

Полезные модели (изделия) по теме: "Взаимодействие электромагнитных волн и физически активных сред"

Рассмотрим создание киральной структуры на основе полосковых элементов зеркально асимметричной формы. Образцы были выполнены в НИИ «Экран» в 2006 году. В качестве кирального элемента использовались проводящие полоски из меди в форме буквы S, состоящий пяти прямолинейных участков равной длины и ширины. Эти элементы были равномерно нанесены на тонкую диэлектрическую подложку толщиной G . На рисунке 4.3 показан вид сверху на подложку с нанесёнными проводящими киральными элементами.

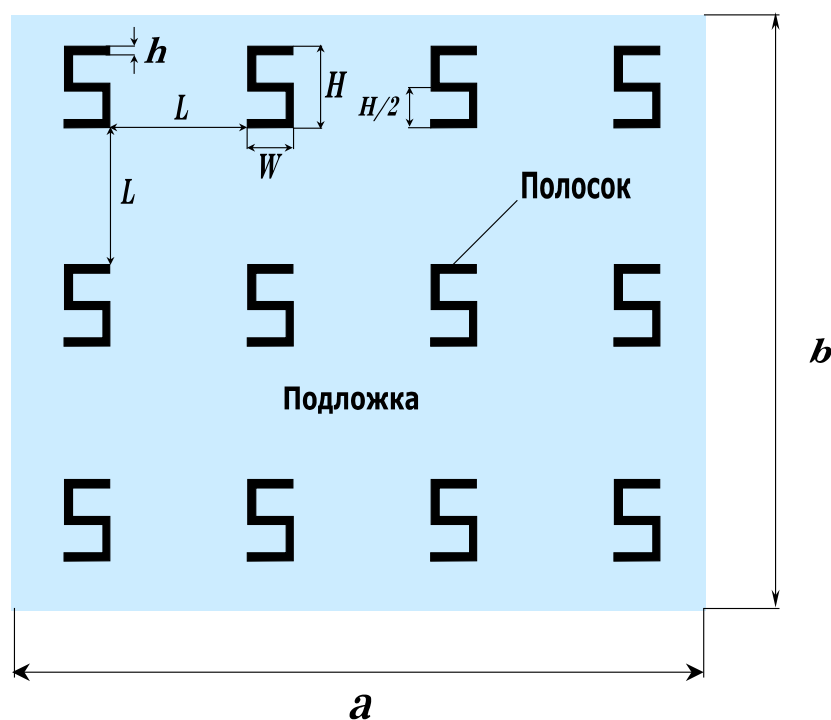


Рисунок 4.3 — Геометрия полоскового кирального покрытия СВЧ.
Вид сверху.

Киральное покрытие обладает пространственной дисперсией в случае, когда расстояние между соседними элементами L соизмеримо с длиной волны падающего электромагнитного излучения λ (длина волны λ определяется рабочей частотой СВЧ генератора панорамного измерителя). Линейные размеры кирального элемента H и W должны быть гораздо меньше длины волны λ .

Была изготовлена квадратная подложка из диэлектрика (толщина подложки G должна быть приблизительно равна $\lambda/4$) размером $a = b = 15$ мм. На длине волны $\lambda = 13$ мм толщина подложки $G \approx 4$ мм. На ней были нанесены проводящие киральные элементы в виде букв S из ортогональных полосков, показанные на рисунке 4.3. Размеры данных полосковых элементов выбирались из следующих соображений.

1. Расстояние между соседними киральными элементами L должно быть соизмеримо с длиной СВЧ-волны в эксперименте, то есть $L \sim \lambda$.

Например, для длины волны $\lambda = 13$ мм: $L \sim 13$ мм. Таким образом, вдоль каждой из сторон подложки было размещено по 11 элементов.

2. Ширина полоскового элемента W должна быть гораздо меньше длины волны, например, при $\lambda = 13$ мм: $W = 4$ мм. Ширина самого полоска h порядка 1 мм.

3. Высота полоскового элемента H выбирается равной W .

Расстояние между соседними киральными элементами всегда должно быть соизмеримо с длиной используемого электромагнитного излучения. Размеры элементов должны быть меньше. В конце раздела приведены примеры подложек с правыми и левыми S-элементами для работы на длинах волн 10-15 мм. При изменении рабочего интервала длин волн необходимо соразмерно изменить расстояние между соседними киральными элементами и размеры самих используемых полосковых элементов.

На рисунке 4.4 приведена схема подложки с нанесёнными киральными элементами в масштабе 1:1 при $\lambda = 20$ мм: $W = 2$ мм, $H = 3.5$ мм, $h = 0.5$ мм, $L = 20$ мм.

