

**И.Н. Кабанов<sup>1</sup>, В.В. Комаров<sup>2</sup>, В.П. Мещанов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Мытищинский научно-исследовательский институт  
радиоизмерительных приборов

<sup>2</sup>Саратовский государственный технический университет  
им. Гагарина Ю.А.

<sup>3</sup>ООО Научно-производственное предприятие «НИКА-СВЧ»

## **Частотно-избирательные свойства двухслойных крестообразных метаповерхностей**

*Методом конечных разностей во временной области проведен анализ частотно-селективных поверхностей с крестообразными апертурными элементами. Показано, что электродинамические характеристики полосовых фильтров, выполненных на их основе, могут быть улучшены при реализации двухслойной конструкции таких систем. Исследования проведены в частотном диапазоне 70...110 ГГц.*

**Ключевые слова:** метаматериал, полоса пропускания, резонансные свойства.

Метаповерхности, представляющие собой одномерные и двумерные периодические решетки, выполненные в форме либо резонансных резистивных элементов на диэлектрической подложке, либо в форме перфорированных металлических экранов, в настоящее время находят широкое распространение в микроволновой и терагерцевой технике [1]. Чаще всего они применяются для поглощения [2] и фильтрации [3] радиосигналов.

Одним из перспективных направлений развития современной радиоэлектроники является освоение новых частотных диапазонов. В частности, для биомедицинских целей интерес представляет диапазон 70...110 ГГц, для которого в работе [3] была предложена однослойная метаповерхность с крестообразными апертурными элементами, созданная по технологии струйного травления. Такие частотно-селективные поверхности (ЧСП) хорошо зарекомендовали себя ранее в качестве полосовых фильтров терагерцевого диапазона [4]. Одной из особенностей данных устройств является необходимость реализации узкой полосы пропускания  $S < 20\%$ .

Анализ однослойных крестообразных ЧСП показал, что их электродинамические характеристики могут быть улучшены только за счет увеличения толщины металлизации  $d > 100$  мкм и уменьшения ширины апертурных щелей крестообразного элемента до величин 20...30 мкм. Однако здесь возникают серьезные трудности технологического характера. К примеру, в работе [5] для этих целей была использована специальная дорогостоящая технология и предложен подход, базирующийся на конструировании многослойных терагерцевых ЧСП.

Целью данной работы является изучение характеристик двухслойных метаповерхностей, аналогичных тем, что были рассмотрены в [3].

Для анализа процессов распространения и рассеяния электромагнитных (ЭМ) волн на двумерных периодических структурах была построена трехмерная численная модель двухслойной ЧСП (рис.1). Здесь  $L$  - расстояние между двумя ЧСП,  $a$  и  $b$  - длина и ширина щелей,  $w$  - период решетки.

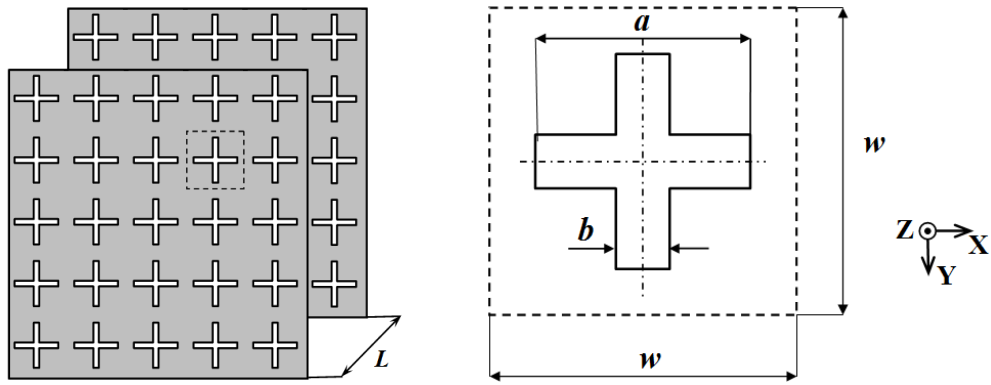


Рисунок 1.

Плоская ЭМ волна нормально падает на метаповерхность вдоль оси  $Z$  и частично рассеивается на ней, а частично проникает сквозь нее. В модели, построенной с помощью метода конечных разностей (МКР) во временной области, учитывались реальные значения электропроводности ( $\sigma$ ) металлов, из которых изготовлена ЧСП. На рис.2 приведен сравнительный анализ однослойной (1) и двухслойной (2) ЧСП с размерами  $a = 1.63$  мм,  $b = d = 0.05$  мм,  $w = 1.88$  мм. Материал решетки - сплав 47НХР ( $\sigma = 1.1 \cdot 10^6$  Сим/м). Для двухслойной модели  $L = 1$  мм.

