

05

Исследование амплитудно-частотной характеристики коэффициента пропускания двумерного электромагнитного кристалла, образованного медными цилиндрами

© *И.В. Бычков, И.С. Зотов, А.А. Федий*

Челябинский государственный университет
E-mail: bychkov@csu.ru.

Поступило в Редакцию 4 июля 2011 г.

Представлены результаты экспериментальных исследований амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) коэффициента пропускания СВЧ-излучения композитным материалом, в котором сформирована двумерная структура из регулярно расположенных проводящих цилиндров, представляющая собой электромагнитный кристалл.

Электромагнитный кристалл — это нелинейные искусственно созданные среды из регулярно расположенных структур с резко изменяющейся диэлектрической проницаемостью и периодом, сравнимым с длиной падающей электромагнитной волны [1]. Главным свойством, отличающим электромагнитный кристалл от дифракционной решетки, является наличие у него абсолютной запрещенной зоны. Существование такой зоны означает, что электромагнитное излучение определенной длины не может распространяться в данной структуре ни в одном из направлений [2].

Данные уникальные свойства электромагнитных кристаллов вызывают значительный научный интерес и открывают широкие возможности создания устройств на их основе, таких как полосовые фильтры, резонаторы, переключатели, разветвители, широкополосные экраны и поглотители [3].

В данной работе исследовался коэффициент пропускания электромагнитного излучения композитными материалами, изготовленными из диэлектрической матрицы $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, в которой сформирована регулярная проводящая структура из медных цилиндров (рис. 1).

Необходимо отметить, что здесь рассматривается двумерная периодическая структура, строго говоря, не являющаяся электромагнитным кристаллом. Однако при распространении электромагнитных волн вдоль направлений, перпендикулярных осям проводящих цилиндров, такую структуру можно считать электромагнитным кристаллом [1]. Период решетки кристалла (a) варьировался от 2 до 12 мм с шагом 0.5 мм, диаметр цилиндров равен 0.7 мм. Размер всех исследуемых образцов составлял $12 \times 150 \times 60$ мм. Измерения коэффициента пропускания электромагнитного излучения проводились в диапазоне 8–12 GHz, с использованием автоматизированного измерителя P2-61 и углового спектрометра, прототип которого описан в статье [4].

Проводились две серии измерений. В первой серии измерений исследовалась зависимость АЧХ коэффициента пропускания от периода решетки электромагнитного кристалла. Результаты измерений показали, что образцы с периодом решетки $a = 2\text{--}6$ мм практически не пропускают электромагнитное излучение данного диапазона длин волн. Коэффициент пропускания образцов был менее -40 dB и практически не выделялся на фоне шумов измерителя P2-61. В образце с периодом решетки 7 мм появляется окно прозрачности (рис. 2, кривая 7 мм). С увеличением периода решетки наблюдается сдвиг окна прозрачности в область более низких частот (рис. 2, кривая, соответствующая $a = 8$ мм). В образце с периодом решетки 10 мм проявилась четко выраженная зонная структура АЧХ коэффициента пропускания электромагнитного кристалла (рис. 2, кривая, соответствующая $a = 10$ мм).

На графике хорошо видно окно прозрачности (8.8–9.6 GHz) и запрещенные зоны (8–8.8 и 9.6–12 GHz). При дальнейшем увеличении периода решетки наблюдается смещение окна прозрачности и запрещенных зон в область более низких частот.

Во второй серии измерений исследовалась зависимость АЧХ коэффициента пропускания от числа рядов регулярно расположенных проводящих цилиндров (рис. 1, b). Ряды располагались перпендикулярно падающему электромагнитному излучению. Количество рядов

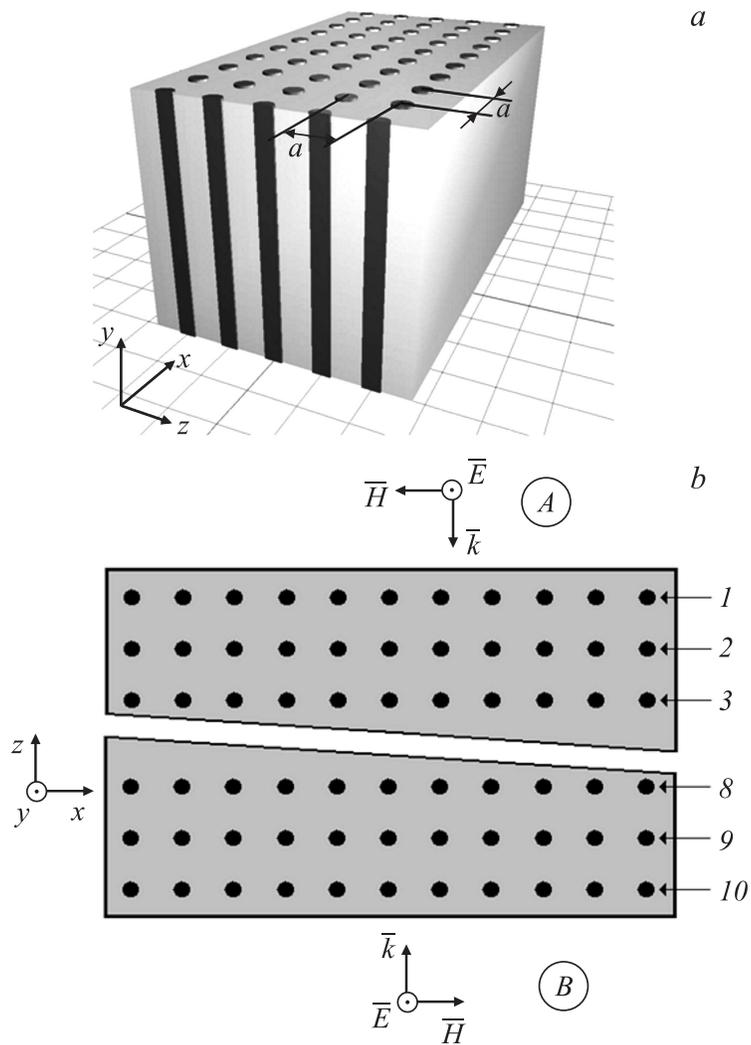


Рис. 1. *a* — электромагнитный кристалл из медных проводящих цилиндров.
b — направления распространения электромагнитного излучения.