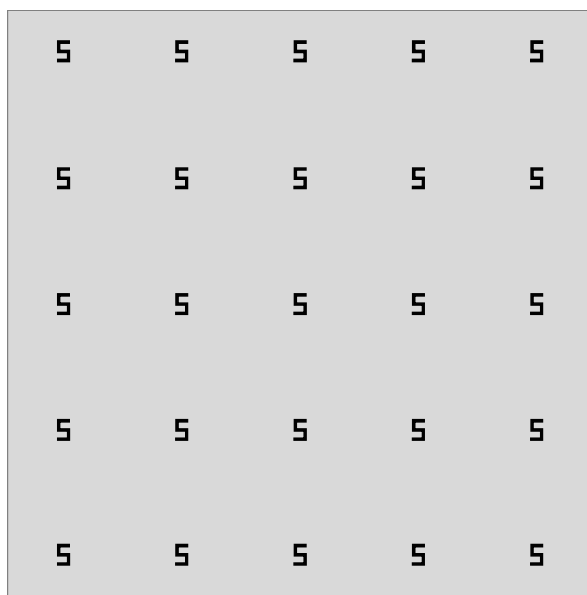


Рисунок 4.4 — Подложка с нанесёнными полосковыми киральными элементами (масштаб 1:1 для рабочей длины волны 20мм). Вид сверху.

Исследуемая структура представляет собой тонкую диэлектрическую подложку, на которую с двух сторон нанесена металлизация полосковыми киральными элементами. Причем верхняя поверхность подложки металлизирована правыми киральными элементами (например, буква S), а на нижней поверхности расположены киральные элементы левой формы. Расстояние между соседними элементами соизмеримо с длиной λ падающего электромагнитного излучения. Структура функционирует в режиме резонанса в некотором диапазоне длин волн. Этот диапазон $\Delta\lambda$ определяется только размерами полосковых киральных элементов и расстоянием между ними.

Предложенные схемы являются крайне упрощёнными моделями решения задачи «Мираж» (в плане структурной сложности киральных элементов и их пространственной конфигурации в среде), которые после некоторой серии контрольных экспериментов могут применяться в том числе и в **оптическом диапазоне**. В этом случае на поверхность оптически прозрачного диэлектрика наносится «дифракционная решётка», штрихи которой имеют форму киральных элементов по аналогии с вышерассмотренными схемами СВЧ. Расстояние между соседними штрихами киральной дифракционной решётки должно быть соизмеримо с длиной волны оптического диапазона. Длина и ширина киральных элементов штрихов должны быть меньше длины оптической волны.

Рассмотрим усложненный вариант полосковой физически-киральной структуры. Верхняя и нижняя поверхности подложки являются гофрированными. На всех сторонах гофрированных участков располагаются S-элементы. Ширина w_1 и высота h_1 верхнего покрытия равна $\lambda/2$, для нижнего покрытия — $w_2 = 2\lambda$; $h_2 = \lambda/2$. Ширина зазора между верхним и нижним покрытием равна $\lambda/4$. Верхняя гофрированная поверхность сверху металлизирована правыми элементами, сбоку — левыми элементами, нижняя — левыми элементами, сбоку — правыми элементами. Расположение элементов по поверхностям покрытия подробно приведено на рисунке 4.5. Предположительно, поверхность будет не только рассеивать падающее излучение вдоль гофрированной поверхности, изменяя его поляризацию, но и значительно уменьшать коэффициент отражения $|R| \rightarrow 0$. Механизм предполагаемого отражения волны от покрытия изображён на рисунке 4.5.

