала подложки зависят от частоты. Поэтому выбор вещества просветляющего покрытия и его толщины, при которых выполнимы условия полного поглощения падающего излучения в подложке, становится однозначным, если известны частотные зависимости  $y$ ,  $n$  или диэлектрической проницаемости  $\epsilon'$  и диэлектрических потерь  $\epsilon''$  материала подложки.

Последние связаны с коэффициентом преломления  $n$  и фактором диэлектрических потерь  $y$  материала подложки известными уравнениями

$$\epsilon' = n^2(1 - y^2); \quad \epsilon'' = 2n^2y \quad (6)$$

Характер поведения  $\epsilon'$ ,  $\epsilon''$  определяется молекулярной или атомной природой дисперсии волн материала подложки. Для микроволнового диапазона волн дисперсия веществ носит релаксационную природу и связана с процессами ориентации дипольных молекул по направлению прилагаемого внешнего электрического поля. Для большинства полярных веществ изменение их диэлектрических свойств с частотой достаточно хорошо описывается уравнениями Дебая

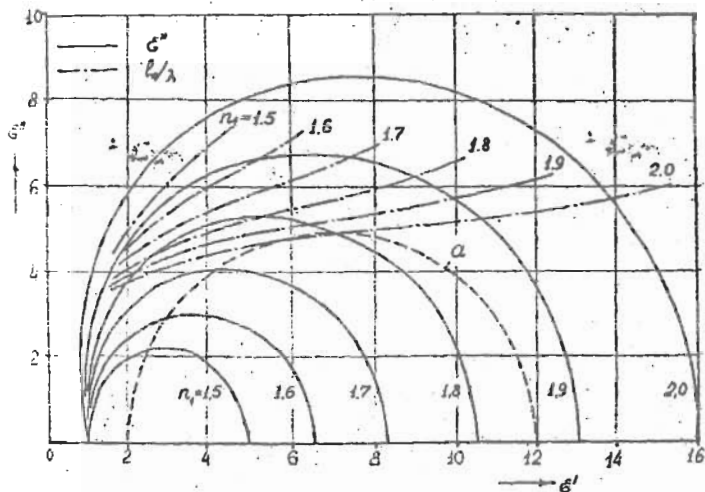
$$\epsilon' = \epsilon_\infty + \frac{\epsilon_0 - \epsilon_\infty}{1 + (\omega\tau)^2} \quad \epsilon'' = \omega\tau + \frac{\epsilon_0 - \epsilon_\infty}{1 + (\omega\tau)^2} \quad (8);$$

где:  $\epsilon_0$ ,  $\epsilon_\infty$  - соответственно внедисперсионные статическая и высокочастотная диэлектрические проницаемости вещества;  $\tau$  - время релаксации;  $\omega$  - круговая частота [3].

Как следует из уравнений (8), зависимость  $\epsilon''$  от  $\epsilon'$  в координатной плоскости  $[\epsilon', \epsilon'']$  представляет собой полуокружность радиуса  $(\epsilon_0 - \epsilon_\infty)/2$  с центром в точке  $(\epsilon_0 + \epsilon_\infty)/2$ , расположенной на оси абсцисс (см.Рис.2, кривая а). Для удобства дальнейшего рассмотрения задачи трансформируем с помощью уравнений (3), (4) и (6) полученные семейства кривых Рис.1 на координатную плоскость  $[\epsilon', \epsilon'']$ , и совместим его с дебаевской полуокружностью. В этом случае геометрические точки пересечения ее с кривыми трансформированных семейств позволяют оценить величины  $n_1$  и  $l_0$ , при которых создаются условия для полного поглощения падающего излучения в системе при заданных значениях диэлектрических характеристик  $\epsilon_0$ ,  $\epsilon_\infty$  и  $\tau$  вещества подложки. Как следует из Рис.2, эти условия могут существовать только при значениях  $\epsilon_0 > n_1^4$ ,  $\epsilon_\infty < n_1^4$  и независимо от величин  $\tau$ . Кривые рис.2 иллюстрируют графические представления об условиях возникновения в системе полного поглощения падающего излучения. Более точные

данные для  $n_1$  и  $l_0$  могут быть получены из совместного решения системы уравнений (3) - (8).

Рис.2.



Зависимости между диэлектрической проницаемостью  $\epsilon'$  и диэлектрическими потерями  $\epsilon''$  подложки при различных значениях коэффициента преломления  $n_1$  покрытия, соответствующие условию просветления поглощающей двухслойной системы. Зависимость  $\epsilon''$  от  $\epsilon'$  при существовании в веществе дисперсии волн релаксационного типа (кривая  $\alpha$ ).

