

При изменении расстояния $\Delta d = d_{0\alpha} - d_{0\beta}$ (рисунок 2) между поверхностями эталонного и измеряемого образца (рисунок 2) изменяются амплитуды измерительного сигнала A_1 и A_2 . При этом КРП и, следовательно, потенциал компенсации остаются неизменными.

В этом случае разность между тангенсами углов наклона зависимости измерительного сигнала от потенциала компенсации находится в обратной зависимости от изменения расстояния Δd между обкладками динамического конденсатора:

$$tg\alpha - tg\beta = \varepsilon\omega S d_m \left(\frac{1}{d_{0\alpha}^2} - \frac{1}{d_{0\beta}^2} \right), \quad (8)$$

где α и β – углы наклона компенсационной зависимости от расстояния между обкладками конденсатора $d_{0\alpha}$ и $d_{0\beta}$, соответственно.

В цифровом методе измерения КРП изменение расстояния Δd рассчитывается одновременно со значением КРП в едином измерительном цикле.

Предложенный способ позволяет измерять геометрический профиль поверхности непосредственно в процессе сканирования потенциала поверхности, а также осуществлять автоподстройку расстояния d_0 и автоподвод измерительного зонда к поверхности измеряемого образца.

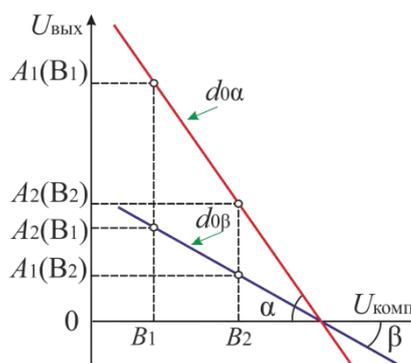


Рисунок 2 – Принцип цифрового определения изменения расстояния между поверхностями эталонного и измеряемого образцов по параметрам компенсационной зависимости

1. Wicinski, M. Lateral resolution in scanning Kelvin probe microscopy / M. Wicinski, W. Burgstaller, A. W. Hassel // Corrosion Science. – 2016. – Vol. 104. – P. 1–8.
2. Blott, B.H. A two frequency vibrating capacitor method for contact potential difference measurement / B.H. Blott, T.J. Lee // Journal of Physics E: Scientific Instruments. – 1969. – Vol. 2, № 9. – P. 785–788.
3. Пантелеев К.В. Цифровой измеритель контактной разности потенциалов / К.В. Пантелеев, А.И. Свистун, А. К. Тьяловский, А.Л. Жарин // Приборы и методы измерений. – 2016. – Т. 7, № 2. – С. 136–144.

УДК 681.2.08

ИЗМЕРЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ЦИФРОВЫМ ЗОНДОМ КЕЛЬВИНА

Пантелеев К.В.¹, Дубаневич А.В.¹, Жарин А.Л.¹, Кравцевич А.В.², Шашура Л.И.²

¹Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

²Гродненский филиал «Научно-исследовательский центр проблем ресурсосбережения» ГНУ «Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси»

Гродно, Республика Беларусь

Традиционно, в случае высокоомных материалов, зонд Кельвина применяют для измерения эффективной поверхностной плотности заряда. Этот параметр является интегральным, т.е. содержащим информацию о суммарном поверхностном и объемном потенциале (заряде). На практике особый интерес представляет их разграничение, которое при отсутствии априорной информации о природе потенциала провести крайне трудно.

Дополнительную информацию о том является ли потенциал поверхностным или объемным можно получить в случае контролируемой статической электризации.

В общем случае механизмы статической электризации могут быть связаны с непосредственным осаждением или внедрением в объем поверхностного слоя заряженных частиц при воздействии ионными пучками и/или электрическими разрядами. Другим механизмом является внешнее и внутреннее трение, например, при деформации твердого тела. Естественный технический характер последних вызывает самостоятельный практический интерес, например, при производстве и эксплуатации электретов, изоляторов аэрокосмической аппаратуры, композитов на основе полимеров для пищевой промышленности и т.д.