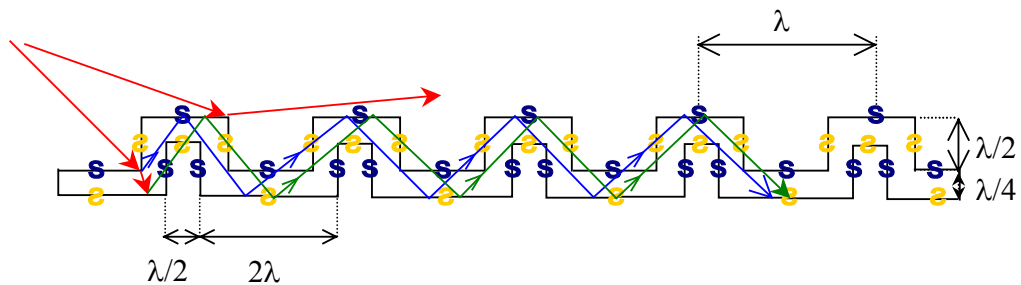


Рисунок 4.5 — Гофрированное киральное покрытие. Вид сбоку

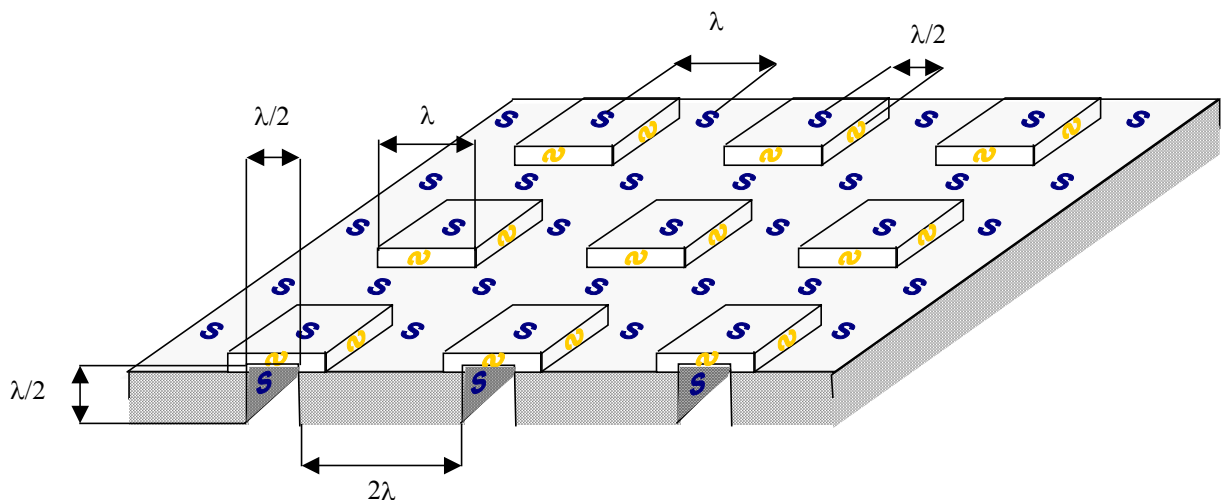


Рисунок 4.6 — Гофрированное киральное покрытие.

Возможны следующие комбинации (при сохранении базовых расчетов):

— прямоугольные канавки гофрированной поверхности наносятся вдоль обеих осей (x и y), образуя чередование квадратных выступов и впадин в шахматном порядке (рисунок 4.6); по форме данное покрытие может напоминать «кассету для яиц», образуя чередование закруглённых выступов и впадин;

— верхняя поверхность расположена в «противофазе» относительно нижней и наоборот, то есть квадратные выступы нижней находятся напротив впадин верхней поверхности (так же возможны различные варианты сдвига максимумов и минимумов поверхностей);

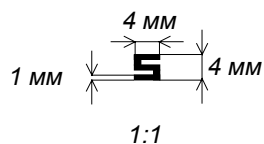
— рабочая конструкция представляет из себя восемь поверхностей повернутых относительно друг друга на $\alpha = 45^\circ$;

— а также все возможные комбинации, касающиеся размеров и форм диэлектрических подложек, их взаимного расположения друг относительно друга, расстояния между ними, а также конфигурации киральных элементов на диэлектрической подложке и их сочетаний.

Подложка может быть выполнена не только из диэлектрика, но и из магнитодиэлектрической, ферритовой, полупроводниковой, сегнетоэлектрической и др. сред.

На рисунках 4.7 и 4.8 показаны чертежи полосковых киральных покрытий СВЧ-диапазона для длины волны 13 мм, изготовленные в «НИИ «Экран» (г. Самара).

Правый киральный
прямоугольный
S-элемент



Диэлектрическая подложка с правыми киральными
прямоугольными S-элементами

Диэлектрик — материал

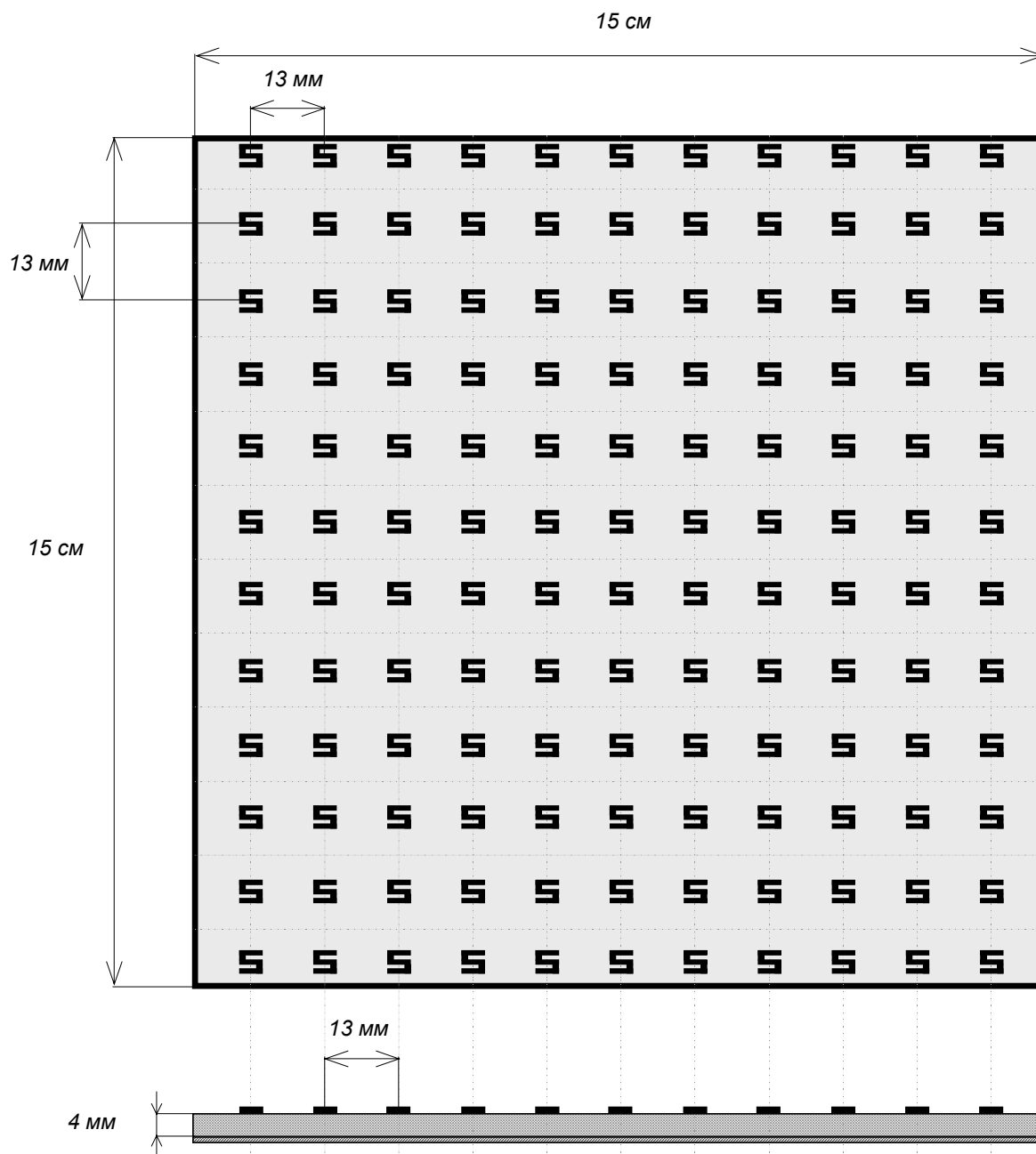
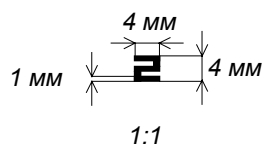