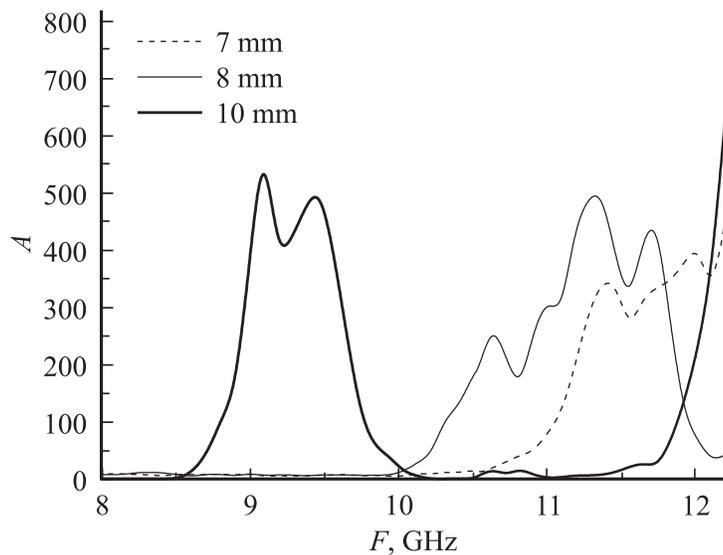


Рис. 2. АЧХ коэффициента пропускания электромагнитного кристалла с различным шагом решетки a .

варьировалось от 1 до 10. Измерения коэффициента пропускания проводились в двух направлениях распространения электромагнитной волны A и B (рис. 1, b). Исследования проводились на образцах с периодом решетки от 7 до 12 mm. Измерения показали, что на образцах с периодом решетки 10 mm, при небольшом количестве рядов (от 1 до 4) происходит постепенное формирование зонной структуры в данном частотном диапазоне (рис. 3, кривые 1–3). При количестве рядов, равном 5, наблюдается четкая картина зонной структуры АЧХ коэффициента пропускания электромагнитного кристалла (рис. 3. кривая 5). При дальнейшем увеличении количества рядов происходит уменьшение интенсивности АЧХ коэффициента пропускания, каких либо частотных сдвигов при этом не наблюдается. На образцах с другим шагом решетки проявились те же закономерности в зависимости зонной структуры АЧХ от количества рядов регулярно расположенных проводящих стержней.

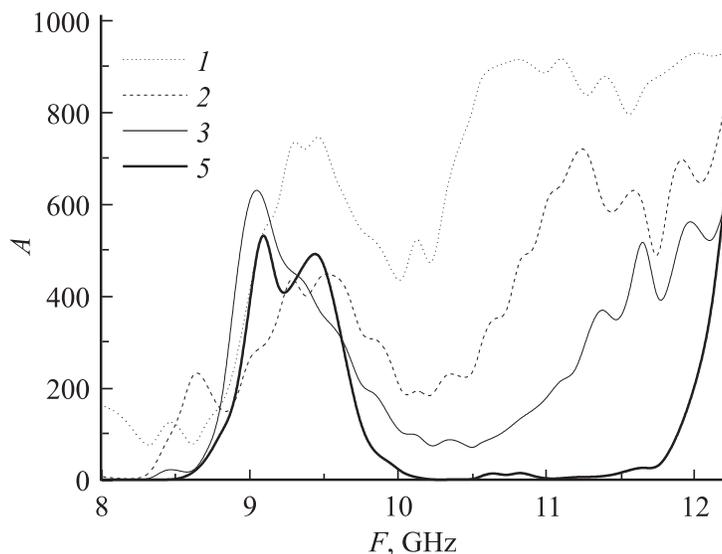


Рис. 3. АЧХ коэффициента пропускания электромагнитного кристалла с различным количеством рядов регулярно расположенных проводящих цилиндров.

Результаты проведенных исследований показывают наличие зонной структуры АЧХ коэффициента пропускания композитного материала, изготовленного на основе диэлектрической матрицы $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, в которой сформирован электромагнитный кристалл из медных цилиндров. Установлено, что в диапазоне 8–12 GHz для формирования двумерного электромагнитного кристалла достаточно пяти рядов медных регулярно расположенных проводящих цилиндров, дальнейшее увеличение количества рядов не влияет на расположение зон прозрачности (непрозрачности), а только приводит к уменьшению интенсивности АЧХ коэффициента пропускания. Композитные материалы, в которых сформированы электромагнитные кристаллы, могут применяться при изготовлении полосовых фильтров, а также высокоэффективных радиопоглощающих покрытий.

Список литературы

- [1] *Гуляев Ю.В., Лагарьков А.Н., Никитов С.А.* // Вестник Российской академии наук. 2008. Т. 78. № 5. С. 438–457.
- [2] *Belov P.A., Tretyakov S.A., Viitanen A.J.* // Waves and Appl. 2002. V. 16. N 8. P. 1153–1170.
- [3] *Нелин Е.А.* // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2004. № 3. С. 18–25.
- [4] *Starr A.F., Rye P.M., Mock J.J., Smith D.R.* // Review of Scientific instruments. 2004. V. 75. N 4. P. 820–825.