

Овчинников Е.В.
 Санкт-Петербургский государственный электротехнический
 университет «ЛЭТИ»

Измерение параметров диэлектриков в диапазоне СВЧ методом линии передачи

Представлены результаты численных и экспериментальных исследований модуля и аргумента коэффициента передачи матрицы рассеяния исследуемого материала в волноводной измерительной ячейке. Результаты основаны на теоретических данных разработанной математической модели и экспериментальные результаты полученных в ходе измерения параметров заготовок разного размера. Выбор метода измерительной линии объясняется простотой поиска оснастки для проведения измерений.

Ключевые слова: Метод линии передачи, диэлектрическая проницаемость, модуль и фаза коэффициента передачи матрицы рассеяния, измерения параметров диэлектрика на СВЧ.

В настоящей работе представлены результаты исследования параметров диэлектрика в линии передачи, представляющей из себя отрезок волновода с сечением 23x10 мм, которые сверялись с разработанной математической моделью измерительной ячейки.

Методы с использованием линии передачи включают размещение материала внутри части закрытой линии передачи. Обычно используют прямоугольный волновод или воздушную коаксиальную линию. Диэлектрическая и магнитные проницаемости вычисляются из результатов измерений отраженного и прошедшего сигнала. [4]

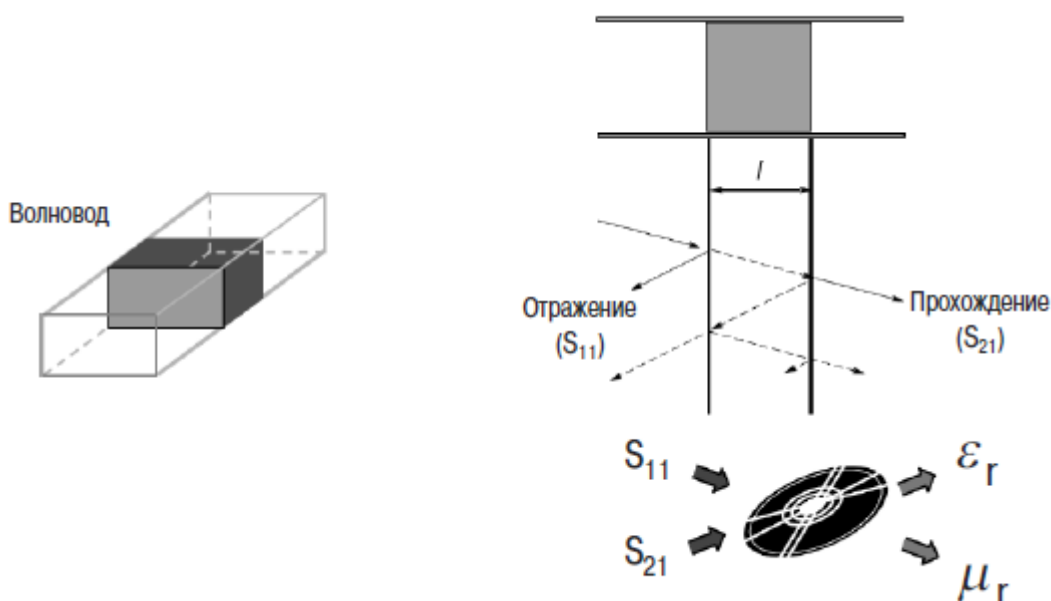


Рис. 1. Метод с использованием волноводной линии передачи.

Эксперимент производился в полосе частот 8-11.5 ГГц с помощью измерителя параметров устройств СВЧ ФК2-18. Комбинированный измеритель разности фаз ФК2-18 является многофункциональным прибором для определения модуля и фазы комплексных коэффициентов передачи СВЧ устройств на фиксированных частотах.

Измерения производились на макете (Рис. 2). В состав макета входят: волноводная измерительная ячейка, 2 ферритовых вентиля. В качестве исследуемого материала использовались параллелепипеды из фторопласта сечения 23x10 разной длины.



