

**МЕТОДИКА ВЫБОРА ТОЛЩИНЫ СЛОЯ И МАТЕРИАЛА  
МИКРОВОЛНОВЫХ ПОКРЫТИЙ**

**С.Т.АЗИЗОВ, М.А.САДЫХОВ, С.Р.КАСИМОВА, Ч.О.КАДЖАР, Р.М.КАСИМОВ**

*Институт Физики НАН Азербайджана  
AZ 1143, Баку, пр. Г. Джавида 33*

Предложена методика выбора толщины слоя и материала неотражающих микроволновых покрытий на основе полярных диэлектриков и их растворов, а также приведены результаты исследований сильнопоглощающих растворов на основе полярных смесей диметилформамида и нитрометана в неполярном диоксане.

**ВВЕДЕНИЕ**

В последние годы исследователями многих развитых стран определен и изучен эффект безотражательного поглощения СВЧ излучения в системах, содержащих полярные молекулы и обладающих дисперсией в этом диапазоне длин волн. Экспериментальные исследования диэлектрических свойств и характеристик отражения полярных растворов, на примере которых можно моделировать указанные системы, показали, что эффект безотражательного поглощения СВЧ излучения возникает при определенных концентрациях полярных молекул в растворах. При этом характерно, что избирательное поглощение в таких системах происходит при малых толщинах покрытия и может быть реализовано в более широком диапазоне волн, включая даже коротковолновую область миллиметрового диапазона СВЧ.

В работах [1,2] теоретически обоснована возможность полного или безотражательного поглощения электромагнитного излучения в слое полярного диэлектрика, нанесенного на металлическую подложку. При этом установлено, что такое избирательное поглощение излучения в каждой двухслойной системе диэлектрик-металл возникает в области дисперсии волн материала покрытия при строго определенных ее толщинах и может быть реализовано в широком диапазоне частот, включая коротковолновую область миллиметрового диапазона волн. Экспериментальное доказательство указанного эффекта полного поглощения падающего излучения выполнено в работе [3] на примере исследования характеристик отражения волн бинарных растворов полярных веществ в неполярных растворителях. Указанный эффект возникает в подобных растворах при строго определенных избирательных значениях толщины слоя и составах растворов.

**ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ**

Графоаналитическим методом установлено, что при фиксированной длине волны  $\lambda$  излучения и температуре  $T$  вещества покрытия эффект безотражательного поглощения падающего излучения в двухслойной системе диэлектрик-металл может быть достигнут регулированием состава раствора полярного диэлектрика в непоглощающей неполярной среде. В этом случае за счет регулирования состава раствора происходит сдвиг по шкале частот и амплитуд дисперсионных и абсорбционных зависимостей раствора, что делает возможным достижения при заданных  $\lambda$  и  $T$  значений диэлектрической проницаемости  $\epsilon'$  и диэлектрических потерь  $\epsilon''$  раствора, соответствующих избирательных величин  $\epsilon_0'$

и  $\varepsilon_0''$ . В случае бинарного раствора полярного вещества в неполярном растворителе его концентрационная зависимость  $\varepsilon'$  и  $\varepsilon''$  представляет собой дугообразную кривую в координатной плоскости  $[\varepsilon', \varepsilon'']$  (Рис.1). Так как у неполярного растворителя  $\varepsilon''=0$ , то с ростом концентрации полярного компонента раствора зависимость  $\varepsilon'$  от  $\varepsilon''$  начинается с рабочей точки, лежащей на оси абсцисс, и заканчивается в верхней правой части плоскости  $[\varepsilon', \varepsilon'']$  в точке, соответствующей значениям  $\varepsilon', \varepsilon''$  чистого полярного компонента раствора. С увеличением в растворе концентрации неполярного разбавителя координата рабочей точки кривой  $\varepsilon'$  от  $\varepsilon''$  раствора при своем движении в плоскости координат  $[\varepsilon', \varepsilon'']$  пересечет ряд зависимостей избирательных значений  $\varepsilon', \varepsilon_0''$ . Учитывая специфику расположения линий избирательных значений  $\varepsilon', \varepsilon_0''$ , следует ожидать существования в подобных бинарных растворах дискретного ряда концентраций полярного компонента и толщин отражающего слоя раствора, при которых возникает безотражательное поглощение падающего излучения.

