

ДИФРАКЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ОПТИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА НА НАНОКРИСТАЛЛАХ

Головачева Е.В., Лерер А.М.
Южный федеральный университет, Россия
E-mail: lerer@sfedu.ru

Аннотация — Представлено решение задачи дифракции монохроматической волны и электромагнитных импульсов оптического диапазона на нановибраторах металлических и нанокристаллах, покрытых металлической пленкой. Теоретические результаты подтверждены экспериментом.

1. Введение

Одним из наиболее активно развивающихся направлений современной физической оптики является исследование оптических антенн (ОА) [1]. Одной из возможных конструкций ОА является нанокристалл, покрытый металлической пленкой [2]. В оптическом диапазоне длин волн металл можно представить как плазму твердого тела, образованного свободными электронами с плазменной частотой, лежащей в ультрафиолетовом диапазоне. Все это приводит к изменениям свойств исследуемых устройств по сравнению со структурами с идеальным металлом. Изменяются и электродинамические методы их расчетов, так как при изучении дифракции электромагнитной волны оптического диапазона на металлическом объекте необходимо учитывать поле внутри образца.

2. Основная часть

В работах [2, 3] решена задача дифракции электромагнитных волн на оптических антеннах, образованной нанокристаллами, в том числе расположенных на диэлектрической подложке.

В настоящей работе решены следующие задачи:

1. Задача дифракции электромагнитных волн на ОА, расположенной на многослойной диэлектрической подложке.
2. Задача дифракции электромагнитных импульсов (ЭМИ) на ОА.
3. Приведено сравнение теории с экспериментом.

Решение краевой задачи сведено к решению интегро-дифференциального уравнения (ИДУ) для диэлектрического цилиндра радиусом a и длиной L , расположенный вдоль оси z с центром в начале координат. В случае, когда $a \ll L$ и намного меньше длины волны ИДУ для задачи рассеяния на нановибраторе имеет вид:

$$\frac{j(r, z)}{\tau(r)} = E_0(r, z) + \left[\frac{d^2}{dz^2} + k^2 \varepsilon_1 \right] \int_0^L \int_0^a j(r', z') G(r, r', z, z') r dr' dz'$$

где k — волновое число, $\tau = \varepsilon(r) - 1$, $\varepsilon(r)$ — диэлектрическая проницаемость тела, ε_1 — диэлектрическая проницаемость пространства над подложкой,

$$j(r, z) = \tau(r) E(r, z), \quad \text{а} \quad E_0(r, z) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} E_z^{ext}(x, y, z) d\phi,$$

E_z^{ext} — внешнее поле, $x = r \cos \phi$, $y = r \sin \phi$.

Ядро интегро-дифференциального уравнения содержит функцию Грина (ФГ) в виде

$$G(r, r', z, z') = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^{2\pi} d\phi' g(x, x', y, y', z, z') d\phi'.$$

В случае тока, перпендикулярного подложке, при $z \geq 0$ и $z' \geq 0$ ФГ имеет вид

$$g(x, x', y, y', z, z') = \frac{1}{8\pi^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left[e^{-\gamma_1 |z-z'|} + Q(\rho) e^{-\gamma_1(z+z')} \right] \frac{1}{\gamma_1} e^{i\alpha \bar{x} + i\beta \bar{y}} d\alpha d\beta$$

где $\bar{x} = x - x'$, $\bar{y} = y - y'$, для вибратора, расположенного на полубесконечной подложке $Q = \frac{\gamma_1 - \gamma_2 t}{\gamma_1 + \gamma_2 t}$,

$$t = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}, \quad \gamma_{1,2} = \sqrt{\rho^2 - k^2 \varepsilon_{1,2}}, \quad \rho = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2}, \quad \varepsilon_2 \text{ — диэлектрическая проницаемость подложки, } \varepsilon_1 \text{ — диэлектрическая проницаемость пространства над подложкой.}$$

Для двухслойной подложки $Q = \frac{\hat{Q} - \hat{R}}{\hat{Q} + \hat{R}}$, где

$$\hat{Q} = -\frac{\bar{\gamma}_2 \text{ch}(\gamma_2 h) + \bar{\gamma}_3 \text{ch}(\gamma_2 h)}{\bar{\gamma}_2}, \quad \hat{R} = \frac{\bar{\gamma}_2}{\text{sh}(\gamma_2 h)} \left[1 - \text{ch}(\gamma_2 h) \hat{Q} \right],$$

h — толщина 2-го слоя, третий слой полубесконечный, введено обозначение $\bar{\gamma}_2 = \frac{\gamma_2}{\varepsilon_2}$. Получена также

ФГ для многослойной подложки с потерями для произвольного числа слоев. ИДУ решено методом, сочетающим методы Галеркина и коллокации [2].

3. Заключение

Решена задача дифракции электромагнитных волн на нановибраторе, расположенном на границе раздела многослойных сред в оптическом диапазоне частот, задача дифракции оптического ЭМИ на нановибраторе. Установлено, что зависимость рассеянного поля от частоты носит резонансный характер. Проведено сравнение теоретически рассчитанных результатов с реально измеренными параметрами наноантенн. Расхождение составляет порядка 3 %, что подтверждает достоверность предложенного метода решения.

4. Список литературы

- [1] Bharadwaj P. Optical Antennas / P. Bharadwaj, B. Deutsch, L. Novotny // Advances in Optics and Photonics. — 2009. — №1. — P. 438–483.
- [2] Головачева Е.В. Дифракция электромагнитных волн оптического диапазона на металлическом нановибраторе / Е.В. Головачева, А.М. Лерер, Н.Г. Пархоменко // Вестник МУ. Серия 3. Физика. Астрономия. — 2011. — №1. — С. 6 — 11.
- [3] Головачева Е.В. Дифракция электромагнитных волн оптического диапазона на нановибраторе, расположенном на границе раздела диэлектриков / Е.В. Головачева, А.М. Лерер, П.В. Махно, Г.П. Синявский // Электромагнитные волны и электронные системы. — 2011. — Т.16, №5. — С. 9 — 14.

DIFFRACTION OF ELECTROMAGNETIC WAVES OF THE OPTIC RANGE ON NANOCRYSTALS

Golovacheva E.V., Lehrer A.M.
Southern Federal University, Russia

Abstract — The problem of the diffraction of monochromatic electromagnetic waves as well as electromagnetic impulses on nanodipoles: the metal and dielectric nanocrystal, coated with a metal film, is solved. Obtained theoretical results are confirmed by the experiment.