

УДК 621.38

ИЗМЕНЕНИЕ ЗАРЯДОВОГО СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ

Пантелеев К.В., Воробей Р.И., Тьявловский А.К., Гусев О.К., Жарин А.Л.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассмотрены методики экспериментальных исследований изменения зарядового состояния поверхности полимерных композиционных материалов под действием внешних факторов (оптического излучения) с использованием зарядочувствительного зонда в режиме сканирования поверхности.
Ключевые слова: поверхность, заряд, контактная разность потенциалов, зарядочувствительный зонд.

CHANGES IN THE SURFACE CHARGE OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS UNDER THE ACTION OF EXTERNAL FACTORS

Pantsialeu K., Vorobey R., Tyavlovsky A., Gusev O., Zharin A.

Belarusian national technical university
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper considers the methods of experimental studies of changes in the charge state of the surface of polymer composite materials under the influence of external factors. Charge sensitive probe in surface scanning mode is used for research.

Key words: surface, charge, contact potential difference, charge sensitive probe.

Адрес для переписки: Пантелеев К.В., пр. Независимости, 65, Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: k.pantsialeu@bntu.by

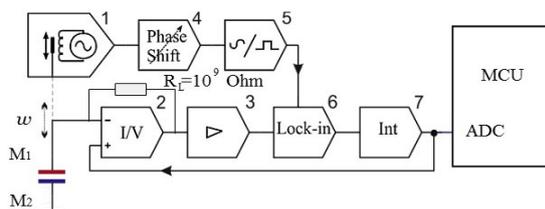
Введение. Наличие в объеме и на поверхности твердого диэлектрика (в т.ч. диэлектрических и проводящих полимерных композиционных материалов (ПКМ)) электростатического потенциала и, следовательно, электрического поля, оказывает существенное влияние на его механические, оптические, электрические параметры, а также на кинетику физико-химических процессов, имеющих место при воздействии на материал внешних факторов (температура, оптическое излучение, механические напряжения и др.) [1, 2]. В этой связи, в настоящее время, особое внимание уделяется разработке новых методов, средств и методик исследования зарядового состояния поверхности диэлектрических материалов, в т.ч. для оценки их эксплуатационных свойств [2].

В работе рассмотрены методики экспериментальных исследований изменения зарядового состояния поверхности ПКМ под действием внешних факторов (оптического излучения) с использованием зарядочувствительного зонда в режиме сканирования поверхности.

Приборы и методы экспериментальных исследований. В качестве средств измерений использован зарядочувствительный зонд (зонд Кельвина). Зарядочувствительный зонд представляет собой бесконтактное неразрушающее устройство (измеритель контактной разности потенциалов по методу Кельвина–Зисмана [3]) с размерами чувствительного элемента порядка 0,1–5 мм², обеспечивающее измерение работы выхода электрона поверхности металлов и сплавов [4], а также собственного или приобретенного

в результате внешнего воздействия электростатического потенциала полупроводников [5] и диэлектрических материалов [6, 7].

В методе Кельвина–Зисмана поверхности эталонного и измеряемого образцов соединены между собой внешней электрической связью и формируют плоскопараллельный конденсатор (рис. 1). Из-за различия РВЭ поверхности материалов пластин конденсатор имеет заряд пропорциональный контактной разности потенциалов между пластинами конденсатора. Под действием электромеханического модулятора эталонный образец вибрирует в перпендикулярной плоскости к контролируемой поверхности, тем самым поверхности образуют динамический конденсатор [3]. Метод применим и для регистрации поверхностного электростатического потенциала (заряда) диэлектрика.



- 1 – электромеханический вибратор;
2 – преобразователь ток-напряжение;
3 – инструментальный усилитель; 4 – фазосдвигатель;
5 – формирователь сигнала; 6 – фазовый детектор;
7 – интегратор; MCU – микропроцессорное устройство; ADC

Рисунок 1 – Структурная схема зарядочувствительного зонда на основе динамического конденсатора [3]

Исследования изменений зарядового состояния поверхности материалов под действием внешних факторов (оптического излучения) выполнены с использованием сканирующей модификации зарядочувствительного зонда [4], оснащенной источниками оптического излучения видимого (400–900 нм) и ультрафиолетового (240–400 нм) диапазонов.

