

ДИСПЕРСНЫЕ ПОГЛОТИТЕЛИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН**Б.М. Широков, А.Ф. Корж***Национальный научный центр “Харьковский физико-технический институт”
Украина*

Поступила в редакцию 22.11.2005

В работе представлены результаты расчетов различных конструкций дисперсных структур, в которых дисперсная фракция помещенная, в диэлектрическую матрицу, представляет собой микрочастицы, на поверхность которых нанесено металлическое покрытие. Такие искусственные материалы могут быть использованы как поглотители электромагнитной энергии.

ВВЕДЕНИЕ

К настоящему времени в многочисленных работах практически исчерпывающе проведены исследования функциональных возможностей материалов, которые были даны нам природой. Однако возникли области научно-практической деятельности, в которых к используемым материалам предъявляются требования такие, например, как радиационная стойкость (технологии атомной энергетики), особые электромагнитные свойства (волноводные устройства, спутниковые системы) и др. Удовлетворить таким требованиям природные (естественные) материалы не могут. Поэтому возникла необходимость создания новых искусственных материалов с заданными свойствами. К такого рода деятельности относятся нано- и микро-композитные технологии, создание искусственных полупроводников и диэлектриков, конструирование дисперсных структур и др.

В настоящей работе представлены проведенные авторами результаты теоретических исследований электромагнитных свойств твердотельных структур, состоящих из “облака” микрочастиц, равномерно распределенного в диэлектрической матрице. Каждая частица состоит из диэлектрического ядра, на которое нанесено тонкослойное металлическое покрытие.

ПОВЕРХНОСТЬ

Категория “поверхность” в рассматриваемой задаче имеет два аспекта:

аспект первый: необходимо заданным образом сформировать поверхность дисперсного объекта, чтобы обеспечить необходимые

свойства материала (например, уровни отраженной и поглощенной мощности падающей волны и др.);

аспект второй: располагая правильным образом сконструированным дисперсным материалом (заданные электрофизические характеристики дисперсной фракции, геометрическая форма элементов структуры, размеры частиц, плотность упаковки, геометрия структуры и др.), можно использовать ее в свою очередь, как материал покрытия для формирования поверхности различных конструкций (например, стенок волноводных систем) для обеспечения заданных электромагнитных свойств.

КОНСТРУКЦИИ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ДИСПЕРСНОЙ СТРУКТУРЫ

В работе аналитическим методом проведен расчет сечения поглощения электромагнитных волн диэлектрическим шариком с тонким металлическим покрытием. Такая задача в общей постановке была решена в работах [1, 2].

Решения для полей искались:

– в сердцевине шарика – в виде сферической функции Бесселя $j_m(y)$, имеющей конечное значение в центре шара;

– снаружи – в виде сферической функции Ханкеля второго рода $h_m^{(2)}(y)$, которая на бесконечности обращается в ноль по закону [3]:

$$h_m^{(2)}(y) \sim (i^{m+1}/y) \cdot e^{-iy};$$

– внутри слоя – в виде суммы сферической функции Бесселя и Ханкеля с неопределен-

ными коэффициентами. Коэффициенты определялись из условий сшивки решений на двух границах. Здесь $y = \sqrt{\varepsilon} \cdot k \cdot r$, k – модуль волнового вектора, ε – диэлектрическая проницаемость среды, r – радиальная сферическая координата.

В настоящей работе проведен расчет сечений поглощения для случая, когда длина волны излучения λ больше размера шарика “ a ”, глубины скин-слоя материала покрытия δ и толщины покрытия Δr , т.е.:

$$\lambda \gg a \geq \delta \geq \Delta r. \quad (1)$$

Получено выражение для сечения поглощения волны:

$$\sigma_{\text{погл}} = (4\pi/k^2) \cdot \text{Re}S(\theta = 0) \quad (2)$$

и определены доминирующие механизмы поглощения. (Здесь $S(\theta)$ – амплитудная функция рассеивающей частицы, θ – угол рассеяния, k – модуль волнового вектора). При выполнении условия (1) сечение поглощения (2) имеет вид:

$$\sigma_{\text{погл}} = (32\pi^2/3) \cdot (a/\lambda) \cdot \text{Im}(\alpha_p + \alpha_m) \cdot \sigma_0, \quad (3)$$

