

возможности сульфат-ионов [5]. Причём, очевидно, что при выращивании кристаллов в сегнетоэлектрической фазе, когда процесс образования кристаллической структуры происходит в поле спонтанной поляризации, деформационное влияние ионов  $[\text{PO}_4]^{3-}$  на группы сульфат-ионов определяется ориентирующим действием этого поля. Иными словами, причиной возникновения статической униполярности кристаллов TGSP, а также LVTGSP при выращивании их в сегнетофазе, является деформационное воздействие на сульфат-ионы групп  $\text{PO}_4$ . Уменьшение статической униполярности LVTGSP по сравнению с TGSP, очевидно, происходит из-за конкурирующего действия L-валина. Можно предположить, что в кристаллах, выращенных в сегнетоэлектрической фазе, молекула L-валина ориентирует группу  $\text{NH}_2$  молекулы глицина-1 таким образом, что суммарный дипольный момент этих групп направлен противоположно внутреннему полюсу сульфат-ионов. Отсутствие униполярности кристаллов LVTGS, выращенных в параэлектрической фазе, связано, очевидно, с тем, что деформационное влияние ионов  $[\text{PO}_4]^{3-}$  на группы сульфат-ионов не имеет преобладающего направления, так как процесс замещения происходит в отсутствие ориентирующего поля спонтанной поляризации. В то же время температура выращивания на ориентацию молекул L-валина существенного влияния не оказывает.

Литература.

1. Цедрик М.С. Физические свойства кристаллов семейства триглицинсульфата в зависимости от условий выращивания. — Мн.: Наука и техника, 1986. - 216 с.
2. Мерц В. Образование домена и движение доменной стенки в сегнетоэлектрическом монокристалле // Физика диэлектриков - М.: Изд.АН СССР, 1960. - С. 286-289.
3. Цедрик М.С., Заборовский Г.А., Янчук В.И. Импульсная переполаризация высоколегированных кристаллов LATGS // Сегнетоэлектрики и пьезоэлектрики / Калининский ун-т., Калинин, 1989 С. 21-27
4. Grannier W. Etude cristallographique et structurale des composés oxyfluorés du  $\text{P}^{\text{V}}$  tétraédrique // Toulouse. 1975 -262 p.
5. Берсукер И.Б., Вехтер Б.Г. и др. Происхождение спонтанной поляризации и сегнетоэлектрического фазового перехода в ТГС // Физ. Твёрдого тела.- 1969.- Т.11, вып. 9 - С. 2452-2458.

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С УПРАВЛЯЕМЫМИ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

*Р.В. Корнев*

*Научный руководитель – В.И. Демидчик  
Белорусский государственный университет*

В последнее время значительное внимание исследователей уделяется созданию различного рода искусственных композиционных материалов, обладающих гиротропными и анизотропными свойствами в микроволновом диапазоне. В общем случае, подобные материалы представляют собой диэлектрические матрицы, в которые диспергированы частицы произвольные по геометрии и внутренней структуре. Основной задачей при этом является определение макроскопических параметров искусственной среды по размерам отдельных включений и характеру расположения частиц в диэлектрике.

Особый интерес для создания сред с управляемыми свойствами представляют композиты на основе проводящих волокон различной конфигурации. В данной работе предложен метод анализа характеристик рассеяния одиночных волокон, который может быть использован для последующей реконструкции материальных параметров композиционного материала. Анализ осуществляется на численном решении интегрального уравнения Поклингтона для распределения тока в тонком проводнике методом коллокаций с применением кусочно-постоянных базисных функций [1]. По известному току находятся характеристики рассеянных частицей полей.

Рассматривались проволочные структуры, часто используемые для синтеза композиционных материалов: спиральные частицы с присоединенными проводниками, омега-частицы и маловитковые спирали (рис.1) Оценка электродинамических свойств проводилась по результатам анализа эффективного поперечника рассеяния  $\sigma$  (ЭПР).

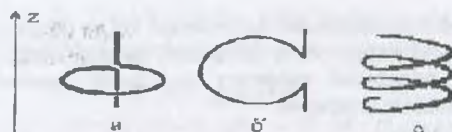


Рисунок 1.

