

Экспериментальный стенд для сборки и испытаний антенных модулей на основе микроминиатюрных слоистых метаматериалов

Аджибеков А.А.*, Жуков А.А., Алексеев О. А.*****

*Компания «Российские космические системы», ул. Авиамоторная, 53,
Москва, 111250, Россия*

**e-mail: shah-murza@mail.ru*

***e-mail: and_zhukov@mail.ru*

****e-mail: shah-murza@mail.ru*

Аннотация

Разработан экспериментальный стенд для сборки и испытаний антенных модулей на основе слоистых метаматериальных структур, образованных микроминиатюрными кольцевыми разомкнутыми резонаторами. Совмещение слоев антенного модуля при его сборке осуществляется по минимуму мощности проходящего через модуль СВЧ сигнала, соответствующего минимуму погрешности совмещения слоёв модуля. Поле источника СВЧ сигнала имеет антисимметричную диаграмму направленности. Совмещение слоёв антенного модуля с использованием СВЧ сигнала обеспечивает технологичность сборки антенных модулей.

Ключевые слова: метаматериал, антенный модуль, кольцевой разрезной резонатор, диаграмма направленности.

Введение

Применение антенных модулей на основе метаматериалов в антенной технике случаях обеспечивает повышение коэффициента усиления антенн при их фиксированных поперечных размерах [1]. Для изготовления антенных модулей на основе микроминиатюрных слоистых метаматериалов [1-4] применяются различные методы работы с тонкопленочными и толстопленочными структурами [5-7]. Однако применение известных методов для создания антенных модулей на основе микроминиатюрных слоистых метаматериалов ограничено при толщине одного слоя от единиц миллиметров и более. Для микроминиатюрных слоистых метаматериалов на основе кольцевых разомкнутых резонаторов (КРР) (вид подобных структур представлен на рисунке 1), применяемых в устройствах СВЧ диапазона, требуются диэлектрики толщиной от единиц до десятков миллиметров. Изготовление подобных структур требует применения методов механической обработки для изготовления диэлектрических слоев, методов формирования металлического рисунка на диэлектрической поверхности, методов последующей сборки, совмещения и фиксации слоёв. При этом возникают трудности совмещения слоёв метаматериалов на основе КРР, обусловленные низкой технологичностью известных методов. Таким образом, актуальной

задачей является повышение технологичности при изготовлении и испытаниях слоистых метаматериальных структур на основе КРР.

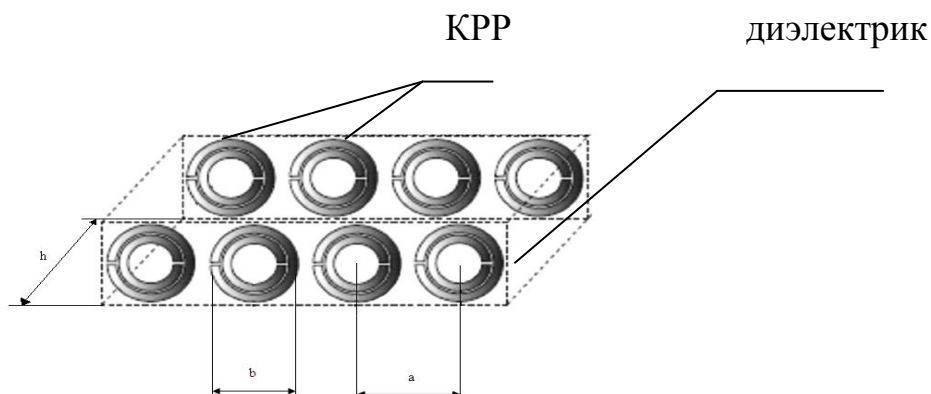


Рисунок 1 Микроминиатюрная слоистая метаматериальная структура на основе КРР для антенных модулей [4]

Принцип работы стенда

Для решения поставленной задачи разработан стенд для сборки малогабаритных антенных модулей с совмещением слоев микроминиатюрных слоистых метаматериалов на основе КРР в поле источника СВЧ излучения с антисимметричной диаграммой направленности. Величина погрешности совмещения определяется мощностью сигнала, критерий точности совмещения – минимумом мощности сигнала.