Рис. 2. Измерительный макет и набор объектов измерения.

Были выполнены измерения на частотах 8, 9, 10, 11, 11.5 ГГц с объектом длиной 23 мм и получили таблицу данных.

Таблица 1.

f, ГГц	8	9	10	11	11.5
$\arg S_{21}, ^\circ$	126	124	132	149	157
$ S_{21} , \text{дБ}$	-1.5	-1	-0.1	-0.4	-0.5

В пакете AWR Design Environment разработали математическую модель измерительной установки. В состав модели входят: два 50-ти Омных порта, два “идеальных” коаксиально-волноводных перехода, два отрезка линии передачи и отрезок волновода полностью заполненный исследуемым диэлектриком с $\epsilon=2$.

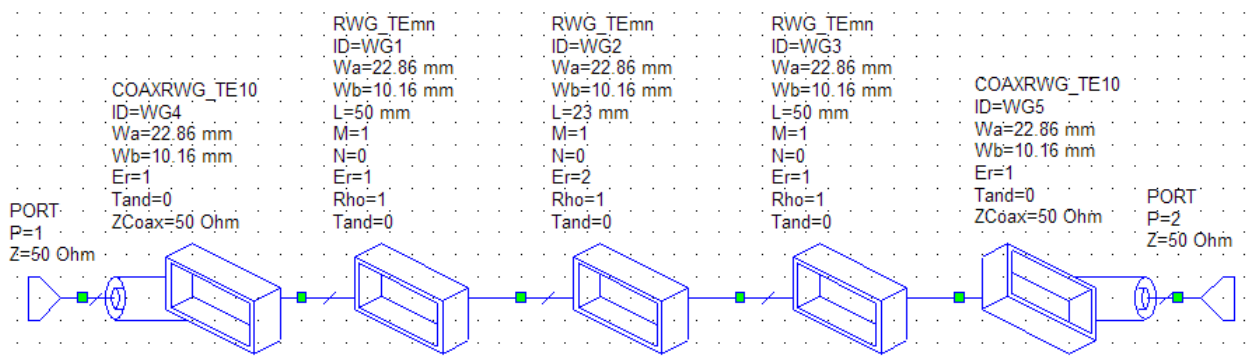


Рис. 3. Математическая модель измерительной линии.

Повторяя действия с математической моделью, что и с физическим макетом, в результате моделирования получили графики модуля и фазы коэффициента передачи в исследуемой полосе частот.