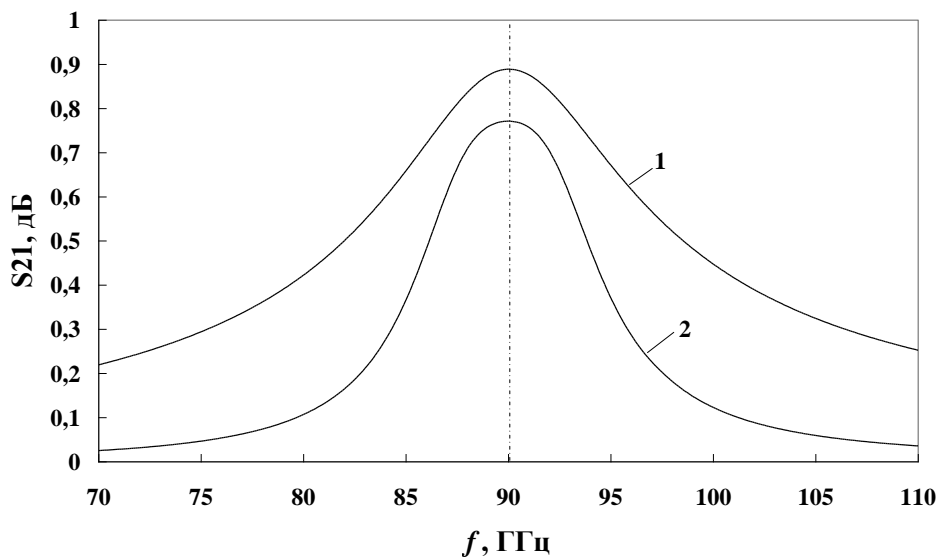


Рисунок 2.

Из этих данных видно, что полоса пропускания фильтра существенно уменьшается, но одновременно возрастает затухание сигнала. Одним из путей устранения этого недостатка могло бы стать покрытие металлического основания метаповерхности слоем других металлов с более высокой электропроводностью, толщина которого превышает скин-слой.

На рис.3 показан пример такого подхода для двухслойной ЧСП с ранее указанными размерами для сплава 47НХР (1), а также структуры с покрытием из никеля (2) и золота (3).

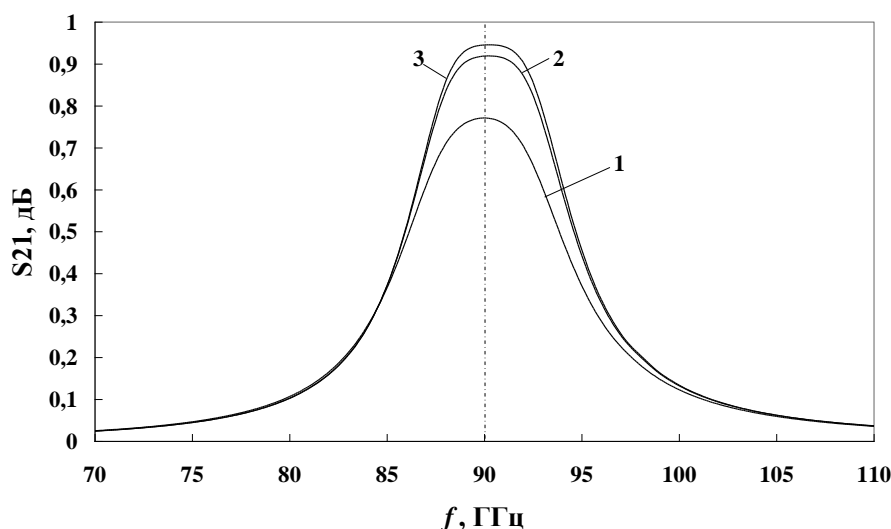


Рисунок 3.

Таким образом, было показано, что применение многослойных метаповерхностей является перспективным направлением конструирования узкополосных устройств фильтрации ЭМ сигналов коротковолновых диапазонов. Дальнейшая оптимизация данных структур будет направлена на поиск размеров апертурных элементов и периода решетки, обеспечивающих наилучшие характеристики двухслойных ЧСП.

#### Библиографический список

1. Кабанов И.Н. Частотно-селективные структуры микроволнового и терагерцевого диапазона / В.В. Комаров, В.П. Мещанов // - Антенны. - 2014. - № 7. - С. 62-67.
2. Аплеталин В.Н. Частотно-селективные решетки из кольцевых элементов/ Ю.Н. Казанцев, В.П. Мальцев, В.С. Солосин, А.Д. Шатров // - Радиотехника и электроника. -2003. - Т.48. - № 5. - С. 517-527.
3. Мещанов В.П. Разработка и моделирование двумерных периодических структур для узкополосной фильтрации сигналов / С.А. Алавердян, И.Н. Кабанов, В.В. Комаров // - Радиотехника. - 2014. - № 10. - С.9-13.
4. Porterfield D.W. Resonant metal-mesh bandpass filters for the far infrared / J.L. Hesler, R. Densing, E.R. Mueller, T.W. Crowe, R.M. Weikle // - Applied Optics. - 1994. - Vol. 33. - N 25. P. 6046-6052.
5. Wang Y, Micromachined thick mesh filters for millimeter-wave and terahertz applications / B. Yang, Y. Tian, R.S. Donnan, M.J. Lancaster // - IEEE Trans. Terahertz Science and Technology. - 2014. -Vol.4. - N 2. - P.247-253.