РЕЗОНАНСНАЯ КУБИЧЕСКАЯ РЕШЕТКА СФЕРИЧЕСКИХ ВОЗДУШНЫХ ПУЗЫРЬКОВ, НАХОДЯЩАЯСЯ В МАГНИТО-ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СРЕДЕ

Козарь А. И.
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
пр. Ленина, 14, Харьков, 61166, Украина
тел.: 8057-7021345, e-mail: fizika@kture.kharkov.ua

Аннотация — Рассматривается решение и анализ задачи о рассеянии плоской электромагнитной волны резонансной кубической решеткой сферических воздушных пузырьков, находящихся в магнитодиэлектрической среде с большим значением диэлектрической и магнитной проницаемостями.

I. Введение

Если в континуальных однородных и изотропных магнитодиэлектрических средах создавать пространственно-упорядоченные структуры из сферических воздушных пузырьков, то можно получать среды с резонансными свойствами. В данном сообщении изучаются рассеивающие свойства резонансной кубической решетки малых сферических воздушных пузырьков, находящейся в магнитодиэлектрической среде, для случая, когда $a/\lambda' \ll 1$; $a/\lambda_g << 1,\ d,h,l/\lambda_g \sim 1$; где a – радиус пузырьков; λ', λ_g – длины рассеиваемой волны внутри и вне пузырьков d,h,l – постоянные решетки. Исследовалась структура рассеянного поля внутри и вне решетки в зонах Френеля и Фраунгофера. Решение получено на основе интегральных уравнений электродинамики Фредгольма 2-го рода [1, 2, 3].

II. Основная часть

Рассеянное поле по известному внутреннему полю рассеивателей найдем через электрический $\vec{\Pi}^{э}(\vec{r},t)$ и магнитный $\vec{\Pi}^{м}(\vec{r},t)$ потенциалы Герца пространственной решетки

$$\begin{aligned}\vec{E}_{расс} &= \left(\nabla\nabla + k^2\varepsilon_0\mu_0\right)\vec{\Pi}^{э}(\vec{r},t) - ik\mu_0\left[\nabla,\vec{\Pi}^{м}(\vec{r},t)\right],\\ \vec{H}_{расс} &= \left(\nabla\nabla + k^2\varepsilon_0\mu_0\right)\vec{\Pi}^{м}(\vec{r},t) + ik\varepsilon_0\left[\nabla,\vec{\Pi}^{э}(\vec{r},t)\right].\end{aligned} \quad (1)$$

Потенциалы Герца решетки представляют в виде суперпозиции потенциалов Герца для отдельных пузырьков решеток. Электрический потенциал Герца решетки имеет вид

$$\begin{aligned}\vec{\Pi}^{э}(\vec{r},t) &= \sum_{c=1}^{N}\frac{1}{k_1^3}\left(\sin k_1a_c - k_1a_c\cos k_1a_c\right)\text{x}\\ &\text{x}\left(\frac{\varepsilon_{сэф}}{\varepsilon_0}-1\right)\vec{E}^0_{c(p,s,t)}(\vec{r}\,',t)\frac{e^{-ik_1r_c}}{r_c}.\end{aligned} \quad (2)$$

Выражение (2) описывает рассеянное поле на произвольном расстоянии r_c от центров пузырьков до точек наблюдения поля вне пузырьков. Здесь $\vec{E}^0_c(\vec{r}\,',t)$ – индуцированное внутреннее поле пузырьков, которое находят из алгебраической системы неоднородных уравнений [2,3], ε_0, μ_0 – проницаемости магнитодиэлектрической среды, N – число пузырьков. Рассеянное системой пузырьков поле $E_{расс}(\vec{r},t)$ находят из (1), (2) в виде

$$\begin{aligned}\vec{E}_{расс}(\vec{r},t) &= \sum_{c=1}^{N}\frac{1}{k_1^3}\left(\sin k_1a - k_1a\cos k_1a\right)\text{x}\\ &\text{x}\left\{\left(\frac{\varepsilon_{сэф}}{\varepsilon_0}-1\right)\widehat{L}_c\vec{E}^0_c(\vec{r}\,') - ik\mu_0\left(\frac{\mu_{сэф}}{\mu_0}-1\right)\text{x}\right.\\ &\left.\text{x}\,\widehat{P}_c\vec{H}^0_c(\vec{r}\,')\right\}e^{i(\omega t - k_1r_c)},\end{aligned} \quad (3)$$

