

УДК 533.9.01 : 539.216.2

Б.М. Широков, А.Ф. Корж

Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», Харьков

## ЗАЩИТНЫЕ РАДИОМАСКИРУЮЩИЕ ПОКРЫТИЯ

*В работе в краткой форме теоретически рассмотрена задача о поглощении электромагнитных волн тонкослойными дисперсными структурами. Сделаны оценки параметров структуры – эффективного поглотителя волн длиной 3 см.*

***поглощение электромагнитных волн, многослойные структуры, дисперсные структуры, тонкий слой***

Решению задач об обеспечении радиационной невидимости объектов различного функционального назначения несколько десятилетий были посвящены усилия большого отряда ученых и технологов. В зависимости от характера использования покрытия делятся на несколько категорий. Отметим некоторые из них. Так, стационарные объекты, защищаемые от волны обратного сигнала, могут покрываться достаточно толстым массивным слоем поглощающего материала и быть даже съёмными. К внутренним стенкам волноводных вакуумных систем другие требования. Летающие аппараты покрываются тонким слоем с особыми требованиями к высоким температурам, обдуванию высокоскоростными потоками газов, быть стационарными, иметь высокую степень адгезии.

Без соответствующего расчета, методом проб и ошибок, задачу о поглощающем покрытии решить невозможно, поскольку система имеет много параметров. Так, например, для многослойных структур, это великое множество вариантов подбора количества слоев, их толщин, качественных характеристик материалов слоев, последовательность их чередования и др. Для создания дисперсных поглотителей необходимо знать качественные характеристики дисперсных включений, их структуру, концентрацию, характеристики материала матрицы и, конечно же, толщину структуры.

Поэтому авторы настоящих исследований своими теоретическими оценками решили помочь инженерам и технологам, создающих эффективные радио-поглотители, в решении их задач. В настоя-

щем сообщении лишь обозначены некоторые фрагменты по дисперсным поглощающим структурам.

В теоретическом (фундаментальном и прикладном) плане исследованиями поглощающих структур, в разное время, занималась армия ученых. Так, например, в теоретических работах, ставших уже классическими, некоторые из которых цитируются в [1 – 3], отражены результаты определенных моментов таких усилий, а также в работах последних лет, например, [4 – 6]. Новизна нашего подхода состоит в том, что, в результате проведенных выкладок, выражения для полей, рассеянных и проникающих внутрь слоев и частиц, приобрели простой прозрачный математический вид. Затем были проведены их асимптотические разложения (тонкие слои, малые частицы, длинные волны и др.) для практически важных случаев: волноводные системы, радарные установки и т.д.

После этого были рассчитаны сечения рассеяния и поглощения с учетом тонкоплочных эффектов и процессов когерентного взаимодействия индуцируемых волн. Исследовались многослойные и дисперсные структуры. Здесь, в качестве демонстрации, в тезисном виде представлены некоторые результаты только одного направления – тонкие дисперсные слои – системы, где оригинально сочетаются макро- и микро- параметры, тонкоплочные и когерентные эффекты.

Приведем некоторые известные в классической электродинамике выражения. Так, мощность, поглощаемая однородным металлическим образцом, определяется выражением:

$$dQ/ds = 4\pi (\delta/\lambda) \times P_0, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – длина падающей волны;  $\delta = (1/2\pi) \times (c\lambda/\sigma)^{1/2}$  – глубина скин-слоя;  $\sigma$  – проводимость металла;  $P_0$  – поток мощности падающей волны.

В случае тонкой металлической пленки на диэлектрике:

$$\begin{aligned} dQ/ds &= (4/(n+1) \times \alpha) \times P_0 = \\ &= 4\pi (\delta/\lambda) \times (\delta/d) \times P_0, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $d$  – толщина пленки ( $d \leq \delta$ );  $n$  – показатель преломления материала подложки;  $\alpha$  – поляризуемость.

