

УДК 537.226

Н.В.Манько (6 курс, каф. ЭИКиК), С.А.Масляков (асп., каф. ЭИКиК),
Ю.А.Полонский, д.т.н., проф.

ВЛИЯНИЕ ВОЗДУШНОГО ЗАЗОРА НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ СВЧ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ ВОЛНОВОДНЫМ МЕТОДОМ

Электромагнитная энергия диапазона сверхвысоких частот (СВЧ) $/10^9 \div 10^{11}$ Гц широко используется в технике, например, в радиолокации, радиосвязи, термоядерной энергетике и других областях. В связи с этим возникает необходимость в изучении параметров диэлектриков на СВЧ при воздействии внешних факторов, в первую очередь, температуры. Для таких исследований используются, в основном, волноводный и резонансный методы, а также группа методов измерений в свободном пространстве.

В данной работе для исследования диэлектрических свойств твердых материалов использовался волноводный метод на длине волны 3,2 см в варианте короткозамкнутого прямоугольного волновода. Большим преимуществом этого варианта метода является возможность сравнительно несложного термостатирования исследуемых образцов, что предоставляет возможность измерения диэлектриков в широком интервале температур. Однако, при температурных измерениях из-за различных значений линейного коэффициента температурного расширения образца и волновода между стенками волновода и образца возникает воздушный (газовый) зазор, увеличивающийся с ростом температуры. Величина этого зазора вдоль широкой стенки волновода значительно влияет на результаты измерений диэлектрической проницаемости (ϵ) и тангенса угла диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta$).

Установка для измерения влияния степени заполнения волновода твердым диэлектриком, примененная в работе, состоит из следующих частей: генератора СВЧ энергии Г4-109, ферритового фазовращателя ЗВВС-101Б, аттенюатора поляризационного волноводного ДЗ-33А, измерительной линии Р1-20, секции образца и измерителя отношения напряжения В8-7. Последнее устройство, будучи подключенным к измерительному зонду в измерительной линии, используется для определения, как положения минимума, так и ширины «двойного» минимума стоячей волны H_{01} в волноводном тракте прямоугольного сечения. Расчет величины $\epsilon_{\text{ист}}$, требовавший решения двух трансцендентных уравнений, учитывающих влияние зазора, производится на ЭВМ с использованием специально разработанной для таких расчетов программы на языке С++. Разработанная программа позволяет находить решение с погрешностью порядка 0,01 % и меньше за время 2-3 с, в то время как при решении той же самой задачи вручную с использованием бумажных справочных таблиц значений функции $\text{tg}x/x$ требовалось более 30 минут на поиск одного корня примерно из десяти корней, обусловленных неоднозначностью $\text{tg}x$.

В измерительный волновод 3-х сантиметрового диапазона со стандартным сечением 10×23 мм² помещались образцы в виде плоскопараллельных пластин из твердого керамического диэлектрика. Использовалась СВЧ керамика на основе оксидов Ва, La, Ti с добавлением оксидов Bi? Mg? Nb? А также керамика на основе оксидов La, Ti. Эти материалы при 20 °С и 10^{10} Гц обладают высокой ϵ_r (около 100 и 40 соответственно). При измерениях изменялась только высота образцов путем механической обработки с использованием абразива, в то время как ширина и толщина оставались постоянными. Первоначальная степень заполнения волновода образцом, составлявшая 0,994 для первого материала и 0,996 для второго, изменялась до 0,710 и 0,630 соответственно. Полученные

результаты для диэлектрической проницаемости подтвердили ранее опубликованные [1] данные и показали применимость разработанных компьютерных программ для оценки влияния газового зазора между образцом и волноводом, в том числе зазора, обусловленного температурным влиянием.

Что же касается величины тангенса угла диэлектрических потерь, то было установлено, что применяемая в литературе соответствующая формула [2] справедлива только в ограниченном интервале значений ϵ_r и коэффициентов заполнения волновода. При этом результаты измерений показали, что, чем выше диэлектрическая проницаемость материала образца, тем сильнее сказывается влияние воздушного (газового) зазора на результаты измерений, как диэлектрической проницаемости, так и диэлектрических потерь. Это необходимо учитывать при высокотемпературных измерениях (более 1000 °С).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Манько Н.В., Масляков С.А., Полонский Ю.А. Влияние степени заполнения волновода диэлектриком на результаты измерений СВЧ диэлектрической проницаемости / Материалы межвузовской научной конференции «XXX Юбилейная Неделя науки СПбГТУ». 26.11-01.12.2001. Ч.2. // СПб: СПбГТУ, 2002. С. 14-15.
2. Геверс М. Определение диэлектрических и магнитных свойств твердых диэлектриков в диапазоне сантиметровых волн / Материалы конференции «Точные электрические измерения». 17.11-20.11.1954, Лондон // М.: ИЛ, 1959. С. 36-54.