

УДК 541.6:541.1223 PACS: 61.20. -p; 77.22. -d; 77.22.Gm

МИКРОВОЛНОВЫЕ ПОГЛОТИТЕЛИ СВЧ ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

С.Т.АЗИЗОВ

Институт Физики ИАН Азербайджана
AZ 1143, г. Баку, пр. Г.Джавида, 131
samir_azizov@mail.ru

Получена: 02.06.2021
Принята к печати: 17.09.2021

Ключевые слова: диэлектрическая спектроскопия, диэлектрическая проницаемость, диэлектрические свойства жидкостей, электромагнитное излучение, коэффициент отражения электромагнитной волны.

ВВЕДЕНИЕ

В литературе известны разные поглотители электромагнитного излучения, выполненные на основе композитных материалов [1,2], поглощение электромагнитного излучения в которых осуществляется в поверхностном слое наполнителей, содержащих в своем составе тонкие металлические провода или высокодисперсные металлические частицы, за счет скин-эффекта. Недостаток этих поглотителей состоит в том, что эффективность поглощения электромагнитного излучения ослабевает с увеличением его частоты, что затрудняет создание высокочастотных поглотителей электромагнитного излучения на базе существующих проводящих материалов.

Известен поглотитель электромагнитного излучения, имеющий металлическое основание с нанесенным на него тонкого слоя диэлектрика, в качестве которого использовано полярное вещество с максимальной дисперсией вблизи заданного диапазона длин волн, при этом толщина слоя диэлектрика определяется из условия минимума модуля коэффициента отражения волны для слоя полярного диэлектрика на металле [2].

Полярные жидкости тоже можно использовать в качестве поглотителей микроволн.

РЕФЕРАТ

Приведены данные исследований по созданию поглощающих покрытий СВЧ излучения на основе композитных материалов, утилизирующих остаточное и нежелательное электромагнитное излучение. Покрытия могут быть использованы для защиты живых организмов от вредного воздействия СВЧ излучения заданной частоты (локационная техника, телевидение, мобильная связь).

Технически это возможно при использовании полярных жидкостей как капсулированных включений в определенное твердотельное покрытие. При малом объеме таких капсулированных жидких включений получаемые поглотители имеют необходимую конструктивную жесткость. Следует отметить, что при определенном подборе концентрации включений реализуются условия полного поглощения в них падающего СВЧ излучения. Поглотитель электромагнитного излучения был создан на основе исследований диэлектрических свойств и характеристик отражения композитного материала вода-эпоксидная смола в диапазоне сантиметровых волн, [2]. Было установлено, что при заданной частоте падающего излучения и температуре раствора полное безотражательное поглощение волн возникает при строго определенных толщинах слоя и составах композитного материала. Однако, в таких поглотителях на основе композитного материала вода-эпоксидная смола в диапазоне сантиметровых волн эффективное гашение электромагнитного излучения ухудшается с увеличением его частоты, что затрудняет создание высокочастотных поглотителей электромагнитного излучения.

Недостатком отмыченных поглотителей СВЧ излучения является то, что на высоких

частотах эффективность избирательного поглощения излучения таких поглотителей резко падает. Кроме того, даже на низких частотах для достижения полного поглощения покрытия подобного типа приходилось доводить до сравнительно большой толщины, что заметно утяжеляло защищаемые объекты, а примененные в качестве наполнителей более эффективных ферромагнитных материалов делало эти поглотители механически менее прочными.

Задачей проведенных исследований является повышение избирательности и чувствительности покрытий, поглощающих электромагнитное излучение.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В поглотителе электромагнитного излучения на основе композитных материалов, состоящих из покрытия с внесенной в него жидкой фазой (капсулированная жидкость) с дисперсией вблизи заданного диапазона волн падающего излучения, слой покрытия выполнен нами из однородного твердотельного материала, а в качестве поглощающего наполнителя использована полярная жидкость. При этом концентрация полярного компонента смеси и толщины слоя покрытия была выбрана из условия равенства нулю модуля коэффициента отражения волны. В связи с этим, так как проявление указанного эффекта возможно в композитах, полярные компоненты которых имеют дисперсию в микроволновом диапазоне волн, был предложен поглотитель излучения СВЧ на основе композитного материала ацетонитрил-эпоксидная смола. Экспериментальные исследования безотражательного поглощения на примере композита ацетонитрила-эпоксидная смола проводились с учетом того, что дисперсионные области ацетонитрила лежат в диапазоне сантиметровых и миллиметровых волн. Исследования были выполнены при длинах волн $\lambda=1,5\text{см}$ и $\lambda=8,15\text{мм}$ и температуре 20°C . Для прогнозирования значительной толщины слоя и состава композитного материала, при которых наблюдается полное поглощение СВЧ излучения в выбранных композитах, использовались данные измерения их ди-

