

УДК 537.226

**Н.В.Манько (4 курс, каф. ЭИКиК), С.А.Масляков (асп. каф. ЭИКиК),
Ю.А.Полонский, д.т.н., проф.**

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ЗАПОЛНЕНИЯ ВОЛНОВОДА ДИЭЛЕКТРИКОМ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ СВЧ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ

Электромагнитная энергия сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона ($10^9 \div 10^{11}$ Гц) применяется в радиолокации, радиосвязи, бытовой технике (микроволновые печи), в термоядерных реакторах с магнитным удержанием плазмы, электровакуумных приборах, микроэлектронике. В связи с этим возникает необходимость определения СВЧ свойств диэлектриков, используемых в соответствующих электронных приборах и устройствах. При этом диэлектрические материалы, часто подвергающиеся в процессе эксплуатации воздействию повышенных, а в ряде областей применения и сверхвысоких температур (более 2000 °С), должны оставаться радиопрозрачными.

Для изучения параметров диэлектриков на СВЧ используются волноводный, резонансный, оптический методы. Нами был применен волноводный метод на длине волны 3,2 см (9,4 ГГц), большим преимуществом которого является возможность сравнительно легкого термостатирования исследуемых образцов и, следовательно, возможность проведения измерений в широком интервале температур. Однако вместе с этим при температурных измерениях имеет место следующее явление: из-за различных значений линейного температурного коэффициента расширения образца и металла волновода между стенками волновода и образца возникает зазор (β), увеличивающийся с ростом температуры. Величина этого зазора влияет (в основном, зазор между широкими стенками при волне H_{01}) на результаты измерений относительной диэлектрической проницаемости (ϵ), а также, но в меньшей степени, и на результаты измерений диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta$).

Примененная в данной работе установка для оценки влияния степени заполнения волновода диэлектриком на результаты состоит из следующих элементов: генератора СВЧ энергии Г4-109, ферритового фазовращателя ЗВВС-101 Б, аттенюатора поляризационного волноводного ДЗ-33А, измерительной линии Р1-20, измерительного волновода с образцом и измерителя отношения напряжения В8-7. Последнее устройство вместе с измерительной линией используется для определения положения минимума стоячей волны в волноводном тракте. Расчет величины $\epsilon_{\text{ист}}$, требовавший решения двух трансцендентных уравнений, учитывающих влияние зазора, производился на ЭВМ.

В измерительный волновод 3-х сантиметрового диапазона со стандартным сечением 10×23 мм² помещался пакет образцов, состоящий из набора плоскопараллельных пластин из твердого керамического диэлектрика. Использовалась СВЧ керамика на основе оксидов Ва, La, Ti с добавлением оксидов Bi, Mg, Nb. Выбор подобного материала, использовавшегося для моделирования зазора, возникающего при температурных исследованиях, был обусловлен наличием у выбранного диэлектрика при 20°С и 10^{10} Гц высокой ϵ (около $100\epsilon_0$) при

низком $\operatorname{tg}\delta$ (около $20 \cdot 10^{-4}$). Каждая пластина имела следующие размеры: ширина – $2,286 \pm 0,026$ см, высота – $0,105 \pm 0,015$ см, длина – $4,851 \pm 0,034$ см. При моделировании квазиполного заполнения волновода использовался пакет, состоявший из 9 пластин и имевший высоту $0,946 \pm 0,003$ см. Степень заполнения составляла 0,94.

Был проведен ряд измерений, а именно 25, при вышеуказанном квазиполном заполнении пакетом измерительного волновода и произвольном изменении порядка расположения отдельных пластин в пакете. Получены следующие значения диэлектрической проницаемости: $\epsilon_{\text{изм}} = 79,4$; $\epsilon_{\text{ист}} = 93,0$. Опыт с использованием *Al* фольги по уменьшению влияния зазора, имевшегося между широкими стенками волновода и пакета, дал следующие результаты: $\epsilon_{\text{изм}} = 87,5$; $\epsilon_{\text{ист}} = 93,8$. Это подтверждает необходимость учета функции $\beta(T)$.