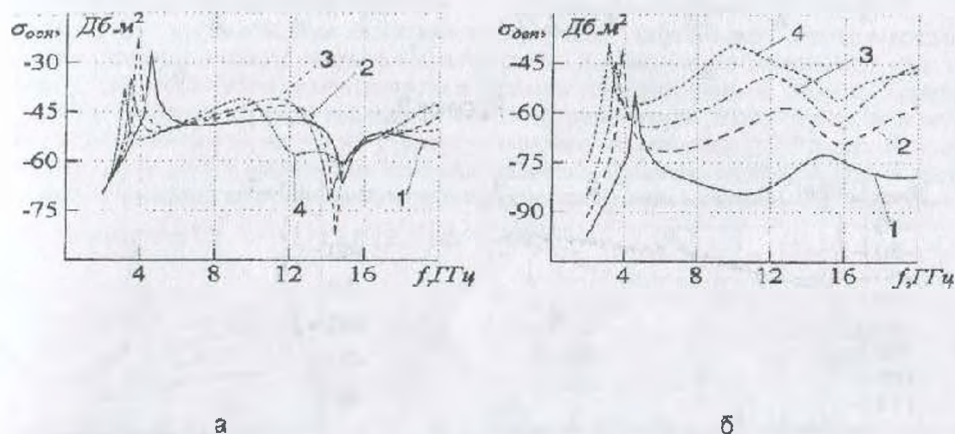


Рисунок 2.

На рис.2 показаны частотные зависимости основной (рис.2а) и деполаризованной (рис.2б) компонент ЭПР для обратного направления рассеяния при различных длинах  $l$  вибраторных плеч частицы, изображенной на рис.1а ( $l$ : 1 – 0, 2 – 2мм; 3 – 4мм; 4 – 8мм). Направление падения волны и ее поляризация выбраны так, чтобы вектор напряженности магнитного поля был параллелен оси  $Z$ . В этом случае обеспечивается наиболее эффективное взаимодействие электромагнитного поля и частицы. Радиус спирали  $a=5$ мм, диаметр проволоки  $2r_0=0.2$ мм. Виток спирали функционирует как приемник, обеспечивающий возбуждение частицы, а вибраторные плечи частицы служат источником поля параллельного оси  $Z$ . На рис.2а видно, что при увеличении длины вибраторных плеч, ЭПР основной компоненты поля изменяется незначительно. Это связано с тем, что вибраторные плечи перпендикулярны основной компоненте поля и не вносят вклад в его формирование. В то же время значение деполаризованной компоненты поля (рис.2б) заметно возрастает при увеличении длины вибраторов.

Подобные зависимости получены и для различных радиусов спирали. В этом случае ЭПР основной компоненты поля хотя и изменяется при варьировании радиуса спирали  $a$ , но эти изменения значительны только при  $2a < \lambda$ . При этом значение радиуса спирали практически не влияет на ЭПР деполаризованной компоненты. В работе [2] проведено исследование взаимодействия пары подобных частиц.

В случае омега-частицы (рис.1б) падающее поле выбиралось так, чтобы вектор напряженности падающего электрического поля был параллелен вибраторам, а вектор напряженности магнитного поля был перпендикулярен плоскости контура частицы. На рис.3 показаны зависимости обратного ЭПР от частоты при различной длине вибраторов  $l$  (рис.3а.  $a=5$ мм; длина вибраторов  $l$ : 1 – 0, 2 – 2мм; 3 – 4мм; 3 – 8мм) и радиуса контура  $a$  омега-частицы (рис.3б.  $l=5$ мм; радиус контура  $a$ : 1 – 0; 2 – 1мм; 3 – 2мм; 3 – 5мм). Как видно, изменение геометрии проволочного элемента не приводит к значительным изменениям мощности рассеянного излучения. Проведенные результаты расчетов показывают также, что зависимость  $\sigma$  от частоты носит колебательный

характер, что обусловлено резонансными явлениями, когда общая длина проводника рассеивателя приблизительно кратна целому числу полуволн. Эмпирические данные и данные других авторов [3] подтверждают подобный характер частотной зависимости ЭПР для киральных элементов в виде маловитковых спиралей.

