

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ОБЛАСТИ 25-60 ГГц С МАССИВАМИ ОРИЕНТИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

А. АТДАЕВ, А.Л. ДАНИЛЮК, С.Л. ПРИЩЕПА

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь
kafzi@bsuir.by*

Приводятся результаты моделирования поглощающих свойств экранов электромагнитного излучения на основе массивов углеродных нанотрубок с распределенными ферромагнитными наночастицами.

Ключевые слова: углеродная нанотрубка, нанокompозит, СВЧ излучение, магнитная проницаемость.

Среди большого многообразия нанокompозитных материалов, используемых в качестве экранов электромагнитного излучения, углеродосодержащие материалы привлекают в последнее время большой интерес. В первую очередь интерес вызван оригинальными свойствами углеродной матрицы и каталитических ферромагнитных наночастиц, распределенных по объему массива углеродных нанотрубок. В данной работе проводится моделирование поглощающих свойств нанокompозита на основе массивов углеродных нанотрубок с распределенными наночастицами железа и цементита.

Приведены результаты моделирования коэффициентов отражения и поглощения электромагнитного излучения (ЭМИ) сверхвысокочастотного диапазона 25-60 ГГц массивами вертикально ориентированных углеродных нанотрубок (УНТ), содержащими ферромагнитные наночастицы железа и цементита.

Определение коэффициентов отражения и поглощения ЭМИ массивом УНТ проведено с помощью модели, учитывающей как магнитных свойств наночастиц, так и проводящих, структурных и магнитных свойств углеродной среды (включая намагниченность углеродной подсистемы), а также наличие переходной оболочки между наночастицами и УНТ, которая характеризуется соответствующим импедансом [1]. Рассчитаны коэффициенты отражения и поглощения, проведено сравнение с соответствующими экспериментальными данным для диапазона 25-40 ГГц.

Получены частотные зависимости коэффициентов отражения и поглощения ЭМИ массивами УНТ, установлена их взаимосвязь с электропроводящими и магнитными свойствами массива УНТ и магнитных наночастиц.

Показано, что значение коэффициента отражения в диапазоне 25-40 ГГц составляет порядка -10 дБ, а значение коэффициента прохождения – порядка -40 дБ, которые слабо уменьшаются с ростом частоты. В диапазоне 40-60 ГГц расчетные значения характеризуются нелинейными зависимостями от частоты, что связано с существованием ферромагнитного резонанса наночастиц в этой области.

Проведено моделирование зависимостей магнитной проницаемости массива углеродных нанотрубок в частотной области 25-60 ГГц.

Приведены результаты моделирования комплексной магнитной проницаемости массива вертикально ориентированных углеродных нанотрубок (УНТ), содержащих ферромагнитные наночастицы железа и цементита в частотном диапазоне 8-40 ГГц.

Определение комплексной магнитной проницаемости проведено с помощью модели для разупорядоченного наноструктурированного композита, которая учитывает магнитную и диэлектрическую проницаемости ферромагнитных наночастиц, магнитную и диэлектрическую проницаемости углеродной матрицы, объемную долю наночастиц, их размер, импеданс резистивной оболочки, окружающей наночастицы, а также резонансную частоту ферромагнитного резонанса (ФМР) системы ферромагнитных наночастиц, удельную проводимость массива УНТ.

Расчеты проведены для следующих параметров нанокompозита: размер наночастиц 30-50 нм, относительная магнитная проницаемость матрицы $(4\pm 2)+i(0.5\pm 0.2)$, относительная магнитная проницаемость наночастиц $7\pm 3+i(0.5\pm 0.2)$, объемная концентрация наночастиц 5-10%, частота ФМР – 42 ГГц, удельная проводимость массива $100-120 (\text{Ом м})^{-1}$.

Показано, что магнитная проницаемость массива УНТ в диапазоне 25-40 ГГц частотные зависимости реальной и мнимой частей магнитной проницаемости нанокompозита являются немонотонными. Полученные результаты говорят о наличии магнетизма углеродной подсистемы, который вероятно носит индуцированный характер.

В диапазоне 40-60 ГГц частотные зависимости реальной и мнимой частей магнитной проницаемости носят резонансный характер.

Проведено моделирование зависимостей диэлектрической проницаемости массива углеродных нанотрубок в частотной области 25-60 ГГц. Установлено, что в области 25-40 ГГц реальная часть диэлектрической проницаемости практически не меняется, а комплексная спадает с ростом частоты. В области 40-60 ГГц с ростом частоты уменьшается также и реальная часть диэлектрической проницаемости нанокompозита.

Список литературы

1. *Labunov V.A., Danilyuk A.L., Prudnikava A.L. et al* Microwave Absorption in Nanocomposite Material of Magnetically Functionalized Carbon Nanotubes / *Journal of Applied Physics*, Vol. 112, No.2, P.024302(1-9), 2012.