где $\widehat{L}_c$ и $\widehat{P}_c$ – функциональные матрицы вида

$$\hat{L}_c = \begin{bmatrix}\Psi_{xxc} & \Psi_{xyc} & \Psi_{xzc}\\ \Psi_{yxc} & \Psi_{yyc} & \Psi_{yzc}\\ \Psi_{zxc} & \Psi_{zyc} & \Psi_{zzc}\end{bmatrix};\ \hat{P}_c = \begin{bmatrix}0 & \Psi_{zc} & \Psi^0_{yc}\\ \Psi^0_{zc} & 0 & \Psi_{xc}\\ \Psi_{yc} & \Psi^0_{xc} & 0\end{bmatrix}$$

Элемент Ψ матрицы $\widehat{L}_c$ имеет вид

$$\Psi_{xxc} = \frac{1}{r_c}k_1^2 + \frac{3(x-x_{c0})^2 - r_c^2}{r_c^5} - k_1^2\frac{(x-x_{c0})^2}{r_c^3} + +ik_1\frac{3(x-x_{c0})^2 - r_c^2}{r_c^4},$$

здесь (x,y,z) – координаты точки наблюдения, (x_{c0}, y_{c0}, z_{c0}) – координаты центра сферических пузырьков.

Поле в произвольной точке среды, которая находится вне пузырьков, определяется как

$$\vec{E}(\vec{r},t) = \vec{E}_0(\vec{r},t) + \vec{E}_{расс}(\vec{r},t),$$

где $\vec{E}_0(\vec{r},t)$ – невозмущенное поле рассеиваемой волны.

Выражение (3) описывает рассеянное поле, состоящее из распространяющихся и затухаючих пространственных гармоник, внутри и вне решетки в зонах Френеля и Фраунгофера.

Проведено изучение резонансного рассеяния плоской электромагнитной волны резонансной кубической решеткой воздушных пузырьков в диэлектрической среде, результаты которого изображены на рис. 1.

Показано, что исследуемые среды обладают резонансными рассеивающими свойствами.

На рис.1 представлены зависимости модуля поля $\vec{E}_{расс}(\vec{r})$ (3): (a) – от изменения длины λ' рассеиваемой плоской волны; (b,c) – от изменения координат по осям x и y внутри решетки; (d) – от изменения координат по оси z внутри и вне решетки в зонах Френеля и Фраунгофера. Здесь плоская волна распространяется вдоль оси z, ее электрический вектор направлен по оси x, радиус пузырьков – a = 0,15 см, проницаемости среды – ε_0 =49, μ_0 =1; постоянные решетки – $d = h = l =$ 1,428 см, число пузырьков – *N* = 64000. В решетке (рис. 1 b,c,d) возбужден решеточный резонанс 2^{cm} (рис. 1a) на длине волны λ' =10 см.

2010 20th Int. Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology" (CriMiCo'2010). 13-17 September, Sevastopol, Crimea, Ukraine
 ISBN: 978-966-335-329-6. IEEE Catalog Number: CFP10788