Принцип работы стенда состоит в следующем. Малогабаритный антенный модуль на основе микроминиатюрных слоистых метаматериалов облучается источником СВЧ излучения с антисимметричной диаграммой направленности (ДН), т. е. ДН имеющей глубокий провал в направлении оси системы и два симметричных лепестка, отклоненные на некоторый угол от нулевого

направления со сдвигом фаз 180 градусов. Под действием падающего поля источника слои метаматериала малогабаритного антенного модуля порождают вторичное излучение. При этом каждый слой можно рассматривать как апертурный излучатель с некоторым симметричным амплитудным распределением (при идеальном совмещении) и антисимметричным фазовым распределением. В случае идеального совмещения слоистых метаматериальных структур амплитудное распределение поля в слое будет симметричным, фазовое – антисимметричным. Поэтому в направлении оси системы волны, порожденные двумя слоями, будут компенсировать друг друга. При рассовмещении слоев с КРР из-за искажения амплитудного распределения на поверхности слоев метаматериальных структур взаимная компенсация будет неполной. При этом, чем сильнее будет рассовмещение слоев, тем сильнее будет искажение амплитудного распределения поля, и тем выше будет уровень излучения в направлении оси. Измерение уровня мощности в направлении оси системы осуществляется с помощью расположенной соосно напротив источника СВЧ излучения приемной антенной с измерителем мощности. Совмещение слоев метаматериальных структур производится по минимуму принимаемой мощности. После совмещения слоев выполняется их фиксация. Необходимыми условиями являются частичная прозрачность слоев для СВЧ излучения в применяемом диапазоне частот и плоскостная симметрия совмещаемых слоев.

Структурная схема стенда и результаты эксперимента

Структурная схема экспериментального стенда для сборки и испытаний малогабаритных антенных модулей представлена на рисунке 2. Стенд включает в состав измеритель мощности 1, приемную рупорную антенну 2, параболическое зеркало 3, оснастку с совмещаемыми образцами (представляющими собой сформированные на полиимидной пленке толщиной 40 мкм решетки металлических элементов; обе пленки пленок закреплялась на двух диэлектрических пластинах $50 \times 20 \times 1,8$ мм; одна из пластин фиксированная, другая – подвижная, устанавливаемой в направляющей канавке и свободно двигающейся в ней) 4, передающую антенну с антисимметричной диаграммой направленности 5, генератор 6, при этом стенд монтируется в безэховой камере.

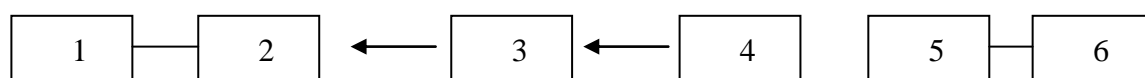


Рисунок 2. Структурная схема экспериментального стенда для сборки малогабаритных антенных модулей на основе слоистых метаматериальных структур

На рисунке 3 представлена фотография экспериментального стенда для сборки малогабаритных антенных модулей в безэховой камере, позволяющей проводить измерения от 1 ГГц до 30 ГГц (ограничение по частоте ниже 1 ГГц обусловлено чрезмерным увеличением габаритных размеров установки, выше 30 ГГц нецелесообразно, поскольку для изготовления рассмотренных структур применима технология изготовления многослойных печатных плат [6]) с минимальным отражением СВЧ излучения.

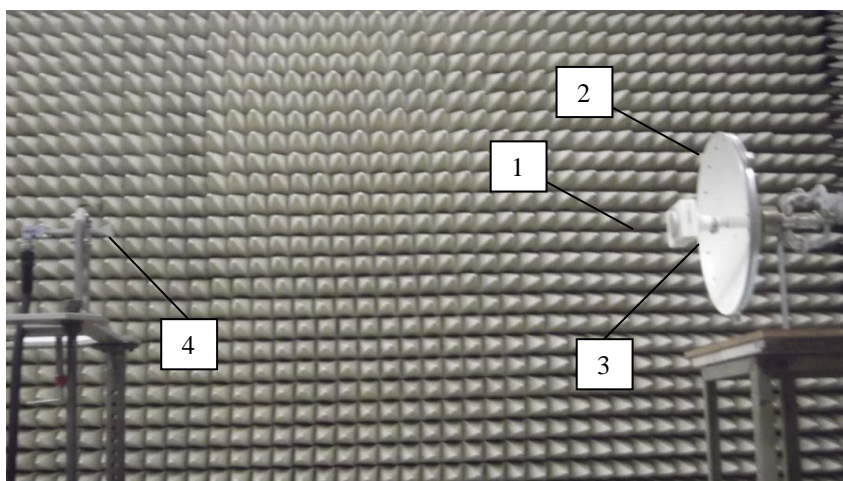


Рисунок 3 Экспериментальный стенд для сборки малогабаритных антенных модулей в безэховой камере