Рисунок 4.7 — Киральное покрытие СВЧ на основе правых форм S-образных элементов

Левый киральный
прямоугольный
S-элемент



Диэлектрическая подложка с левыми киральными
прямоугольными S-элементами

Диэлектрик — Материал

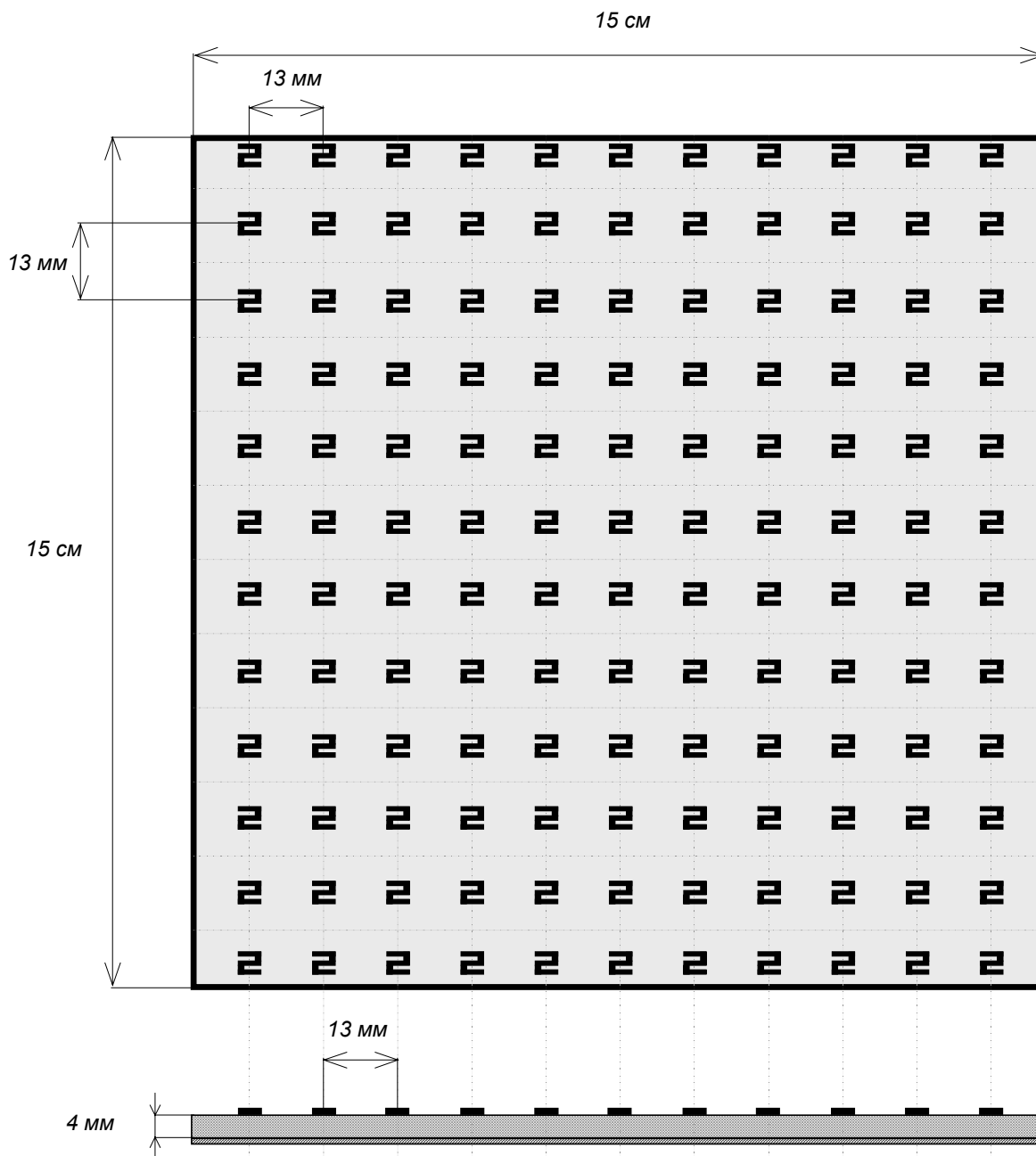


Рисунок 4.8 — Киральное покрытие СВЧ на основе левых форм S-образных элементов

Проведение контрольных испытаний макетов киральных структур, показанных на рис. 4.7 и 4.8 и гофрированной структуры, показанной на рис. 4.5 было проведено в ФГУП «НИИ «Экран» в период 10 по 21 ноября 2005 года под руководством с.н.с. Гаврилова В.Ю., вед. инж. Данилова А.А. Целью проводимых исследований являлось определение отражающих и поглощающих свойств киральных покрытий. Предварительно было проведено моделирование резонансных свойств киральных элементов в программе Microwave Office. Фотография одного из вариантов исследуемого плоского кирального покрытия приведена на рис. 4.9. На рис. 4.10 показана фотография гофрированного кирального покрытия. На рис. 4.11 показана схема экспериментальной установки.

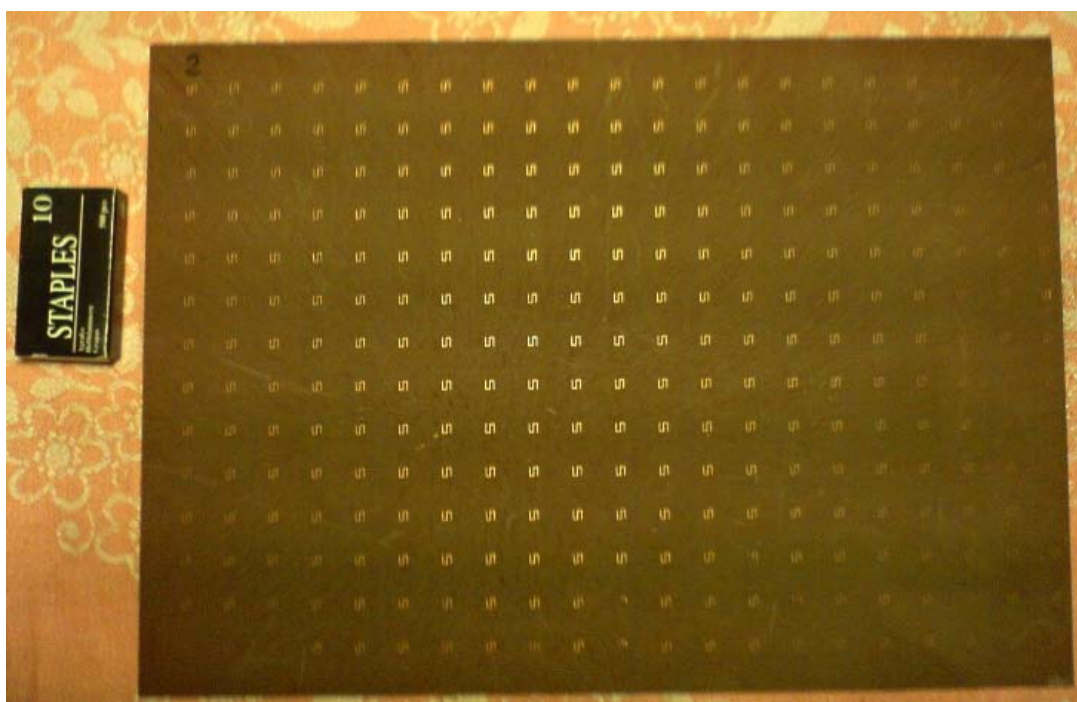


Рисунок 4.9 — Образец плоского кирального покрытия на основе S-элементов

В результате экспериментальных исследований было выявлено, что минимальное значение ослабления сигнала линейной поляризации составляет порядка -15-30 дБ. Уровень мощности отраженного от кирального покрытия излучения находился за пределами измерения панорамного измерителя КСВН и ослабления по мощности P2-105.



Рисунок 4.10 — Образец гофрированного кирального покрытия на основе S-элементов



