

# ИСКУССТВЕННЫЙ ДИЭЛЕКТРИК, ОБРАЗОВАННЫЙ СФЕРИЧЕСКИМИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ РАССЕИВАТЕЛЯМИ

*Г.А. Брызгалов*

*ННЦ «Харьковский физико-технический институт»*

*61108, Харьков, ул. Академическая, 1, Украина;*

*E-mail: bryzgalov@kharkov.ua*

Экспериментально исследован искусственный диэлектрик с объёмной пространственной решёткой, образованный из двух слоёв сферических диэлектрических рассеивателей. Приведена амплитудно-частотная характеристика дипольных мод магнитного и электрического типа, возбуждаемых в одиночной сфере и проходящих через решётку. Показано, что спектр прохождения электромагнитных волн через искусственный диэлектрик носит дискретный характер.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Интерес к распространению электромагнитных волн в искусственно анизотропных диэлектриках, образованных правильными пространственными решётками, в узлах которых расположены сферические диэлектрические рассеиватели, вызван, прежде всего, изучением взаимодействия с живыми тканями, кристаллами, а также возможностью создания новых искусственных сред с положительными и отрицательными значениями магнитной и диэлектрической проницаемостей. Качественно новые свойства такая среда приобретает, когда используются диэлектрические рассеиватели (в частности сферы) из материалов с высоким значением диэлектрической проницаемости, а расстояние между ними в решётке много меньше длины волны [1,2]. Ранее исследовались структуры, образованные рассеивателями одного размера. Было показано, что такая структура обладает полосовыми свойствами. Причём в пределах полос пропускания имеются участки с положительными и отрицательными значениями эффективных диэлектрической и магнитной проницаемостей [3,4]. Однако, остаются неизученными свойства решёток из диэлектрических рассеивателей, отличающихся геометрическими, размерами, и, соответственно, резонансными частотами.

## 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В данной работе исследуется возбуждение электромагнитного поля в искусственном диэлектрике, образованном сферическими диэлектрическими рассеивателями, закреплёнными в матрице из пенопласта. Описывается амплитудно-частотная характеристика прохождения волн через объёмную решётку, состоящую из двух слоёв. Слои отличаются размером образующих их диэлектрических сфер, диаметр которых 10 и 20 мм, соответственно. Расстояние между сферами в слое и между слоями 10 мм. Слой из сфер &20 мм представляет собой кубическую структуру из 4x4x4 элемента. Слой их сфер &10 мм

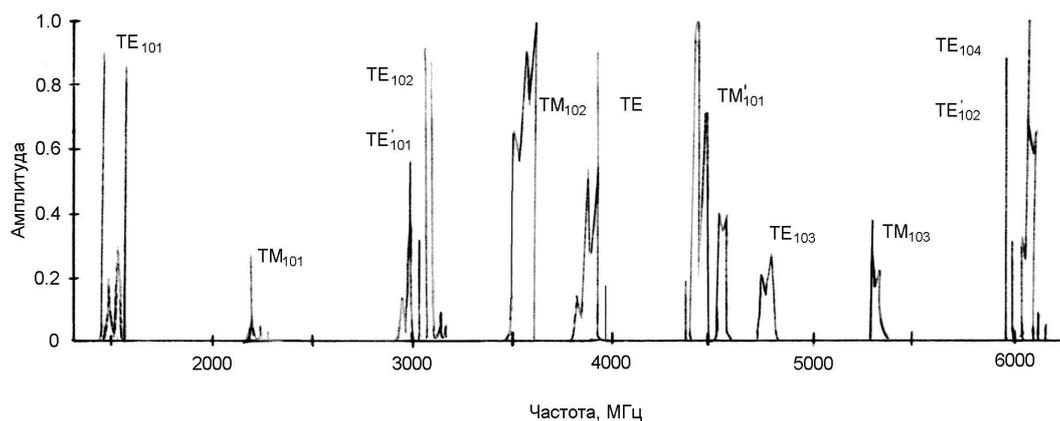
образует структуру из 6x6x6 элементов. Сферы изготовлены из керамики на основе двуокиси титана, с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon \approx 80$ ,  $\text{tg} \delta \approx 1 \cdot 10^{-3}$ . Отклонение от сферичности  $\approx 1 \dots 2$  мкм. Резонансная частота сфер &10 мм равна 3075 МГц, с разбросом по величине не более  $\pm 2,5$  МГц. Резонансная частота сфер &20 мм равна  $1537 \pm 5$  МГц. Резонансная частота определялась по максимальному значению коэффициента отражения волны  $H_{10}$  от сферы, размещённой в центре поперечного сечения волновода 34x72 мм, и соответствующая структуре электромагнитных колебаний  $TE_{101}$  в диэлектрической сфере.