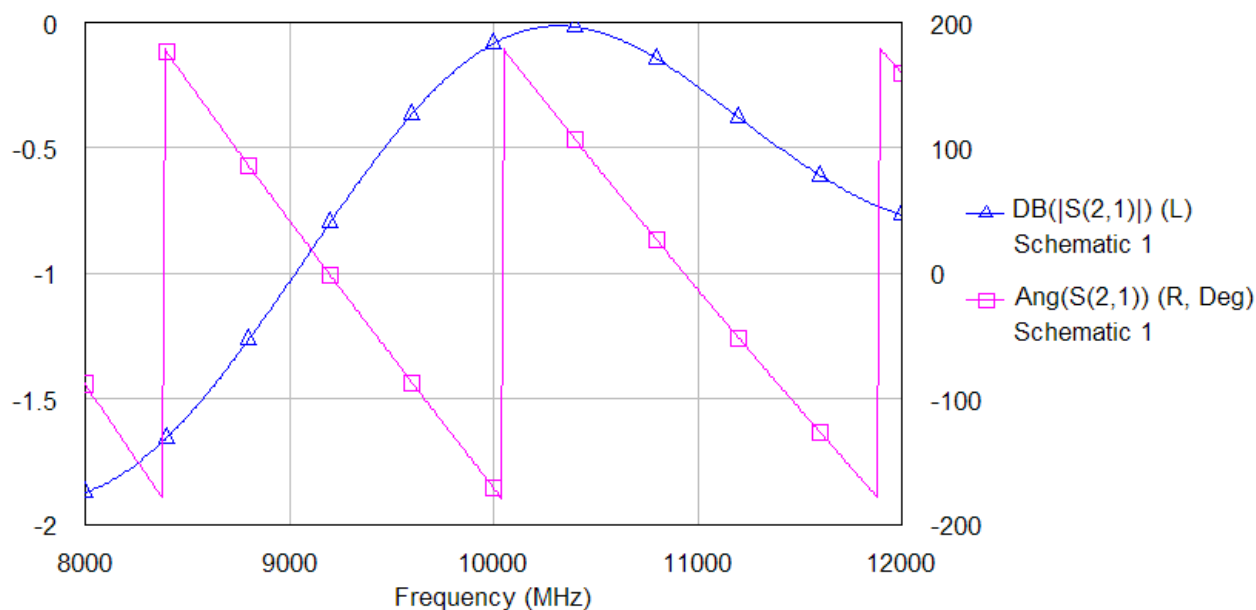


Рис. 4. Графики модуля и фазы коэффициента передачи.

По результатам моделирования получили значения модуля и фазы коэффициента передачи на частотах 8, 9, 10, 11, 11.5 ГГц.

Таблица 2.

f, ГГц	8	9	10	11	11.5
$\arg S_{21}, ^\circ$	131.069	127.249	135.805	148.363	152.884
$ S_{21} , \text{дБ}$	-1.855	-1.02	-0.07	-0.244	-0.546

Изменяя в модели ϵ от 1.9 до 2.08 с шагом 0.2, получили данные об изменениях модуля и фазы коэффициента передачи в полосе частот.

Используя данные, полученные в эксперименте, и данные математического моделирования можно построить семейство графиков зависимости диэлектрической проницаемости от модуля и фазы коэффициента передачи на различных частотах.

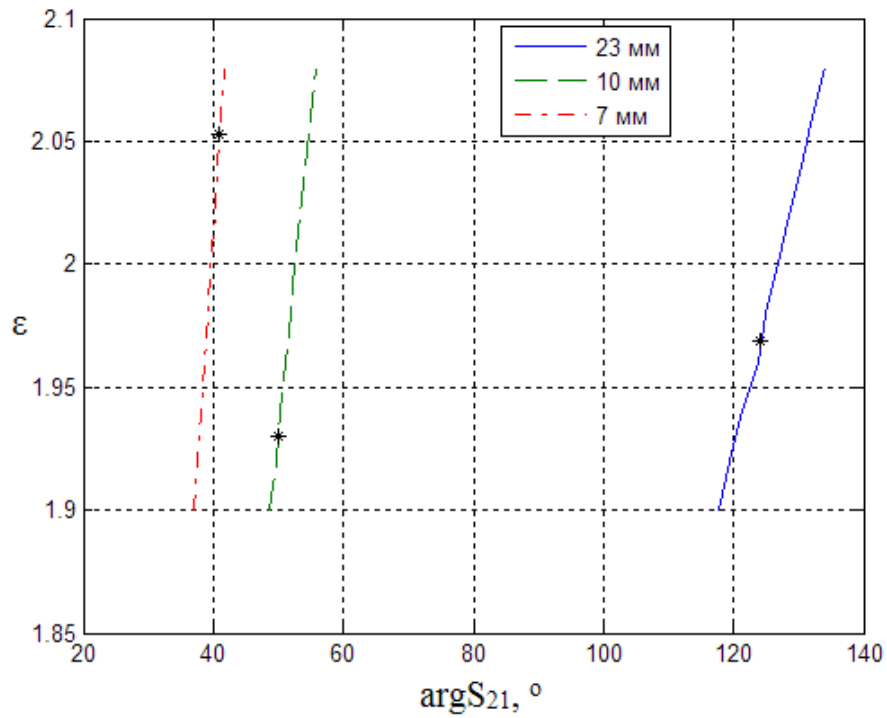


Рис. 5. Зависимость диэлектрической проницаемости от фазы коэффициента передачи на частоте 9 ГГц для заготовок длиной 7 мм, 10 мм и 23 мм.