Согласно [3] зависимости между избирательными значениями  $\varepsilon_0'$  и  $\varepsilon_0''$  вещества покрытия двухслойной системы диэлектрик-металл определяются следующими уравнениями:

$$\pi(2N-1) + \arctg \frac{2\pi y}{n^1(1+y^1)-1} = \frac{1}{y} \ln \sqrt{\frac{(1+n)^2 + (ny)^2}{(1-n)^2 + (ny)^2}}, \quad (1)$$

где  $N$ -номер так называемого нулевого минимума зависимости коэффициента отражения волны  $\rho$  от толщины  $l$  слоя покрытия;  $n, y$ -соответственно коэффициент преломления волны и фактор диэлектрических потерь вещества покрытия, связанные с его диэлектрическими коэффициентами  $\varepsilon', \varepsilon''$  известными соотношениями

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

При этом избирательное значение толщины  $l_0$  слоя покрытия, при котором выполняется условия полного поглощения падающего излучения, определяется из выражения:

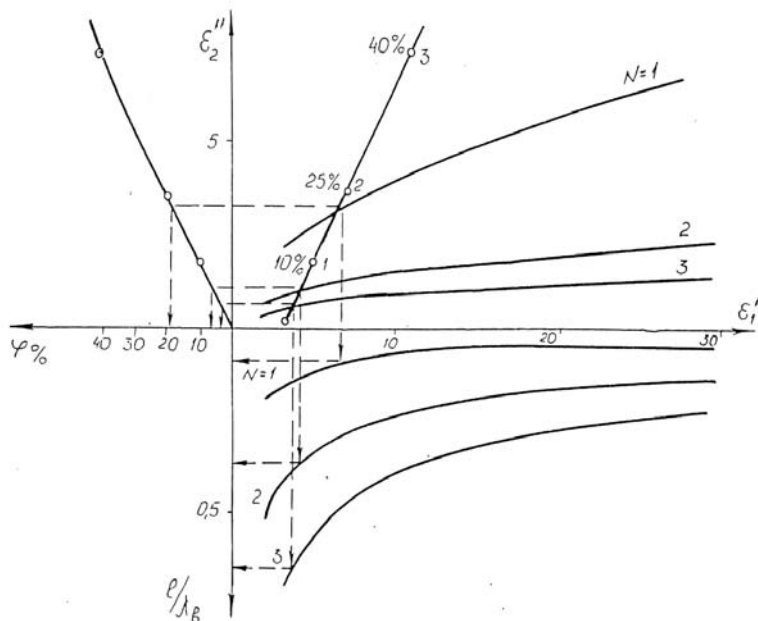
$$\frac{l_0}{\lambda_0} = \frac{1}{4\pi n} \left[ \pi(2N-1) + \arctg \frac{2ny}{n^2(1+n^2)-1} \right], \quad (3)$$

где  $\lambda_0$ - длина волны падающего излучения.

Определяемые уравнениями (1)-(3) зависимости между избирательными значениями  $\varepsilon_0', \varepsilon_0''$  и  $l_0/\lambda$  даны на Рис.1. Они характеризуются тем, что с ростом номера  $N$  нулевого минимума функции  $\rho(l)$  и, следовательно, избирательной толщины слоя покрытия зависимости  $\varepsilon_0''$  от  $\varepsilon_0'$  приближаются к оси абсцисс.

Из совместного графического рассмотрения этих зависимостей  $\varepsilon''(\varepsilon')$  реальных бинарных растворов полярных молекул следует, что поведение  $\varepsilon'$  и  $\varepsilon''$  реальных растворов с изменением его состава невыразимо аналитически. В связи с этим для решения подобной задачи был предложен графоаналитический метод решения исходных уравнений, описывающих условия возникновения эффекта безотражательного поглощения волн в веществе. В соответствие с этой методикой находятся точки пересечения зависимости  $\varepsilon''$  от  $\varepsilon'$  в плоскости координат  $[\varepsilon', \varepsilon'']$ . Затем, используя найденную в эксперименте зависимость  $\varepsilon''$  от  $\varepsilon'$ , производится графическое вычисление избирательных значений концентраций  $\varphi_0$  и толщины

$l_0$  слоя раствора, при которых возникает безотражательное поглощение микроволн (Рис.1).



С помощью данной методики были рассчитаны избирательные значения  $\varphi_0$ ,  $l_0$  ряда бинарных растворов амидов в 1,4-диоксане, которые оказались достаточно близки к экспериментально найденным величинами  $\varphi_0$ ,  $l_0$  тех же растворов.

Рис.1.

Графоаналитическая методика расчета избирательных значений толщины слоя  $l_0$  и концентраций  $\varphi_0$  полярного компонента в растворе на примере растворов диметилформамид-диоксан.

Указанное делает возможным использование данной методики для нахождения оптимальных параметров неотражающих поглотителей СВЧ излучения, содержащих в своем составе полярные жидкости или растворы и обладающих дисперсией волн в соответственно выбранном частотном диапазоне.

Возможность реализации при заданных  $\lambda$  и  $T$  поглотителей электромагнитного излучения на основе полярных смесей иллюстрируется следующими примерами. В них в качестве аналога твердых смесей использованы жидкие растворы полярных соединений в неполярных растворителях.