электрических проницаемостей ϵ' и диэлектрических потерь ϵ'' . Полученные экспериментальные значения ϵ' и ϵ'' композитных материалов различных концентраций были использованы для нахождения графоаналитическим способом резонансных концентраций полярных компонентов композитного материала, при которых наблюдается эффект полного поглощения СВЧ излучения заданной длины волны в широком спектре частот СВЧ излучения. С этой целью снимались концентрационные зависимости коэффициента отражения волны ρ последовательно для каждого очередного номера $N=1,2,3$ минимума функции $\rho(l)$. Экспериментальные значения ϵ' и ϵ'' композита ацетонитрил-эпоксидная смола использовались для построения в той же плоскости координат $[\epsilon', \epsilon'']$ зависимости величин ϵ' от ϵ'' . Предложен графоаналитический метод решения исходных уравнений, описывающих условия возникновения эффекта безотражательного поглощения волн в веществе. В соответствии с этой методикой были найдены точки пересечения зависимости ϵ'' от ϵ' в плоскости координат $[\epsilon', \epsilon'']$. Затем, используя найденную в эксперименте зависимость ϵ'' от ϵ' , провели графическое вычисление резонансных значений ϕ_0 и толщины l_0 ацетонитрила, при которых возникает безотражательное поглощение микроволн. Полученные теоретические результаты сопоставлялись с экспериментальными результатами ϕ_0 и l_0 .

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Найденные расчетным путем резонансные значения толщин слоя и составов композитов сопоставлялись с теми же данными, полученными непосредственно из экспериментальных исследований зависимостей ρ от l . Как следует из Рис. 1, для композита ацетонитрил-эпоксидная смола все минимумы зависимости ϵ'' от ϵ' , начиная с первого, с изменением концентрации композита ацетонитрил-эпоксидная смола достигают своих нулевых значений.

При использовании композита ацетонитрил-эпоксидная смола повышение избиратель-

ности и чувствительности покрытий, поглощающих электромагнитное излучение, является наиболее эффективным, т.е. на более высоких частотах излучения, чем в случае композиции вода-эпоксидная смола.

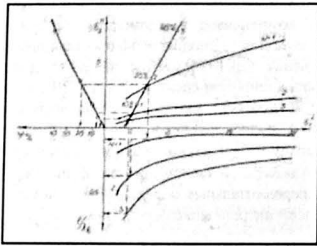


Рис.1

Графоаналитический метод определения условия возникновения эффекта полного поглощения СВЧ излучения.

В качестве наполнителей микроволновых покрытий используются полярные жидкости, обладающие в этом диапазоне волны высокими значениями как диэлектрических потерь ϵ'' , так и диэлектрической проницаемости ϵ' . Для технической реализации подобных поглощающих покрытий полярная жидкость может быть использована в качестве наполнителя твердотельного материала. При малом объеме таких капсулированных жидких включений получаемые поглотители могли бы иметь необходимую конструктивную жесткость, а при определенном подборе концентрации включений - обеспечивать реализацию условия полного поглощения в них падающего СВЧ излучения. Сами включения выполнены в виде капсул жидких полярных веществ, заключенных в защитные полимерные пленочные оболочки. Так как у неполярного матричного вещества поглотителя $\epsilon'' = 0$, а ϵ' не зависит от частоты, то при заданной температуре t и длине волны λ падающего электромагнитного излучения выбор резонансных значений ϵ_0' и ϵ_0'' поглотителя достигается вариацией концентрации его жидкой фазы [3,4].

Возможность реализации при заданных t и λ поглотителей электромагнитного излучения на основе композиционных материалов, содержащих высокодисперсные капсулированные полярные жидкости, иллюстрируется следующим примером. В них для удобства представления результатов предполагается аддитивный характер связи диэлектрических свойств поглотителя с диэлектрическими свойствами его компонентов и малость размера жидких капсул по сравнению с длиной волны излучения.

В соответствии с данными работы [5,6], условия полного поглощения СВЧ излучения в двухслойной системе диэлектрик-металл описываются следующими уравнениями

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

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

где l_0 - толщина слоя, N - номер нулевого минимума зависимости коэффициента отражения волны от толщины слоя вещества.

Входящие в уравнения (1) и (2) коэффициент преломления волны n и фактор диэлектрических потерь y материала покрытия связаны с его ϵ' , ϵ'' известными соотношениями

$$\epsilon' = n^2(1-y^2) \quad \epsilon'' = 2n^2y. \quad (3)$$

Величины ϵ' и ϵ'' , входящие в уравнения (3), связаны с диэлектрической проницаемостью ϵ_1' и диэлектрическими потерями ϵ_1'' жидкой фазы и ϵ_2 матричного вещества описываются уравнениями

$$\epsilon' = \epsilon_1'(\varphi_0) + \epsilon_2(1-\varphi_0), \quad \epsilon'' = \epsilon_1''\varphi_0, \quad (4)$$

где φ - концентрация жидкой фазы в веществе покрытия.