Рисунок 4.11 — Схема экспериментальной установки

На рис. 4.12 приведен график зависимости модуля элемента матрицы передачи, отвечающего за ослабление сигнала от частоты в случае плоского кирального покрытия на основе S-элементов, полученный в результате численного моделирования исследуемой структуры в программе Microwave Office. На рис. 4.13 приведена частотная зависимость времени задержки в случае падения волны линейной поляризации на плоское киральное покрытие на основе S-элементов. Из рис. 4.13 видно возникновение на частоте 10.38 ГГц отрицательного времени задержки. На рис. 4.14 приведена экспериментальная частотная зависимость приращения ослабления сигнала между передающей и приёмной антеннами от частоты для одного из образцов плоского покрытия на основе S-элементов. Из рис. 4.15 приведена частотная зависимость КСВН по входу передающей антенны, используемой при проведении эксперимента.

Было проведено 22 контрольных эксперимента с образцами плоской киральной структуры на основе S-элементов и гофрированной структуры с S-образными киральными элементами.

Исследование макетов киральных покрытий и их анализ в программе Microwave Office позволили сделать следующие выводы, основанные на протоколах испытаний ФГУП «НИИ «Экран» от 21 ноября 2005 года:

1. При падении волны линейной поляризации на плоское киральное покрытие на основе S-элементов мощность отраженного сигнала была за пределами измерения P2-105, что может быть связано, либо с рассеянием волны вдоль поверхности покрытия, либо со сдвигом спектра отраженного поля в область более низких частот.