#### Пример 1.

Для получения поглотителя электромагнитного излучения при  $\lambda=1,5$  см выбираем в качестве материала покрытия металлического основания бинарный раствор диметилформамида в 1,4-диоксане. У неполярного 1,4-диоксана  $\varepsilon''=0$ , а  $\varepsilon'=2,28$  при  $\lambda=1,5$  см и  $T=20^\circ\text{C}$  [4]. Его рабочая точка в координатной плоскости  $[\varepsilon', \varepsilon'']$  лежит на оси абсцисс. У диметилформамида при тех же условиях измерения  $\varepsilon'$  и  $\varepsilon''$  равны соответственно 12,2 и 13,75; его рабочая точка с этими значениями  $\varepsilon'$  и  $\varepsilon''$  располагается значительно выше семейства, рассчитанных по уравнениям (1) и (2) зависимостей  $\varepsilon_0''$  от  $\varepsilon_0'$ . Получаемая для растворов диметилформамид - 1,4-диоксан различной концентрации зависимость  $\varepsilon''$  от  $\varepsilon'$ , практически, линейна и с уменьшением концентрации диметилформамида последовательно пересекает, начиная с первой, все теоретические зависимости резонансных значений  $\varepsilon_0'$  и  $\varepsilon_0''$ . Точкам пересечения теоретических и экстремальной зависимостей будут соответствовать концентрации, при которых возникает эффект безотражательного поглощения электромагнитного излучения заданной частоты. Расчетным путем найдено, что при  $N=1$  безотражательное поглощение волны имеет место при толщине слоя раствора  $l_0=0,21$  см и объема молярной концентрации диметилформамида  $\varphi=0,174$ . Аналогичный эффект получается при толщине слоя

раствора  $l_0=0,67$  см и концентрации диметилформаида  $\varphi=0,055$  ( $N=2$ ), безотражательное поглощение может быть получено и при меньших концентрациях диметилформаида, но при толщинах слоя раствора, близких к значениям кратным  $\lambda_g/4$ .

### Пример 2.

Для получения поглотителя электромагнитного излучения при  $\lambda=0,815$  см выбираем в качестве материала поглощающего покрытия раствор нитрометана в неполярном диоксане. У диоксана при  $T=20^\circ\text{C}$   $\varepsilon''=0$  и  $\varepsilon'=2,28$ , тогда как у нитрометана  $\varepsilon'=19,2$  и  $\varepsilon''=18,1$  [4]. По результатам расчета безотражательное поглощение в слое раствора имеет место при  $l_0=0,098$  см и  $\varphi=0,144$  ( $N=1$ ),  $l_0=0,035$  см и  $\varphi=0,0442$  ( $N=2$ ) и т.д.

Проведенные исследования и разработка расчетной методики могут быть использованы при создании неотражающих микроволновых поглотителей, содержащих в своем составе высокодисперсные капсулированные включения из полярных диэлектриков и их растворов.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, расчетным путем получен графоаналитический метод определения параметров поглощающих полярных смесей в неполярном растворителе.

1. Р.М. Касимов, *Инженерно-физический журнал, Москва*, №5-6 (1994) 489.
2. Р.М.Касимов, Ч.О.Каджар, Э.М.Касимов, С.Т.Азизов, *Известия АН Азербайджана, сер. Физ-тех и мат. наук*, 16 № 5-6 (1995) 22.
3. Р.М.Касимов, Ч.О.Каджар, Э.М.Касимов, М.А.Калафи, *Инженерно-физический журнал, Москва*, 71 № 2 (1998) 282.
4. Я.Ю.Ахадов, *Диэлектрические параметры чистых жидкостей*, Москва, Изд. МАИ, (1999).

### MIKRODALĞALI UDUCULARIN MATTERIALLARIN VƏ QALINLIQLARIN SECİLMƏSİ METODİKASI

**C.O.QAJAR, R.M.GASIMOV, S.T.AZIZOV, M.A.SADIXOV, S.R.GASIMOVA**

Məqalədən mikrodalğalı diapozonda polyar dielektriklərin və onların məhlullarının əsasında əks etdirməyən materiaların və onların qalınlıqların secilməsi metodikasından bəhs olunur.

### SELECTION PROCEDURES OF THE THICKNESS OF LAYER AND MATERIAL FOR THE MICROWAVE COVER

**CH.O.QAJAR, R.M. GASIMOV, S.T. AZIZOV, M.A. SADIXOV, S.R. GASIMOVA**

The possible of the use of the composition material as the microwave absorbent on the base of the epoxy resin with the water introduced in it as the high-disperse filler have been investigated.

Редактор: Э.Гусейнов