Рассмотрим дисперсные поглощающие структуры, состоящие из металлического порошка, «замороженного» в диэлектрической матрице. Преимущество таких структур перед однородными материалами в том, что каждая частица структуры, являясь диполем в поле внешней волны, переизлучает ее энергию.

Такие индуцируемые «вторичные» волны от разных частиц, распространяясь в «хаотических» направлениях, когерентно взаимодействуют рассеиваясь либо уничтожая друг друга, приводя к отсутствию регулярного обратного сигнала.

При малых толщинах структуры в такой системе присутствует и эффект аномального увеличения поглощения волны тонкими металлическими пленками [3].

Величина поглощения волны одной металлической частицей определяется выражением [7]:

$$dQ/ds = (8\pi/15) \times (a/\lambda) \times (a^2/\delta^2) \times P_0, \quad (3)$$

где  $a$  – размер частицы.

Если объемная доля частиц структуры достаточно мала ( $< 40\%$ ), то волна воспринимает структуру, как однородное вещество с некоторой эффективной диэлектрической проницаемостью, определяемой соотношением Лорентц – Лоренца:

$$\varepsilon_{эф} = (3\beta/(1-\beta)), \quad (4)$$

где

$$\beta = (4\pi/3) \times N \times V \times (\alpha^{(1)} + i\alpha^{(2)}); \quad (5)$$

$\alpha^{(1)}$ ,  $\alpha^{(2)}$  – вещественная и мнимая части поляризуемости частицы;  $N \times V$  – степень заполнения ими матрицы.

Используя формулу (2) для тонкого слоя из условия практически полного поглощения энергии волны:

$$dQ/ds \approx P_0 \quad (6)$$

находим толщину слоя:

$$d = ((1+n)/90\pi) \times (a^2/\delta^2) \times \lambda. \quad (7)$$

Соотношения, записанные выше можно применять для оценки параметров широкого круга задач.

Здесь приведем только один демонстрационный результат:

$$a = \delta, \quad \lambda = 3 \text{ см}, \quad d = 300 \text{ мкм}, \quad N = 10^{11} \text{ см}^{-3}. \quad (8)$$

Отметим, что при падении такой волны на однородный металлический образец (оценка по формуле (1)) поглотится только 4% энергии волны. Остальная ее часть в виде обратного сигнала вернется в приемное устройство радара.

Таким образом, рассмотренные в настоящей работе искусственные композиты могут успешно применяться для отмеченных выше целей.

### Список литературы

1. Ван де Хюлст Г. Рассеяние света малыми частицами. – М.: ИИЛ, 1961. – 520 с.
2. Волькенштейн М.В. Молекулярная оптика. – М.: Гостехиздат, 1951. – 437 с.
3. Розенберг Г.В. Оптика тонкослойных покрытий. – М.: ГИФМЛ, 1958. – 518 с.
4. Bannyi V.A., Khodakova I.N., Makarcvich A.V. Electromagnetic Shields made from Nonwoven Composite – Materials // Fibre Chemistry. – 2002. – Vol. 34, Iss. 4. – P. 297-300.
5. Nanoparticle Optics – the Importance of Radiative Dipole Coupling in 2 – Dimensional Nanoparticle Array / C.L. Haynes, A.D. Mefarland, L.L. Zhao at all. // Journal of Physical Chemistry B. – 2003. – Vol. 107, Iss.30. – P. 7337-7342.
6. Dielectric and Magnetic Losses of Microwave Electromagnetic – Radiation in Granular Structures with Ferromagnetic Nanoparticles / L.V. Lutsev, N.E. Khazantseva, I.A. Tchmutin at all. // Journal of Physics – Condensed Matter. – 2003. – Vol. 15, Iss.22. – P. 3665-3681.
7. Ландау А.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. – М.: ГИИТА, 1955. – 532 с.

Поступила в редколлегию 1.03.2007

**Рецензент:** д-р физ.-мат. наук, проф. В.И. Карась, Харьковский университет Воздушных сил им. И. Кожедуба, Харьков.