Применение зонда Кельвина в качестве диагностического и аналитического инструмента при исследовании электростатического поверхностного потенциала диэлектриков является весьма перспективным. Так при работе совместно со сканирующими системами (Scanning Kelvin Probe) зонд Кельвина позволяет поучить информацию о пространственном распределении потенциала по относительно большой площади поверхности с микрометровым пространственным разрешением.

Метод Кельвина основан на измерении контактной разности потенциалов (КРП), возникающей в воздушном зазоре конденсатора, образованного измеряемой поверхностью и эталонным зондом. Традиционный метод является нулевым, что требует подачи на эталонный образец потенциала компенсации, равного потенциалу измеряемой поверхности. В случае статической электризации, потенциал на диэлектрике может достигать значительных величин, достигающих до десятков и сотен вольт. В этом случае скомпенсировать высоковольтную КРП оказывается трудно выполнимым. Поэтому ранее применение традиционного зонда Кельвина для измерения электростатического потенциала высокоомных материалов было ограничено [1].

В настоящей работе разработан новый метод и алгоритмы измерения КРП. Для его реализации используется микропроцессорный зонд Кельвина [2], разработанный в НИЛ ПТ БНТУ.

Метод так называемого «цифрового» измерения позволяет определять КРП в широком диапазоне возможных потенциалов измеряемого образца, что делает его применимым для исследования электростатического потенциала высокоомных материалов. При этом на эталонный образец подаются потенциалы компенсации разумной величины, не превышающие 10 вольт.

Суть метода заключается в математическом вычислении нулевого уровня сигнала из прямой ветви компенсационной зависимости, проходящей через точку, равную КРП (рисунок 1). Для определения параметров компенсационной зависимости выходного сигнала, микропроцессору достаточно задать, как минимум, два различных напряжения компенсации (B_1 и B_2), определить соответствующие амплитуды переменных выходных сигналов (A_1 и A_2) при заданных напряжениях компенсации, и далее из уравнения прямой, проходящей через две не совпадающие точки, вычислить потенциал компенсации при нулевом уровне сигнала.

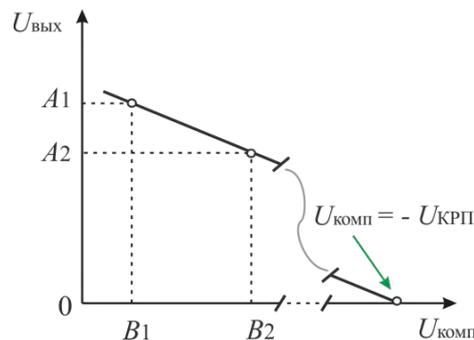


Рисунок 1 – Схематичное представление метода измерения высоковольтного электростатического потенциала (до нескольких сотен вольт) микропроцессорным зондом Кельвина

Предложенный метод обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционным методом измерения КРП:

- зонд Кельвина работает в области «больших» сигналов, когда соотношении сигнал/шум высоко. Это априори повышает точность измерения КРП, а также исключает область неопределенности, имеющуюся в традиционных аналоговых зондах Кельвина.

- выходной сигнал в виде массива точек может быть обработан в режиме реального времени средствами *DSP (Digital Signal Processor)* для дополнительного подавления шумов и паразитных гармоник, а также для статистического вычисления амплитуды (среднеквадратического значения или амплитудного значения спектральной линии сигнала после *FFT (Fast Fourier Transform)*). Что в значительной степени позволяет повысить точность определения параметров компенсационной зависимости и, следовательно, точность измерения КРП.

- отсутствует необходимость определения нулевого уровня сигнала и интеграции, для автокомпенсации измеряемой величины, что значительно уменьшает время измерений и исключает погрешности следящей системы и аналого-цифрового преобразования КРП.