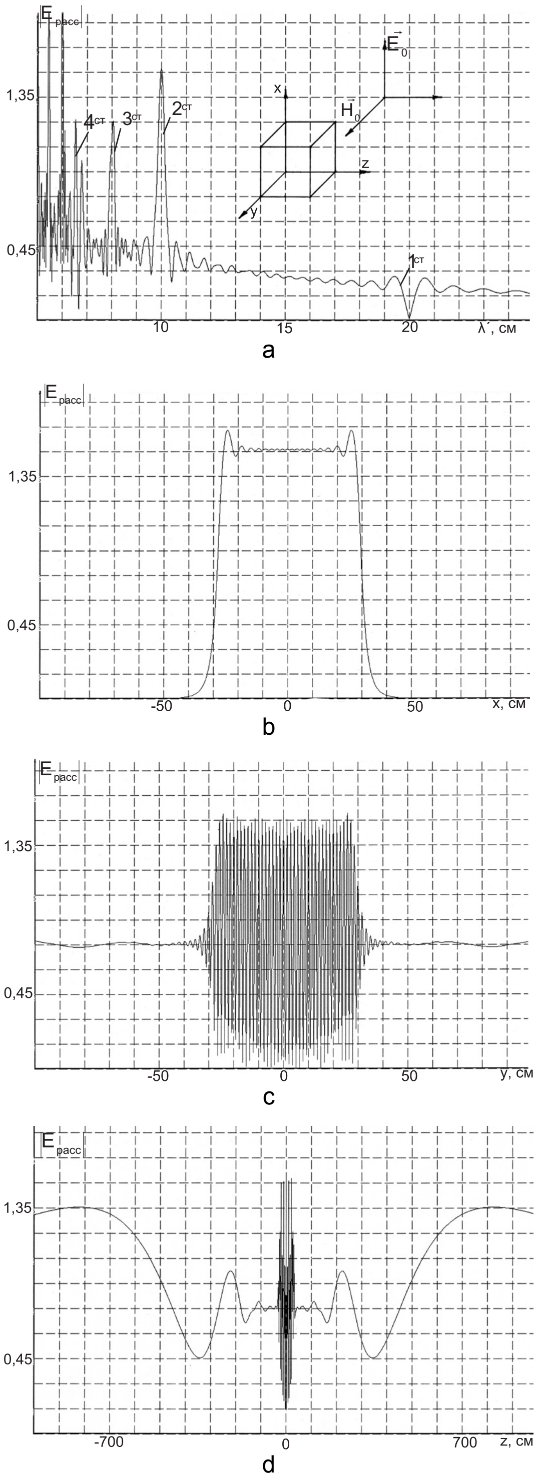

Рис. 1. Рассеянное поле внутри и вне кубической решетки пузырьков воздуха.

Fig. 1. Scattered field inside and outside the air bubble crystal lattice

III. Заключение

Изменяя электродинамические характеристики магнитодиэлектрической среды и сферических пузырьков, можно создавать среды с резонансными свойствами, которые найдут применение в радиоэлектронных устройствах.

Исследование выполнено как плановая работа кафедры физики ХНУРЭ.

IV. Список литературы

[1] *Хижняк Н. А.* Функция Грина уравнений Максвелла для неоднородных сред // Журн. техн. физики. – 1958. – Т. 28, №7. – С. 1592 – 1609.

[2] *Kozar A. I.* Electromagnetic Wave Scattering with Special Spatial Lattices of Magnetodielectric Spheres // Telecommunication and Radio Engineering. – New York, N.Y. (USA): Begell House Inc. – 2004. – Vol. 61, No.9. – P. 734-749.

[3] *Kozar A. I.* Structural Function Development for Electromagnetic Interactions in the System of Multiple Resonant Magnetodielectric Spheres // Telecommunication and Radio Engineering. – New York, N.Y. (USA): Begell House Inc.– 2005. –Vol. 63, No.7. – P. 589-605).

[4] *Kozar A. I.* The action of defects on scattering properties of the resonant magneto-dielectric spherical crystal / A.I. Kozar // Microwave and Telecommunication Technology : IEEE 18th International Crimean Conference, September 8-12, 2008. – Sevastopol, Crimea, Ukraine. 2008. – Vol. 2. – P. 560-561.

RESONANCE CUBIC LATTICE OF SPHERICAL AIR-FILLED BUBBLES LOCATED IN MAGNETODIELECTRIC MEDIUM

Kozar A. I.
Kharkov National University of Radio Electronics
Kharkov, Ukraine
Ph.: 8(057)-7021345, e-mail: fizika@kture.kharkov.ua

Abstract — The solution and analysis of a problem are considered concerning plane wave scattering by a resonance cubic lattice of spherical air-filled bubbles located in magnetodielectric medium.

I. Introduction

Interest to the creation of new kinds of artificial materials has increased for last years. Of special interest are crystalline metamaterials with resonance properties, such as resonance media whose electromagnetic phenomena are rather complicated and demand theoretical investigations.

II. Main Part

On the basis of the second kind Fredholm integral electromagnetic equation, expressions for the scattered field of a cubic lattice of spherical air-filled bubbles located in the magnetodielectric medium with large permittivity and permeability are obtained and studied.

III. Conclusion

The results presented in the paper can find application for developing media with resonance properties.