В качестве источника поля в объёмной решётке используется одна из диэлектрических сфер &20 мм, находящаяся на поверхности структуры и возбуждаемая зондом от СВЧ-генератора. Ориентация зонда относительно сферы обеспечивает возбуждение дипольной моды магнитного или электрического типа. Идентификация мод, возбуждаемых в структуре, осуществляется по распределению электрической компоненты поля, измеряемого методом малых возмущений [5].

Съём сигнала производится зондом от сферы &10 мм, находящейся на поверхности структуры с противоположной стороны. Зонд ориентирован по электрической компоненте дипольной моды. Выходной сигнал усиливается, детектируется и регистрируется его амплитуда.

## 3. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В процессе исследований были получены амплитудно-частотная характеристика коэффициента передачи через двухслойный искусственный диэлектрик, характеризующая резонансные свойства дипольных мод колебаний в элементах пространственной решётки, и результат их взаимодействия между собой. Амплитудно-частотная характеристика приведена на рисунке. Здесь моды колебаний в диэлектрических сферах диаметром 10 мм обозначены штрихами.



Амплитудно-частотная характеристика прохождения электромагнитных волн через двухслойный диэлектрик. Первый слой из сфер диаметром 20 мм. Второй слой из сфер диаметром 10 мм. Диэлектрическая проницаемость материала сфер  $\epsilon \approx 80$ . Моды колебаний решётки из сфер диаметром 10 мм обозначены штрихами

Магнитный резонанс  $TE_{101}$  и электрический резонанс  $TM_{101}$  решётки из сфер диаметром 20 мм по частоте близки к значениям резонансной частоты одиночной сферы в свободном пространстве – 1537 и 2192 МГц, соответственно. Значения частот полос пропускания решётки только из сфер &20 мм соответствуют частотам, возбуждаемым в решётке двухслойного диэлектрика.

Эти моды регистрируются за счёт нерезонансного прохождения электромагнитных волн через решётку из сфер &10 мм. Резонансы имеют характерное распределение в полосе пропускания, как описано в работе [4]. Следует отметить уменьшение амплитуды резонанса  $TM_{101}$  по сравнению с резонансом  $TE_{101}$ , что объясняется прохождением через низкочастотную область первого магнитного резонанса решётки из сфер &10 мм. При этом поля электрической моды  $TM_{101}$  и магнитной  $TE'_{101}$  взаимно перпендикулярны и связь между ними слабая, в то время как для моды  $TE_{101}$  и  $TE'_{101}$  направления полей совпадают и связь между ними сильнее. Полоса пропускания в области частоты 3000 МГц представляет собой результат взаимодействия мод  $TE'_{101}$  и  $TE_{102}$  в области их резонансов там, где проявляется их тонкая структура [3,4]. Поэтому имеем множество резонансных пиков большой амплитуды и в широкой полосе. Эта полоса пропускания представляет наибольший интерес, так как является следствием кратности геометрических размеров сфер, образующих диэлектрик. Следует отметить, что при случайном размещении сфер кратных размеров в узлах решётки диэлектрика структура внешних полей сфер останется неизменной. Связь между полями сфер изменится незначительно и частотная полоса останется в той же области. Неизменными останутся полосовые свойства решётки, если внутри объёма из сфер одного диаметра будет размещена цепочка из сфер другого диаметра. При этом произойдёт только перераспределение амплитуд в пределах полосы пропускания.