2. Плоское киральное покрытие на основе S-элементов обладает ярко выраженными анизотропными свойствами. В частности, резонансные свойства покрытия перестают проявляться при падении волнового фронта под углом более 30 градусов относительно нормали к границе раздела, то есть резонансы прохождения наблюдаются при падении волны близком к нормальному.

3. Плоское киральное покрытие на основе S-элементов обладает ярко выраженными резонансными свойствами прохождения волны линейной поляризации, то есть является узкополосным. В частности, вблизи резонансных частот удается добиться ослабления по мощности от 15 до 30

дБ. Малое отражение было обнаружено в пределах полосы частот от 10 до 13 ГГц.

4. На частоте, ниже резонансной (см. рис. 4.13), было зафиксировано отрицательное время задержки — интервал времени между получением и отражением сигнала от подложки, который составил 8,445 нс. Скорее всего, это связано с существованием опережающих волн при взаимодействии поля с исследуемой структурой.

5. При некотором повороте покрытия по оси перпендикулярной границе раздела киральная положка на проявляла рассчитанных свойств, что также свидетельствует об анизотропии структуры в целом.

Таким образом, исследованное плоское киральное покрытие на основе S-элементов обладает узкими резонансными интервалами не пропускания и отсутствием отражения на длине волны падающего излучения в пределах полосы частот от 10 до 13 ГГц.

Обнаруженные высокоселективные явления, характерные для исследованного плоского кирального покрытия на основе S-элементов, могут быть частично устранены при изменении формы и конфигурации киральных полосковых элементов, в частности при использовании фрактальной конфигурации киральных элементов на поверхности подложки.

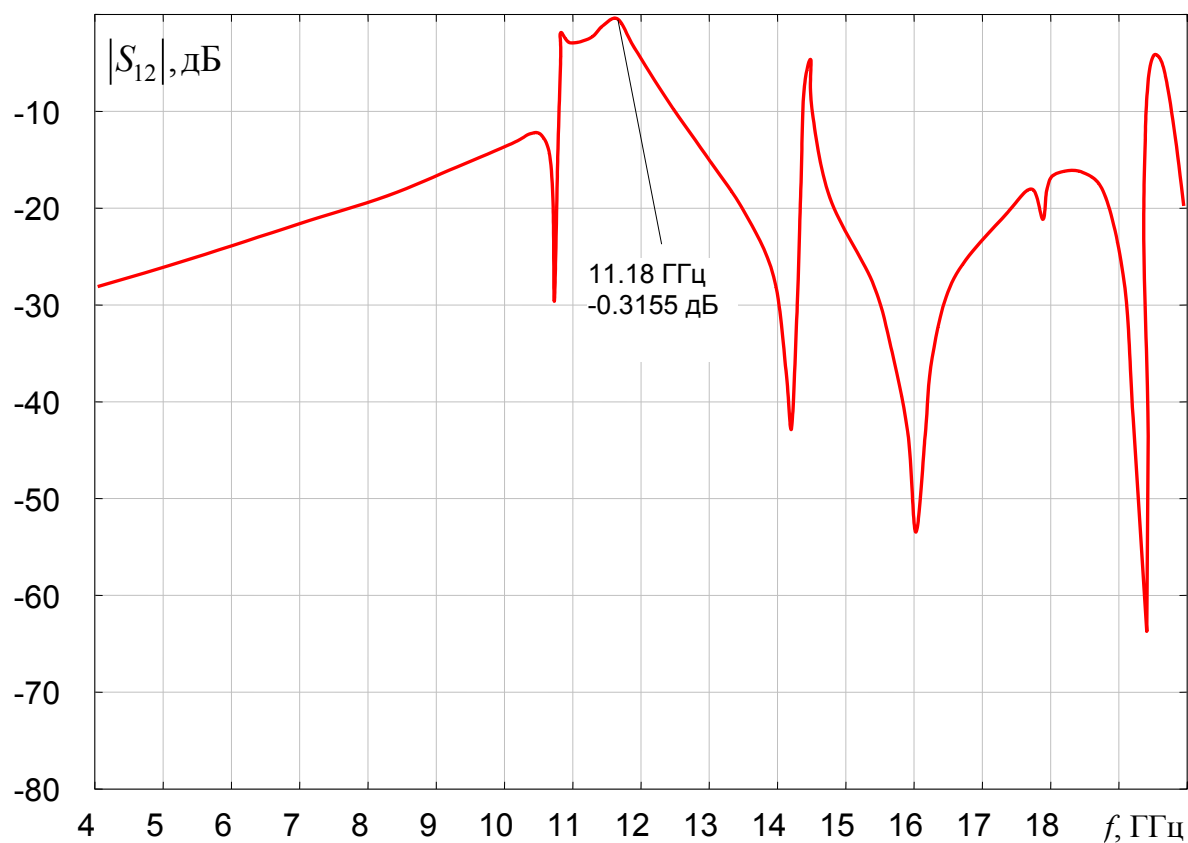


Рисунок 4.12 — Расчетная зависимость модуля элемента матрицы передачи, отвечающего за ослабление сигнала от частоты (плоское покрытие)