Экспериментальная зависимость мощности принятого сигнала от линейного сдвига по одной из координат слоёв с тестовыми симметричными структурами, аналогичными КРР (при нулевом сдвиге по другой координате и угле поворота, равном нулю), представлена на рисунке 4. Построение данной зависимости выполнялось следующим образом. Подвижная диэлектрическая пластина с нанесенными тестовыми симметричными структурами устанавливалась в оснастке 1 (рисунок 3) над фиксированным слоем металлизации, далее с помощью линейки глубиномера штангенциркуля подвижная пластина смещалась в сторону уменьшения мощности принимаемого сигнала. Для обеспечения достаточной чувствительности в составе стенда использовано параболическое зеркало 2 (рисунок 3) диаметром 300 мм, в качестве источника антисимметричного поля – открытый конец круглого волновода 3 (рисунок 3) диаметром 12 мм. При этом в волноводе возбуждалась мода H_{21} . Измерения проводились на частоте 27 ГГц измерителем мощности Agilent E4419B с

преобразователем 8487D, подсоединенным к приемной рупорной антенне 4 (рисунок 3).

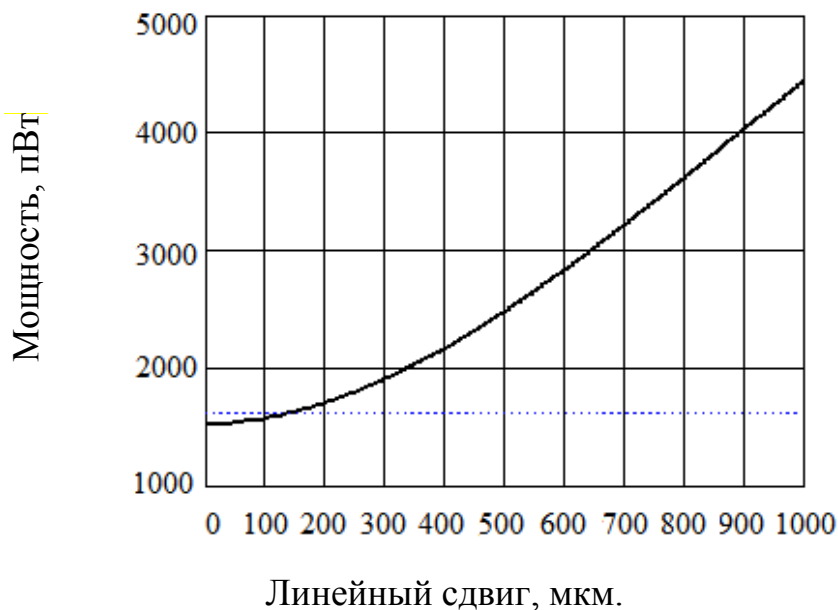


Рисунок 4. Экспериментальная зависимость мощности принятого сигнала от линейного сдвига слоев по одной из координат

Как видно из рисунка 4 величина мощности принятого сигнала нелинейно зависит от линейного сдвига слоев и при 100 мкм скачкообразно и резко, практически линейно возрастает. Минимальная величина мощности сигнала наблюдается до 100 мкм линейного сдвига слоев, возрастая от 1500 до 1600 пВт, что находится в пределах чувствительности приемника, не превышающей 100 пВт. Таким образом, погрешность метода для выбранной аппаратной реализации составляет не более 100 мкм и составляет менее 1,5% от длины волны.

Заключение

Таким образом, разработан экспериментальный стенд для сборки и испытаний антенных модулей на основе микроминиатюрных слоистых метаматериальных структур, обеспечивающий технологичную сборку метаматериальных структур с толщиной слоев между резонаторами от единиц до десятков миллиметров. Стенд позволяет проводить сборку и испытание антенных модулей на основе слоистых метаматериальных структур на рабочих частотах до от 1 до 30 ГГц с погрешностью менее 1,5% от длины волны.

Библиографический список

1. Малогабаритная СВЧ-антенна на метаматериалах. Патент РФ № 2473157 / Веселаго В.Г., Жуков А.А., Бредихин И.Ю. и др. Бюл. № 2, 20.01.13.
2. Слюсар В. Метаматериалы в антенной технике: основные результаты и принципы // Электроника НТБ. 2009. № 7. С 70-79.
3. Munk B.A. Frequency Selective Surfaces — Theory and Design, John Wiley and Sons, Inc., New York, 2000. 410 P 1-14.
4. Вендик И.Б., Вендик О.Г. Метаматериалы в технике сверхвысоких частот // Журнал технической физики. 2013. Т 83. № 1. С.3-28.
5. Мылов Г.В. Печатные платы: выбор базовых материалов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2015. – 176 с.
6. Технологии в производстве электроники. Часть II.: Справочник по производству печатных плат / Под редакцией П. Семенова. - М. Издательский дом Технология, 2007. – 568 с.

7. Валиев К.А. Физические основы субмикронной фотолитографии. - М.: Наука, 1990. – 350 с.