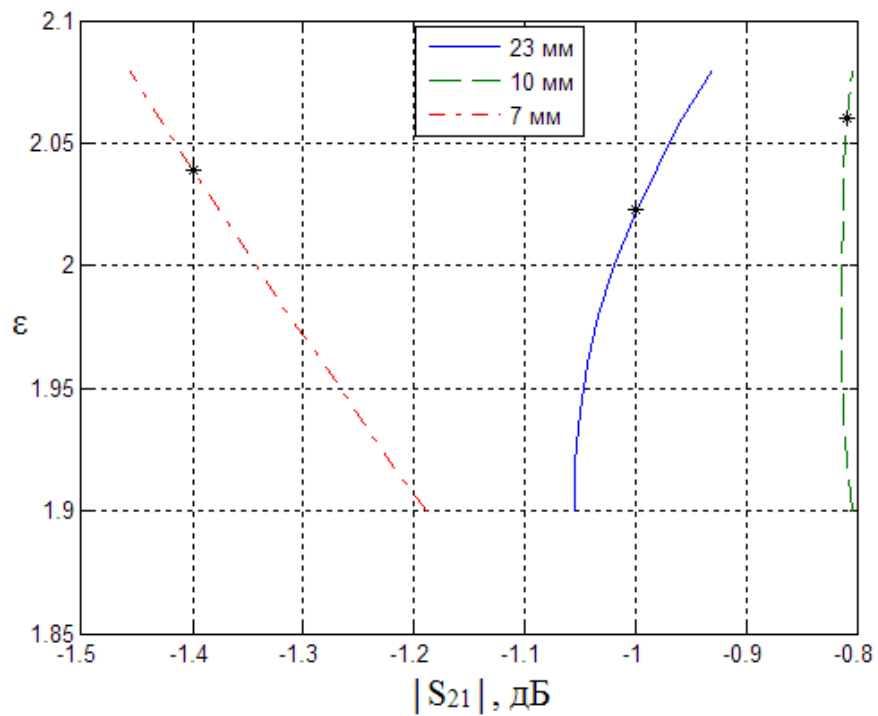


Рис. 6. Зависимость диэлектрической проницаемости от модуля коэффициента передачи на частоте 9 ГГц для заготовок длиной 7 мм, 10 мм и 23 мм.