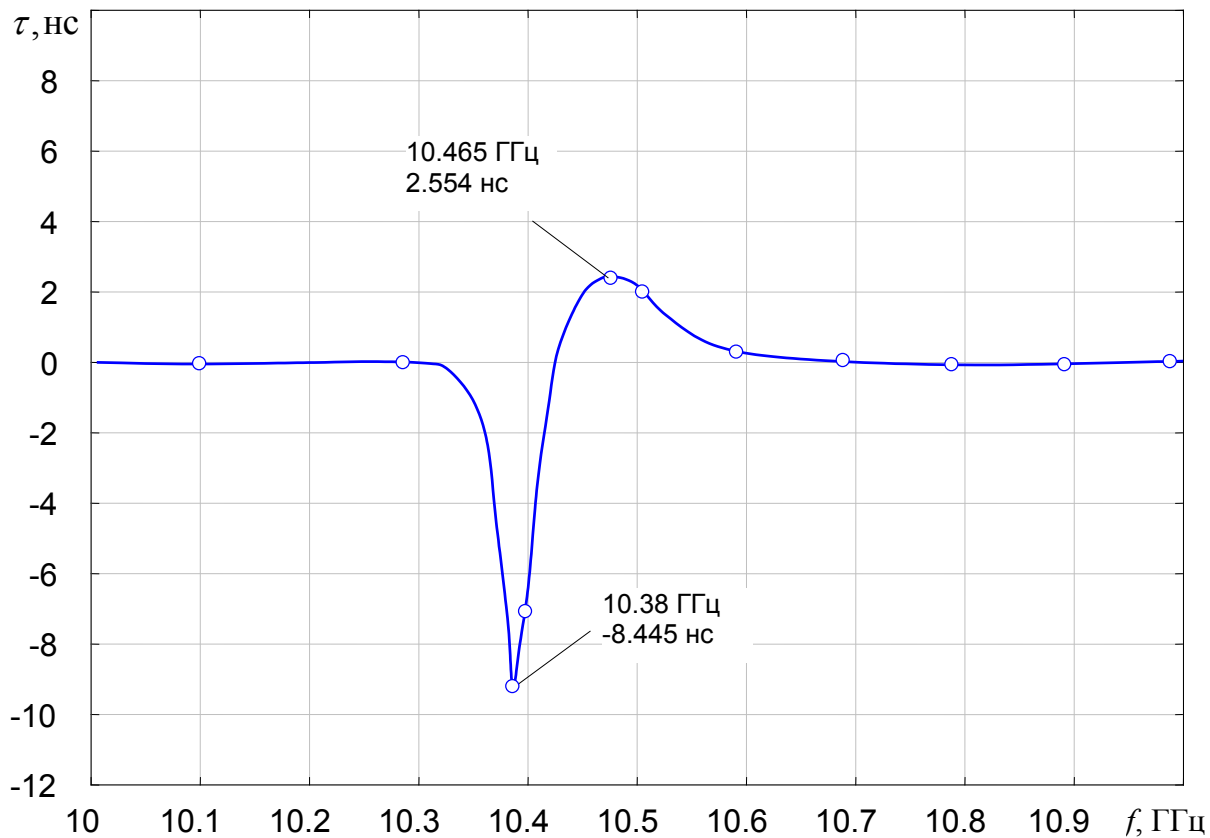


Рисунок 4.13 — Расчетная зависимость времени задержки от частоты (плоское покрытие)

