

УДК 620.179.11

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКРЫТЫХ ДЕФЕКТОВ ДИЭЛЕКТРИКОВ МЕТОДАМИ ЗОНДОВОЙ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЧАСТОТНОГО СПЕКТРА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО СИГНАЛА

А. Л. ЖАРИН, А. К. ТЯВЛОВСКИЙ, К. В. ПАНТЕЛЕЕВ  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
Минск, Беларусь

Бесконтактное неразрушающее выявление и картирование дефектов поверхности диэлектрика средствами зондовой электрометрии основывается на свойстве большинства типов структурных дефектов локально изменять пространственное распределение электрического заряда в своей окрестности, что приводит к изменению регистрируемой электрометрическим зондом контактной разности потенциалов (КРП) [1]. Исключительно высокая чувствительность методов зондовой электрометрии позволяет выявлять дефекты с характерными размерами много меньше размеров отсчетного электрода, в том числе и нанометровых размеров. При этом возникает проблема пространственной локализации выявленных дефектов как по их расположению в плановой проекции поверхности образца, так и по глубине залегания дефектов в толще диэлектрика.

Математическая модель взаимодействия электрометрического зонда с дефектом малых (много меньше поперечных размеров зонда) размеров в толще диэлектрического образца разрабатывалась на основе подхода, использовавшегося ранее при моделировании взаимодействия зонда с точечным дефектом на проводящей плоскости [2]. Основные отличия модели связаны с тем, что при исследовании диэлектриков в измерительной схеме присутствуют не две (поверхность зонда и поверхность образца), а четыре поверхности: рабочая поверхность зонда; верхняя и нижняя поверхности диэлектрического образца; верхняя поверхность проводящего держателя образцов; на которой размещается исследуемый диэлектрический образец. Наличие ненулевой контактной разности потенциалов между зондом и держателем приводит к возникновению на верхней и нижней поверхностях диэлектрического образца дополнительных наведенных зарядов с плотностью  $\sigma'$  и  $-\sigma'$ . Наличие распределенных в пространстве электрических зарядов обуславливает к возникновению в системе электростатического поля напряженностью  $E$  в пространстве между зондом и образцом и  $E'$  в толще образца.

Вибрация электрометрического зонда в направлении, перпендикулярном к поверхности образца, вызывает к модуляции величины воздушного зазора между зондом и поверхностью диэлектрика, что в свою очередь приводит к изменению во времени напряженности электрического поля  $E$  и косвенно, через изменение величины наведенного заряда  $\sigma'$ , к измене-

нию напряженности поля  $E'$ . Решение, описывающих данные изменения уравнений численными методами, показало, что результирующий сигнал электрометрического зонда представляет собой периодическую функцию сложного гармонического состава, соотношение гармоник в спектре которой существенным образом зависит от глубины расположения дефекта в толще диэлектрика (рис. 1).

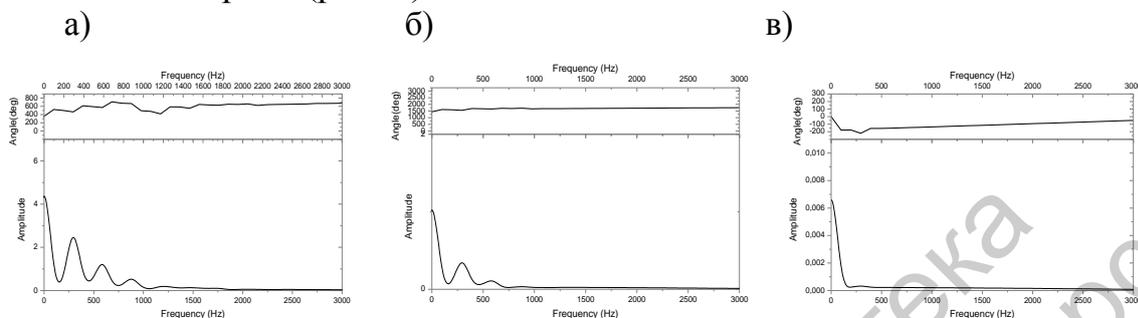


Рис. 1. Зависимость спектра измерительного сигнала от глубины залегания дефекта в диэлектрике. Глубина залегания дефекта  $d_0$ : а – 0,4 мм; б – 0,8 мм; в – 10 мм

Результаты проведенного моделирования позволяют существенно расширить возможности методов зондовой электрометрии при контроле скрытых дефектов диэлектриков. Собственно регистрируемая электрометрическим зондом величина поверхностного потенциала определяется не только глубиной залегания дефекта, но и его эффективным электрическим зарядом, вследствие чего не может использоваться для оценки глубины расположения дефекта. В то же время, последняя с достаточной степенью достоверности может быть определена на основе анализа спектра измерительного сигнала (рис. 1), после чего в измеренную величину поверхностного потенциала может быть внесена поправка на глубину залегания дефекта, что позволяет оценить и его электрический заряд.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Пантелеев, К. В.** Исследование полимерных материалов зарядочувствительным методом / К. В. Пантелеев, Ю. М. Кривогуз, А. Л. Жарин // Приборостроение – 2015: материалы 8-й междунар. науч.-техн. конф. : в 2 т. – Минск : БНТУ, 2015. – Т. 1 – С. 134–136.
2. **Тявловский, А. К.** Математическое моделирование дистанционной зависимости разрешающей способности сканирующего зонда Кельвина / А. К. Тявловский / Приборы и методы измерений. – 2012. – № 1(4). – С. 30–36.