

## ДИФРАКЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН НА СЛОИСТЫХ КИРАЛЬНЫХ СТРУКТУРАХ

В.И. ДЕМИДЧИК

*Белорусский государственный университет  
ул. Курчатова, 5, г. Минск, 220064, Республика Беларусь  
demidvi@bsu.by*

Предложена методика исследования композитных структур на основе проводящих включений в виде тонких проводников произвольной геометрии. Рассмотрено влияние геометрии включений и материальных параметров, характеризующих диэлектрическую матрицу и включения, на отражающие и преломляющие свойства слоя кирального композита. Показана возможность расширения полосы резонанса композита за счет применения разномасштабных включений одинаковой геометрии.

*Ключевые слова:* композиционные материалы, диэлектрическая матрица, тонкие проводники, проводящие включения.

Композитные материалы, обладающие, в том числе и киральными свойствами находят все большее применение в различных областях, к примеру, в частотных и поляризационных СВЧ-фильтрах, преобразователях поляризации, в антенной и радарной технике. В большинстве работ получены результаты, демонстрирующие несомненную пользу от применения таких материалов, однако, анализ проводится, как правило, для произвольных электродинамических параметров композита, таких как диэлектрическая и магнитная проницаемости, параметр киральности. Композиты же, содержащие киральные включения (маловитковые спирали, омега-частицы, комбинации витка спирали с присоединенными прямолинейными проводниками и др.) обладают резонансными свойствами в частотном диапазоне. В связи с этим важно проектируя те или иные устройства на основе киральных композитов достоверно оценивать их электродинамические параметры.

В работе используется самосогласованный подход к анализу композитных материалов и устройств на их основе, который базируется на изучении взаимодействия электромагнитного поля с отдельными включениями без ограничений на их геометрию, с учетом возможной диэлектрической оболочки включений либо импедансных свойств проводника, из которого они выполнены.

В основу расчета электродинамических характеристик проводящих включений положен метод интегральных уравнений (ИУ) в тонкопроволочном приближении. Для расчета токораспределения на отдельном идеально проводящем включении с учетом возможной магнитодиэлектрической оболочки предлагается использовать модифицированное ИУ Поклингтона [1].

По известному токораспределению рассчитываются значения дипольных электрического  $\vec{p}$  и магнитного  $\vec{m}$  моментов проволочного элемента. Информация о дипольных моментах включений дает возможность рассчитать их коэффициенты поляризуемости (КП):

$$\begin{bmatrix} \vec{p} \\ \vec{m} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{ee} & a_{eh} \\ a_{he} & a_{hh} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{E}_0 \\ \vec{H}_0 \end{bmatrix},$$

где  $\vec{E}_0, \vec{H}_0$  – амплитуды напряжённостей падающего электромагнитного поля,  $a_{ee}, a_{eh}, a_{he}, a_{hh}$  – КП частиц.

В предположении, что композитная среда описывается материальными уравнениями вида:

$$\vec{D} = \epsilon_e \vec{E} - i\kappa_e \sqrt{\epsilon_0 \mu_0} \vec{H}, \vec{B} = \mu_e \vec{H} + i\kappa_e \sqrt{\epsilon_0 \mu_0} \vec{E},$$

методом Максвелла-Гарнетта по известным КП одиночного рассеивателя определяются эффективные электродинамические параметры: диэлектрическая  $\epsilon_e$  и магнитная  $\mu_e$  проницаемости и параметр киральности  $\kappa_e$  композита [2-3].

Затем, считая, что в пределах кирального слоя распространяются волны правой и левой круговой поляризации [4-5] проводилось изучение взаимодействия волн Е- и Н-поляризации с плоским слоем композита.

По предложенной методике проведено исследование свойств композиционных материалов в зависимости от различных параметров, характеризующих включения и матрицу. Оценено влияние вида частиц, материальных параметров их оболочки, концентрации частиц, материальных параметров матрицы на эффективные диэлектрическую и магнитную проницаемости и параметр киральности в частотном диапазоне, соответствующем наиболее ярко выраженному первому резонансу, когда длина проводника частицы приблизительно равна половине длины волны электромагнитного поля.

Установлено, что характеристики искусственного композита существенно зависят от свойств наполняющих его частиц. Это позволяет, варьируя геометрические размеры отдельных частиц, их проводимость и концентрацию изменять в широких пределах эффективные электродинамические параметры материала. Установлено, при каких соотношениях продольных и поперечных размеров одиночной частицы можно добиться значительного увеличения параметра киральности композита. Рассмотрены включения, наиболее широко применяемые для проектирования подобных материалов, и дана оценка эффективности использования тех или иных включений в рамках предложенной численной методики.

Проанализировано взаимодействие электромагнитных волн с плоским слоем композита, расположенного между слоев изотропного диэлектрика и на металлической подложке. Исследованы частотные зависимости коэффициентов отражения и прохождения основной и кросс-поляризованной волн для слоев композитов, содержащих резистивные включения, обладающие киральными свойствами. Исследована возможность уменьшения коэффициента отражения и расширения полосы частот с минимальным значением коэффициента отражения путем варьирования геометрии волокон, их концентрации, применением диэлектрической оболочки, использованием разномасштабных составных частиц одинаковой геометрии.

Полученные результаты могут служить основой для построения многослойных плоских поглотителей электромагнитных волн и оптимизации их параметров.

#### Список литературы

1. Демидчик В.И. // Вестн. Белорус. Ун-та. Сер. 1. 2000. № 3. С. 29–31.
2. Шатров А.Д. // Радиотехника и электроника. 2000. Т.45. Вып. 10. С. 1168–1170.
3. Демидчик В.И., Корнев Р.В., Кухарчик П.Д. // Доклады НАН Беларуси. 2005. Т.49. №2. С. 38 – 41.
4. Неганов В.А. Осипов О.В. // Изв. ВУЗов. Радиофизика. 1999. Т. 42. № 9. С. 870–878.
5. Иванов О.В., Семенов Д.И. // Кристаллография. 2000. Т. 45. № 3. С. 534–540.