где $\sigma_0 = \pi a^2/4$, α_p и α_m – значения поляризуемости частицы, связанные с колебаниями электрического и магнитного (созданного наведенными токами) дипольных моментов. Для нашего случая эти выражения имеют вид:

$$\text{Im}\alpha_p = (9\pi/4) \cdot (\delta/\lambda) \cdot (a/\Delta r), \quad (4)$$

$$\text{Im}\alpha_m = (9/16\pi) \cdot (\delta^2/a \cdot \Delta r). \quad (5)$$

Если материал покрытия металл с хорошей проводимостью 10^{17} с^{-1} , $\delta \sim 1$ мкм, то магнитодипольные потери являются доминирующими.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Таким образом диэлектрический шарик с металлическим покрытием размером:

$$a \sim \Delta r \sim 1 \text{ мкм}$$

либо

$$a \sim 10 \text{ мкм}, \\ \Delta r \sim 0,1 \text{ мкм}$$

является хорошим поглотителем. При этом сечение поглощения слабо зависит от длины волны излучения (5), а сферическая симметрия обеспечивает слабую зависимость поглощения от угла падения.

Поглотители из таких шариков могут использоваться, например, и для изготовления стенок волноводных систем, где эффект отражения волны является паразитным [4].

Проведены исследования процессов взаимодействия электромагнитной волны с дисперсной структурой, состоящей из облака таких частиц, помещенных в диэлектрическую матрицу. Получены оптимальные значения параметров таких структур, определяющие эффективное поглощение волны.

Толщина дисперсной структуры d находится из условия полного поглощения падающего излучения:

$$W_0 \cdot \sigma_{\text{погл}} \cdot N \cdot d = W_0,$$

т.е. для дисперсной фракции в виде слоистых шариков имеем

$$d = (1/2\pi) \cdot (\delta^2/a \cdot \Delta r)$$

Здесь N – объемная плотность дисперсной фракции, $W_0 = (c/8\pi) \cdot E_0^2$ – модуль потока мощности, а E_0 – амплитуда напряженности падающей волны. Так, структура, имеющая параметры:

$$\sigma \sim 10^{17} \text{ с}^{-1}, \quad a \approx \Delta r \approx 0,5 \text{ мкм}, \\ N \approx 10^{12} \text{ см}^{-3}, \quad d \approx (3 - 5) \text{ мм},$$

является хорошим поглотителем. Имеется еще множество конструктивных вариантов поглощающих структур, позволяющих привести их в соответствие с имеющимися или разрабатываемыми технологиями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Aden A.L., Kerker M.S. Scattering of electromagnetic waves from two concentric spheres// J. Appl. Phys. – 1951. – Т.2, № 10. – С. 1242-1246.
2. Шифрин К.С. Рассеяние света на двухслойных частицах//Изв. АН СССР, сер. геофизическая.– 1952.–№2.– С.15-21.

3. Олвер Ф. Асимптотика и специальные функции.— М.: “Наука”, 1990. — 456 с. энергии //Обзоры по электронной технике. Серия 6. Материалы. — 1988. — Вып. 9. — С. 1415-1466.
4. Ирюшкина Л.Ф., Воробьева Н.И. Материалы для внутривакуумных поглотителей СВЧ

**ДИСПЕРСНІ ВБИРАЧІ
ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ХВИЛЬ**

Б. М. Широков, А. Ф. Корж

У роботі наведено результати розрахунків різноманітних конструкцій дисперсних структур, в яких дисперсна фракція, поміщена в діелектричну матрицю, являє собою мікрочастинки, на поверхні яких нанесено металеве покриття. Такі штучні матеріали можуть бути використані, як вбирачі електромагнітної енергії.

**DISPERSE ELECTRO-MAGNETIC
WAVE ABSORBERS**

B. Shyrokov, A. Korsh

The results of calculations for different disperse structures, in which disperse fraction located in dielectric matrix represents macro-particles with metallic coating deposited on their surface, are presented in the paper. Such artificial materials can be used as electro-magnetic energy absorbers.