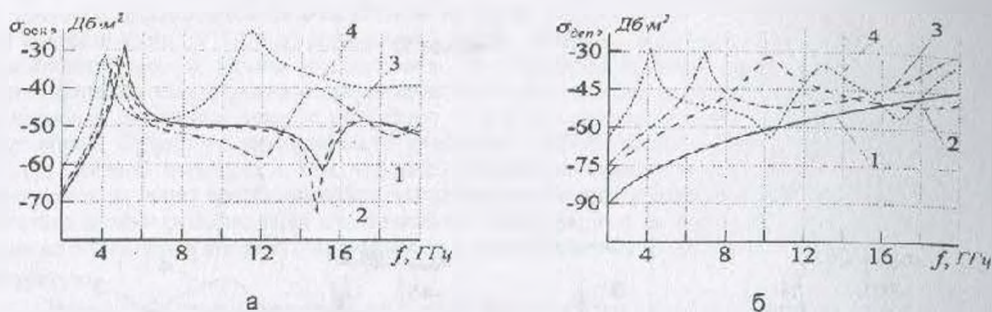


Рисунок 3.

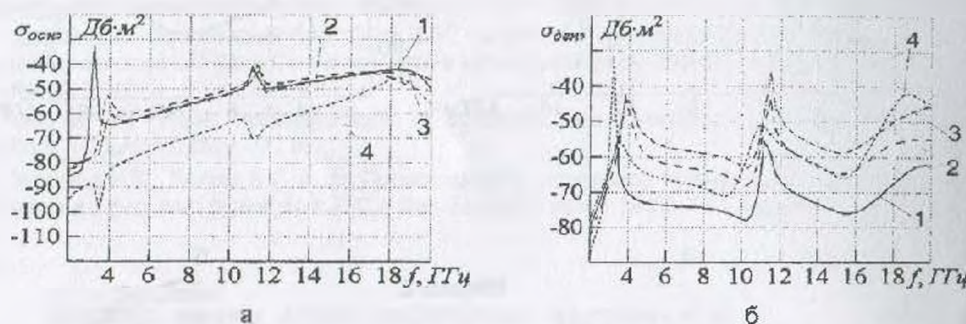


Рисунок 4.

При анализе маловитковых спиралей (рис.1с) направление падения волны выбрано таким образом, чтобы вектор магнитного поля был параллелен оси Z. На рис.4 приведены частотные зависимости обратного ЭПР от угла намотки  $\alpha$  спиральной частицы, имеющей 3 витка ( $\alpha$ : 1 –  $5^\circ$ ; 2 –  $15^\circ$ ; 3 –  $30^\circ$ ; 4 –  $60^\circ$ ). Общая длина спирали при этом  $l_{sp}$  оставалась постоянной и равной  $l_{sp}=40$ мм. Результаты расчёта показали, что вариация угла эффективна до определённого значения (до  $30^\circ$ ) и существенно влияет лишь на деполаризованную компоненту рассеянного поля. При этом общий характер зависимости не зависит от количества витков, а определяется только длиной спирали.

В работе [4] приведена методика расчета эффективных материальных параметров композитов по известным рассеивающим характеристикам одиночной частицы и информации о структуре в целом. На основе данного метода разрабатывается способ расчета макроскопических параметров композиционных материалов, адаптированный применительно к частицам, рассмотренным выше.

#### Литература.

1. Демидчик В. И., Рунов А. В., Калашников Н. В. // Изв. ВУЗов. Радиоэлектроника, 1983. т. 26 №3. с.82.
2. В.И. Демидчик, П.Д. Кухарчик, Р.В. Корнев // Изв. ГГУ, 2001, №5(8), с.63-66.
3. Marriotte F., Tretjakov S. A. // IEEE Antennas and Prop. Mag. 1996, vol.38. №2. p.22.
4. Хижняк Н. А. Интегральные уравнения макроскопической электродинамики. Киев, 1986, с.168-174.