Совместное решение уравнений (1)-(4) позволяет рассчитать избирательные значения концентрации φ жидкой фазы и толщины l_0 слоя покрытия при заданных величинах N , длины волны λ падающего излучения и диэлектрических коэффициентов.

Ниже приведены результаты расчета φ и l по уравнениям (1)-(4) при длине волны $\lambda=1,5$ см микроволнового поглотителя, формируемого на основе эпоксидной смолы введенными в него в качестве наполнителя капсулированного ацетонитрила. У эпоксидной смолы диэлектрическая проницаемость $\epsilon=2,7$. Для ацетонитрила при $\lambda=1,5$ см и $t=20^\circ\text{C}$ $\epsilon'=36,8$, $\epsilon''=3,64$ [7,8]. Из совместного решения системы уравнений (1)-(4) следует, что условия безотражательного поглощения излучения выполняются при объемной концентрации жидкой фазы при $\varphi=0,077$ и толщине слоя поглотителя $l=0,173$ см по величине близкой к $\frac{\lambda_0}{4}$ (при $N=1$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований привели к созданию покрытий на основе композиционных материалов, утилизирующих остаточное и, зачастую, нежелательное электромагнитное излучение, что может быть использовано для защиты живых организмов от вредного действия СВЧ излучения, в локационной технике, а также в других областях техники, где возникает необходимость в поглощении электромагнитного излучения заданной частоты. Слой покрытия выполнен из однородного твердотельного материала, обладающего хорошими адгезионными свойствами с внесенной в него жидкой фазой с дисперсией вблизи заданного диапазона волны падающего излучения. В качестве поглощающего наполнителя использована полярная жидкость, при этом концентрация полярного компонента смеси и толщина слоя покрытия выбирается из условия равенства нулю модуля коэффициента отражения волны.

1. M.Ferdly. Structures absorbentes hautes frequences large bande, Patente N2665291, Франция, (1992).
2. S.T.Azizov, O.A.Aliev, R.G.Abaszade. Low-frequency dielectric properties of acetone, International Journal of Latest Research in Science and Technology ISSN (Online): 2278-5299 5, №4 (2016) 58-62.
3. Э.Р.Касимов, С.Т.Азизов, Р.М.Касимов, Ч.О.Каджар. Поглотитель электромагнитного излучения, Патент №2000/0070, Азербайджан, (2000).
4. Р.М.Касимов. Поглощение электромагнитного излучения в слое полярного диэлектрика, Инженерно-физический журнал, Москва, 67 (1994) 489-492.
5. Э.Р.Касимов, С.Т.Азизов, Р.М.Касимов, Ч.О.Каджар. Моделирование процесса безотражательного поглощения электромагнитного излучения в двухслойной системе диэлектрик-металл, Transactions of National Academy of Science of Azerbaijan, series of physics-mathematical and technical sciences, Physics and Astronomy, XVI №5-6 (1995) 22-29.
6. Р.М.Касимов, М.А.Калафи, Э.Р.Касимов, Ч.О.Каджар. Безотражательное поглощение электромагнитного излучения в полярных смесях, Инженерно-физический журнал, Москва, 71 №2 (1998) 282-285.
7. J.L.Daschbach, B.M.Peden, R.S.Smith, B.D.Kay. Adsorption, desorption, and clustering of H_2O on Pt(111), J. Chem. Phys., 3 (2004) 1516-1523.
8. Я.Ю.Ахадов. Диэлектрические параметры чистых жидкостей, М. Изд. МАИ, (1999) 285.

KOMPOZİT MATERIALLAR ƏSASINDA ƏYT ŞÜALANMANIN MİKRODALĞALI UDUCULARI

S.T.ƏZİZOV

Məqalədə qalığ və arzuolunmaz elektromaqnit şüalanmadan istifadə olunan kompozit materiallar əsasında mikrodalğalı uducuların yaradılması ilə bağlı tədqiqat məlumatları təqdim olunur. Uducular canlı orqanizmləri müəyyən bir tezlikdə mikrodalğalı şüalanmanın zərərli təsirlərindən qorumaq üçün istifadə edilə bilər (yer texnologiyası, televiziya, mobil rabitə və s.).

MICROWAVE ABSORBERS OF MICROWAVE RADIATION BASED ON COMPOSITE MATERIALS

S.T.ƏZİZOV

The data of research on the creation of absorbing coatings of microwave radiation based on composite materials that utilize residual and unwanted electromagnetic radiation have been presented. Coatings could be used to protect living organisms from the harmful effects of microwave radiation of a given frequency (location technology, television, mobile communications).