Отработка методик и обсуждение результатов. На рис. 2 приведены результаты исследования фоточувствительности образца ПКМ на основе полиэтилена высокого давления, наполненного углеродными нанотрубками (4 мас.%) и наночастицами алюминия (2 мас.%). Измерения выполняли до и после кратковременного воздействия белым светом в каждой точке сканирования поверхности. В результате обнаружен существенный (до 20 мВ) отклик электростатического потенциала поверхности в отдельных точках исследуемой поверхности.

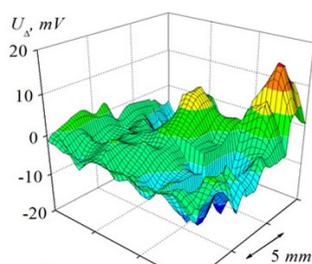


Рисунок 2 – Карта распределения фоточувствительности образца ПКМ на основе ПЭВД (94 мас.%), наполненного углеродными нанотрубками (4 мас.%) и наночастицами алюминия (2 мас.%)

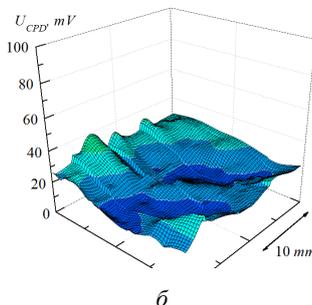
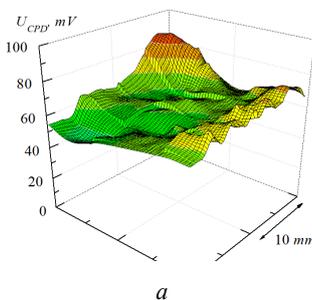


Рисунок 3 – Карты распределения поверхностного электростатического потенциала образца полиамида ПА-6 до (а) и после (б) воздействия излучением ультрафиолетового диапазона

Результаты исследования отклика поверхностного электростатического потенциала ПКМ на воздействие оптическим излучением ультрафиолетового диапазона также показали существенное перераспределение поверхностного потенциала. Результаты данных исследований приведены на рис. 3, а и б, соответственно до и после воздействия.

Исследования параметров распределения поверхностного электростатического потенциала были проведены как на матричных, так и на полимерных композиционных материалах. Анализ результатов показал, что относительные значения поверхностного электростатического потенциала и однородность его распределения существенно зависят как от компонентного состава, так и от концентрации наполнителей. Следует отметить, что количественная характеристика электрофизических свойств, а также их корреляционные связи с другими, например, функциональными свойствами полимерных и композиционных материалов может быть получены только при использовании дополнительных методов исследования поверхности.

Литература

1. The mosaic of Surface Charge in Contact Electrification / Н. Т. Baytekin [et al.] // Science. – 2011. – V. 333. – P. 308–312.
2. Thiago, A. L. Burgo. Chemical Electrostatics. New Ideas on Electrostatic Charging: Mechanisms and Consequences / Thiago A. L. Burgo. – Springer, 2017. – 237 p.
3. Пантелеев, К. В. Методы и средства измерения контактной разности потенциалов на основе анализа компенсационной зависимости зонда Кельвина : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.11.01 / К. В. Пантелеев; БНТУ. – Минск, 2016. – 23 с.
4. Растровая сканирующая фотостимулированная электрометрия для контроля прецизионных поверхностей / Р.И. Воробей [и др.] // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2021. – Вып. 10. – С. 66–73.
5. Influence of rapid thermal treatment of initial silicon wafers on the electrophysical properties of silicon dioxide obtained by pyrogenous oxidation / V.A. Pilipenko [et al.] // High Temperature Material Processes: An International Quarterly of High-Technology Plasma Processes. – 2019. – Vol. 23, iss. 3. – P. 283–290.
6. Digital contact potential probe in studying the deformation of dielectric materials. Informatics / K. Pantišaleyeu [et al.] // Control, Measurement in Economy and Environmental Protection. – 2020. – № 10, vol. 4.– P. 57–60.
7. Пантелеев, К. В. Методы сканирующей зондовой электрометрии в исследовании свойств диэлектрических материалов / Пантелеев К.В., Тявловский А.К., Жарин А.Л. // Перспективные материалы и технологии: монография / Алдошин С. М. [и др.] ; под ред. В. В. Рубаника. – Минск : Изд. центр БГУ, 2021. – С. 125–139.