Измерительный цикл для случая измерения электростатического заряда состоит из двух последовательных определений амплитуды выходного сигнала при первом и втором значениях напряжения компенсации с последующим вычислением КРП. При этом напряжения компенсации и модуляция периодических колебаний измерительного зонда задаются микроконтроллером с помощью соответствующего драйвера. Обобщенный алгоритм приведен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Измерительный алгоритм микропроцессорного зонда Кельвина

Результаты экспериментальных исследований приведены на рисунках 3 и 4. В качестве опытных образцов использованы сополимер этилена с винилацетатом (СЭВА) и композит на основе СЭВА с содержанием в качестве проводящей фазы 5 мас.% углеродного наноматериала (УНМ). Образцы получены в НИЦПР НАН Беларуси.

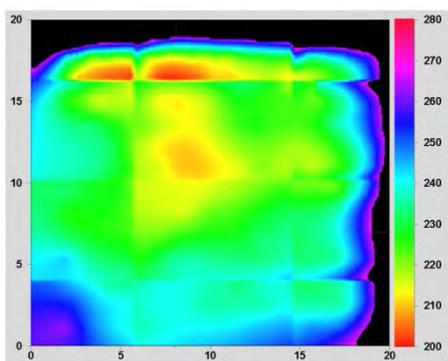


Рисунок 3 – Топология распределения электростатического потенциала у образца СЭВА

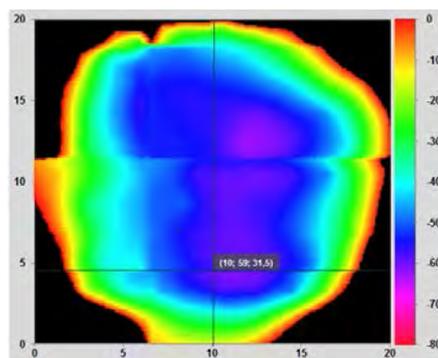


Рисунок 4 – Топология распределения электростатического потенциала у композиционного образца на основе СЭВА с УНМ

У образца СЭВА, характеризующегося диэлектрическими свойствами, электростатический потенциал находится в диапазоне от 200 до 280 мэВ. У композиционного образца СЭВА, наполненного УНМ (в качестве внутреннего антистатика), электростатический потенциал значительно ниже и находится в диапазоне от 0 до – 80 мэВ.

Следует отметить, что неоднородность распределения пространственного заряда может характеризовать не только электрофизические свойства полимеров, но и неравномерность распределения частиц проводящей фазы УНМ в композиционном материале.

1. Subrahmanyam A. The Kelvin Probe for Surface Engineering: Fundamentals and Design / A. Subrahmanyam, S. Kumar. – USA: CRC Press, 2010. – 200 p.
2. Пантелеев К.В. Цифровой измеритель контактной разности потенциалов / К.В. Пантелеев, А.И. Свистун, А. К. Тьяловский, А.Л. Жарин // Приборы и методы измерений. – 2016. – Т. 7, № 2. – С. 136–144.

УДК 621.316.825

ТЕРМОРЕЗИСТИВНАЯ СИСТЕМА СВЧ ВАТТМЕТРА НА ОСНОВЕ ОКСИДНЫХ НИОБИЕВЫХ НАНОСТОЛБИКОВ

Плиговка А.Н., Луферов А.Н., Горох Г.Г.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь,

Современные терморезистивные элементы используются в качестве чувствительного элемента калориметрической системы преобразования СВЧ мощности. Такая система может быть применена в составе эталонного измерителя мощности (ваттметра) [1].

В основу работы системы положен принцип

преобразования мощности СВЧ сигнала в тепловую энергию с последующим измерением величины изменения сопротивления терморезистора, которая пропорциональна падающей на него мощности СВЧ сигнала.

В работах [2, 3] методом магнетронного напыления, электрохимического анодирования и