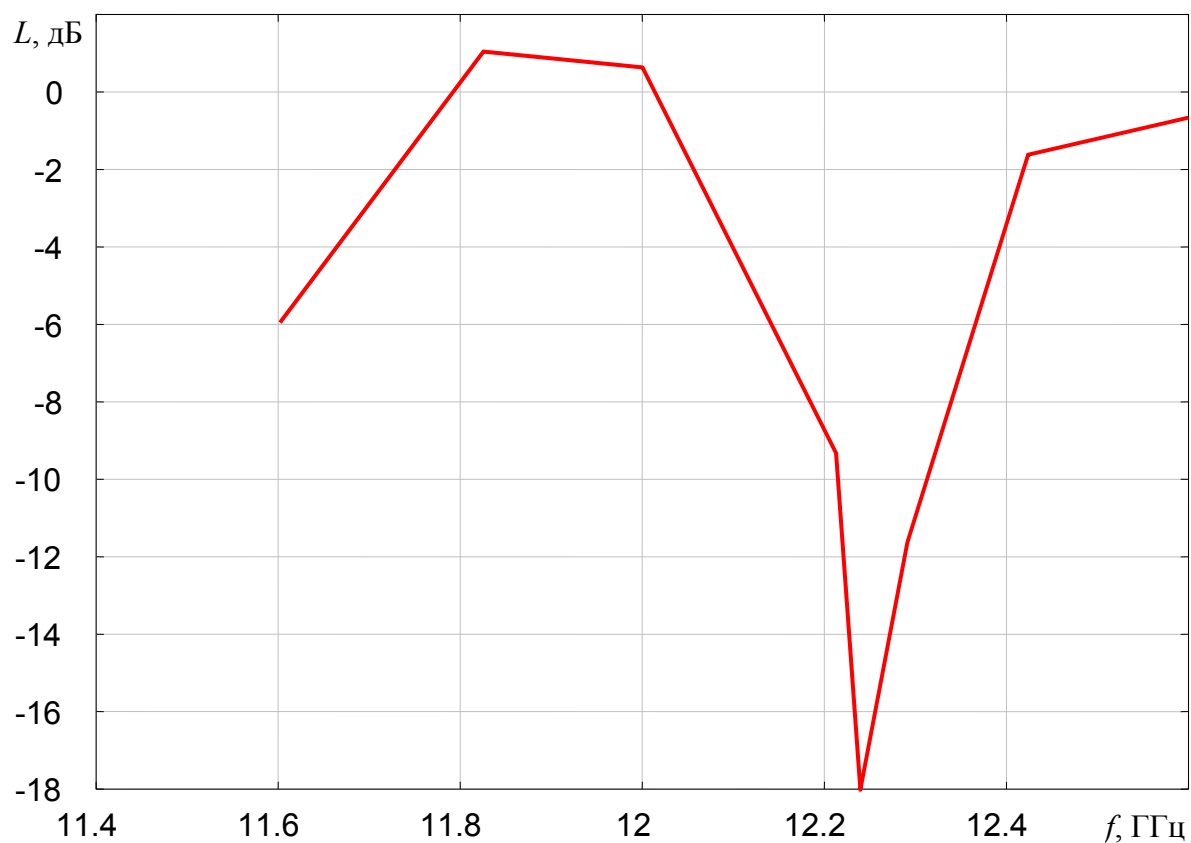


Рисунок 4.14 — Зависимость приращения ослабления сигнала между передающей и приёмной антеннами от частоты в случае плоского покрытия на основе S-элементов

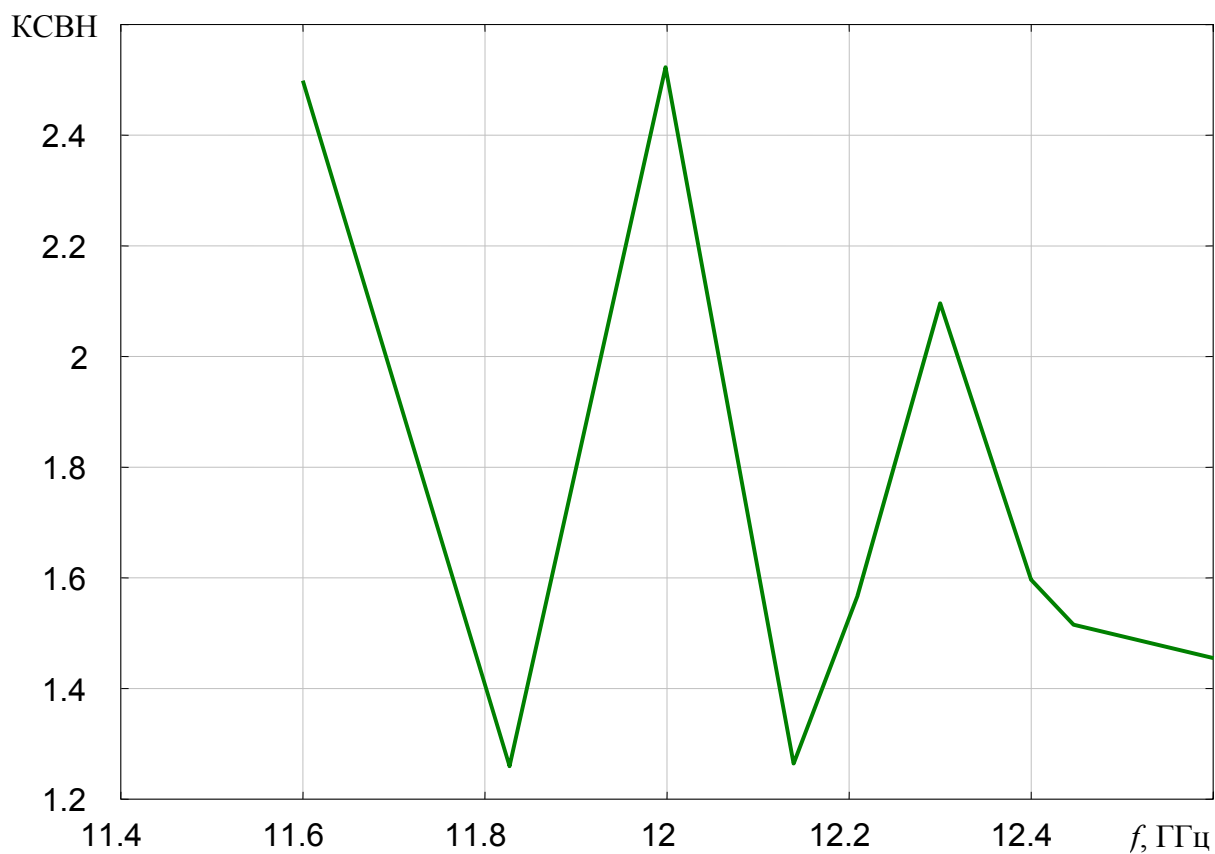


Рисунок 4.15 — Частотная зависимость КСВН по входу передающей антенны