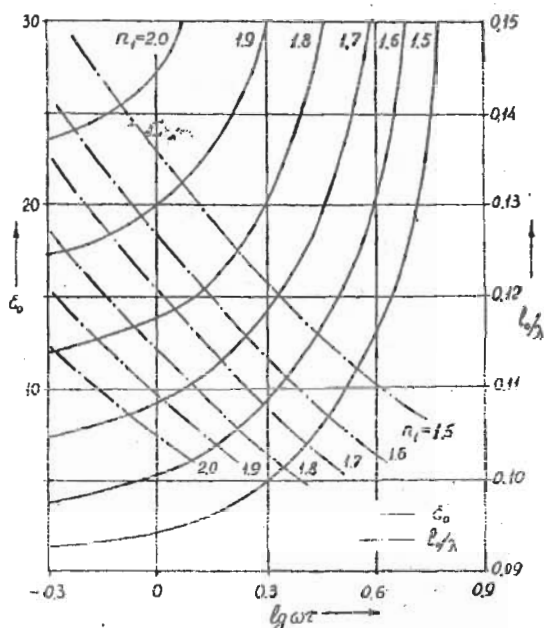


Рис.3.

Зависимости между статической диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_0$ , временем релаксации  $\tau$ , длиной волны  $\lambda$  излучения, коэффициентом преломления  $n_1$  и толщиной  $l_0$  слоя покрытия, соответствующие условию просветления поглощающей системы. Высокочастотный предел дисперсии  $\epsilon_\infty = 2$ .

На Рис.3 представлены вычисленные при  $\epsilon_\infty = 2$  зависимости между диэлектрическими характеристиками  $\epsilon_0$ ,  $\tau$  материала подложки, длиной волны  $\lambda$  излучения, коэффициентом преломления  $n_1$  и толщиной  $l_0$  слоя покрытия, соответствующими условиям безотражательного гашения волны в рассматриваемой системе. Для иллюстрации применимости полученных расчетных уравнений в Таблице 1 даны численные значения длины волны  $\lambda$  и толщины  $l_0$  слоя просветляющего покрытия с коэффициентом преломления  $n_1 = 1.5$  для некоторых полярных жидкостей, чьи дисперсионные области располагаются в диапазоне микроволн, а их величины  $\epsilon_0$ ,  $\epsilon_\infty$  удовлетворяют требуемым условиям просветления [3].

**Таблица 1**

Расчетные значения длины волны  $\lambda_0$  электромагнитного излучения и толщин  $l_0$  слоя покрытия ряда полярных жидкостей, соответствующие условию просветления поглощающей двухслойной системы при коэффициенте преломления покрытия  $n_1=1,5$  и температуре  $20^\circ\text{C}$ . Время релаксации  $\tau$ , статическая  $\epsilon_0$  и высокочастотная  $\epsilon_\infty$  диэлектрические проницаемости полярных жидкостей.

Вещество	$\epsilon_0$	$\epsilon_\infty$	$\tau \cdot 10^{12}$ с	$\lambda_0$ , мм	$l_0$ , мм
Ацетон	21.2	1.90	3.01	0.119	0.137
Циклогексанон	16.0	2.18	10.3	0.617	0.690
2-винилпиридин	9.13	2.58	19.2	2.69	3.43
4-винилпиридин	10.5	2.74	30.8	3.18	4.05
2-этилпиридин	8.33	2.39	14.8	2.36	2.96
4-этилпиридин	10.98	2.52	22.0	2.29	2.82
Этиловый спирт	25.8	1.85	140	4.32	4.19
Этилацетат	6.04	2.48	4.34	1.50	2.08
Хлорбензол	5.74	2.55	7.0	2.95	4.20
Нитробензол	35.9	3.84	49.0	1.10	1.50

1. Л.М.Бреховских, *Волны в слоистых средах*, М.: Физматгиз, (1957).
2. Ф.Ван де Виле, Сб. *Полупроводниковые формирователи сигналов изображения*, М. Мир, (1979).
3. Я.Ю. Ахадов, *Диэлектрические свойства чистых жидкостей*, М.: Стандарты, (1972).

**MÜSTƏVİ MİKRODALĞA UDUCULARININ İŞIQLANDIRICI ÖRTÜYÜNÜN QALINLIĞININ VƏ XASSƏLƏRİNİN SEÇİLMƏSİ**

**Ç.O.QACAR, S.R.QASIMOVA**

Sonsuz qalınlıqlı uducu özülü və layın qalınlığını dəyişən qeyri uducu örtüyü olan yastı ikilaylı sistemin işıqlılığının şərtləri alınmışdır. Debay nəzəriyyəsində göstərilən dalğa dispersiya təbiətli özülün materialının dielektrik xassəsindən işıqlandırıcı örtüyün dielektrik xassəsinin və layın qalınlığının asılılığı tətqiq edilir.

**THE SELECTION OF THICKNESS AND PROPERTIES OF TRANSLUCENCE BLANKETS OF PLANE MICROWAVE ABSORBERS**

**CH.O.QAJAR, S.R.KASIMOVA**

The condition of translucence of plane two-layer system consisted from absorptive base of endless thickness and adjustable by thickness of layer of non-absorptive blanket were obtained. The dependencies of layer thickness and dielectric properties of translucence blanket from dielectric properties of material of base, which nature of dispersion describes by Debay theory, are investigated.