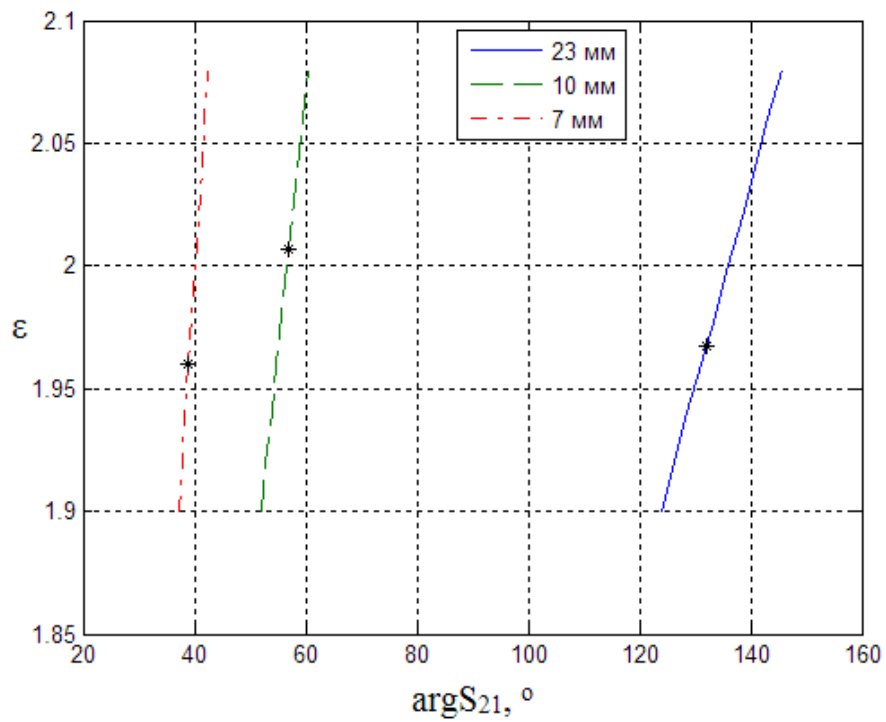


Рис. 7. Зависимость диэлектрической проницаемости от фазы коэффициента передачи на частоте 10 ГГц для заготовок длиной 7 мм, 10 мм и 23 мм.

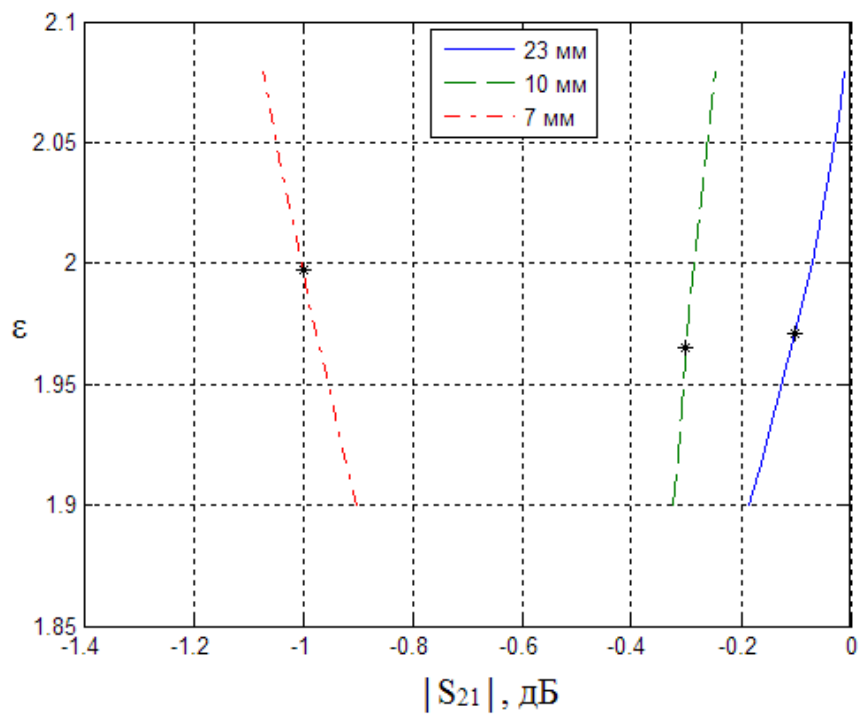


Рис. 8. Зависимость диэлектрической проницаемости от модуля коэффициента передачи на частоте 10 ГГц для заготовок длиной 7 мм, 10 мм и 23 мм.

На графиках точками обозначены значения, полученные в результате эксперимента. Оценка точности измерений составляет $\pm 5\%$, что говорит о допустимости разработанной математической модели.

Библиографический список

1. Сазонов Д.М. и др. Устройства СВЧ: Учеб. пособие/ Под ред. Д.М. Сазонова- М.: Высш. шк., 1981. – 295 с. с илл.
2. Брандт А.А. Исследование диэлектриков на сверхвысоких частотах. М., Физматгиз, 1963 г., 404 с. с илл.
3. Презентация Keysight Technologies на тему “Характеризация параметров материалов от постоянного тока до терагерцового диапазона частот”. Novel Devices and Material Characterization from DC to mm-wave and THz_RUS
4. Agilent technologies “Основы измерения диэлектрических свойств материалов” Заметки по применению.
5. Данилин А.А. Измерения в технике СВЧ: Учеб. Пособие для вузов. – М.: Радиотехника, 2008.-184 с.,ил.