Как известно [6,7], амплитуда рассеянного поля в полосе частот между первым магнитным  $TE'_{101}$  и первым электрическим  $TM'_{101}$  резонансами превышает амплитуду рассеянного поля на участке частот между  $TM'_{101}$  и вторым магнитным резонансом  $TE'_{102}$ . Следствием этого является большая амплитуда резонанса  $TM_{102}$  по сравнению с амплитудой мод  $TE_{103}$  и  $TM_{103}$ .

В полосе частот 5900...6200 МГц, как и в полосе 2950...3125 МГц, наблюдаем взаимодействие двух кратных мод  $TE'_{102}$  и  $TE_{104}$ . Здесь также имеет место расщепление полосы пропускания на множество обособленных резонансов как результат взаимодействия тонкой структуры.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, показано дискретное прохождение электромагнитных волн для дипольных мод магнитного и электрического типов через двухслойный искусственный диэлектрик, слои которого отличаются удвоением диаметра сферических рассеивателей. Полосы частот резонансов  $TE_{102}$  и  $TE'_{101}$ , как и  $TE_{104}$  и  $TE'_{102}$ , совпадают и обеспечивают наиболее эффективное прохождение волн через структуру.

Данный эффект может быть использован при создании искусственных диэлектриков, в объёме которых цепочки из сфер одного размера образуют каналы с резонансным прохождением электромагнитных волн.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Н.А. Хижняк. Искусственные анизотропные диэлектрики // *ЖТФ*. 1957, т.27, №9, с.2006-2038.
2. Н.А. Хижняк. *Интегральные уравнения макроскопической электродинамики*. Киев: «Наукова думка», 1986, с.280.
3. Г.А. Брызгалов, Н.А. Хижняк. Искусственные диэлектрики, образованные решётками резонансных рассеивающих тел // *Тезисы XVII*

- Международного семинара по ускорителям заряженных частиц. 1-6 сентября 2003, Алушта, с.71-72.*
4. Г.А. Брызгалов. Исследование свойств резонансных диэлектрических сфер и образованных ими пространственных решёток // *Тезисы XVII Международного семинара по ускорителям заряженных частиц. 1-6 сентября 2003, Алушта, с.73-74.*
  5. Дж. Слэтер. Электроника сверхвысоких частот // *Сов. Радио. 1948, с.250.*
  6. Г.А. Брызгалов, Н.А. Хижняк. Тонкая структура резонанса электромагнитных волн в диэлектрической сфере // *Радиофизика и электроника. 2002, т.7, спец. вып., с.178-182.*
  7. Г.А. Брызгалов, Л.И. Николайчук, Н.А. Хижняк. Тонкая структура резонанса элементов волноводно-диэлектрической ускоряющей системы // *Вопросы атомной науки и техники. Серия: «Ядерно-физические исследования». 2001, №5, (39), с.150-153.*

#### **AN ARTIFICIAL DIELECTRIC FORMED BY SPHERICAL DIELECTIC SCATTERERS DIFFERED BY TWO TIMES IN DIAMETERS**

*G.A. Bryzgalov*

An artificial dielectric formed by a volume space lattice from two layers of spherical dielectric scatterers differed by two times in diameters has been studied experimentally. The amplitude frequency property has been given for magnetic and electrical dipole modes excited in a single sphere and passing through the lattice. It was shown that electromagnetic wave passing through the lattice has the discrete character.

#### **ШТУЧНИЙ ДІЕЛЕКТРИК, УТВОРЕНИЙ СФЕРИЧНИМИ ДІЕЛЕКТРИЧНИМИ РОЗСПІВЧАЧАМИ**

*Г.О. Брызгалов*

Експериментально досліджений штучний діелектрик з об'ємними просторовими ґратками, утворений двома шарами сферичних діелектричних розсіювачів. Приведено амплітудно-частотну характеристику для дипольних мод магнітного й електричного типу, що збуджуються в одиночній сфері і проходять через ґратки. Показано, що спектр проходження електромагнітних хвиль через ґратки має дискретний характер.