

УДК 53.08

ДЕФЕКТОСКОПИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДАМИ ЗОНДОВОЙ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ

*К. В. ПАНТЕЛЕЕВ, А. К. ТЯВЛОВСКИЙ, А. И. СВИСТУН,
А. Л. ЖАРИН, А. В. САМАРИНА*

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

UDC 53.08

NON-DESTRUCTIVE TESTING OF POLIMER COMPOSITE MATERIALS BY PROBE ELECTROMETRY TECHNIQUES

*K. Y. PANTSIALEYEU, A. K. TYAVLOVSKY, A. I. SVISTUN,
A. L. ZHARIN, A. Y. SAMARINA*

Аннотация

В работе приводятся методические и экспериментальные результаты исследований влияния светового воздействия на изменение электронной подсистемы полимерных композиционных материалов. В качестве средств контроля применен сканирующий зонд Кельвина. Методика контроля основана на анализе неоднородности электропотенциального профиля и пространственного распределения фото-ЭДС.

Ключевые слова:

сканирующий зонд Кельвина, контактная разность потенциалов, электростатический потенциал, фото-ЭДС, полимер.

Abstract

The paper describes methodical and experimental results of studies of the light action on the electronic subsystem of polymer composites. For monitoring, the Scanning Kelvin probe is used. An analysis of the electropotential profile heterogeneity and the surface photovoltage is the basis of the control technique.

Key words:

scanning Kelvin probe, contact potential difference, electrostatic potential, photovoltage, polymers.

Введение

Рассматриваемая в работе методика экспериментальных исследований полимерных композиционных материалов базируется на традиционных технологиях контроля и диагностики полупроводниковых материалов и промышленных изделий, основанных на комбинации методов контактной разности потенциалов (КРП) и фотоэмиссионных методов. Наиболее широкое распространение получили следующие технологии [1]: SPV-SKP (Surface Photovoltage Scanning Kelvin Probe), JPV-SKP (Junction Photovoltage Scanning Kelvin Probe), SPS (Surface Photovoltage Spectroscopy). Коммерческим производством таких систем занимаются всего несколько компаний: Semilab Co., Ltd. (Швеция), KP Technology, Ltd. (Великобритания), Semi-

conductor Diagnostics, Inc. и RCA Corporation (США). В НИЛ полупроводниковой техники БНТУ разработки в области приборов и методов зондовой электрометрии, а также методик неразрушающего контроля и диагностики прецизионных поверхностей полупроводников и металлов, в том числе для трибометрии, ведутся на протяжении более 20 лет.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований показывают, что методы КРП применимы и к диэлектрическим материалам [2]. В случае диэлектриков контролируемым параметром является собственный и (или) приобретенный в результате внешних воздействий электростатический потенциал (заряд). Наличие в объеме и на поверхности диэлектрика потенциала оказывает существенное влияние на его механические, физико-химические, электрофизические и др. свойства. При этом в литературных источниках отмечается, что измерение конкретных физических параметров методами КРП затруднено из-за неоднозначности зависимости измерительного сигнала от комплекса физических и химических свойств контролируемого объекта. Информативность контроля может быть повышена путем использования дополнительных внешних воздействий на контролируемый объект, например, световое воздействие или заряджение в коронном разряде.

Целью работы является изучение закономерностей фотостимулированного изменения электронной структуры полимерных композитов методами зондовой электрометрии.

Материалы

Исследования проводили на образцах, изготовленных на базе полимерной матрицы полиэтилена высокого давления (ПЭВД) марки 12203-250, промышленно выпускаемого заводом «Полимир» ОАО «Нафтан». Данная марка ПЭВД характеризуется высоким индексом текучести расплава (25 г/10 мин), поэтому применяется для получения концентратов красителей, т.е. высоконаполненных полимерных систем. Для получения образцов композитов в качестве наполнителей использованы углеродный наноматериал (УНМ) и наночастицы диоксида кремния (SiO_2). УНМ – продукт пиролиза углеродсодержащих газов в каталитическом кипящем слое, получаемый в лаборатории «Дисперсных систем» ИТМО НАН Беларуси. Предполагается, что наночастицы диоксида кремния способствуют ограничению агрегации УНМ и формированию более совершенного проводящего кластера в объеме полимерного образца.

Приборы и методы измерения

Экспериментальные исследования фотостимулированного изменения электронной подсистемы композитов проводили на специализированной сканирующей установке, разработанной в НИЛ полупроводниковой техники БНТУ. Установка оснащена измерителем КРП (зонд Кельвина) по методу Кельвина–Зисмана [3] и источником оптического излучения, что позволяет, помимо измерения распределения потенциала, измерять поверхностную фото-ЭДС.



Система сканирования построена на основе трех линейных приводов перемещения. Приводы ориентированы по трем взаимно ортогональным направлениям. Два привода обеспечивают горизонтальное перемещение предметного столика с закрепленным на нем образцом. Третий привод обеспечивает вертикальное перемещение зонда Кельвина. Образец фиксируется на держателе с помощью вакуумного прижима. Закрепленная на приводе вертикального перемещения консоль, служит для монтажа зонда Кельвина и источника оптического излучения. Зонд Кельвина с помощью привода вертикального перемещения автоматически подводится к измеряемой поверхности на заданном удалении от нее. Процедура сканирования заключается в перемещении предметного столика, с закрепленным на нем образцом, с помощью двух приводов горизонтального перемещения.

Измерительный цикл выполняется в следующем порядке. После установки зонда над измеряемой поверхностью производится отсчет и запоминание значения КРП U_{CPD} . Затем на участок поверхности под зондом Кельвина воздействуют оптическим излучением. По достижении установившегося значения КРП источник оптического излучения отключается и результат измерения сохраняется. Далее осуществляется вычисление поверхностной фото-ЭДС U_{SPV} , как разность значений КРП до и после воздействия светом. Измерительный процесс полностью автоматизирован.

Результаты исследования

Результаты экспериментальных исследований образцов исходного ПЭВД марки 12203-250 и полимерного композита ПЭВД (97 мас. %) + УНМ (2 мас.%) + SiO_2 (1 мас.%) по параметрам пространственного распределения электростатического потенциала и фото-ЭДС представлены на рис. 1–4 соответственно.

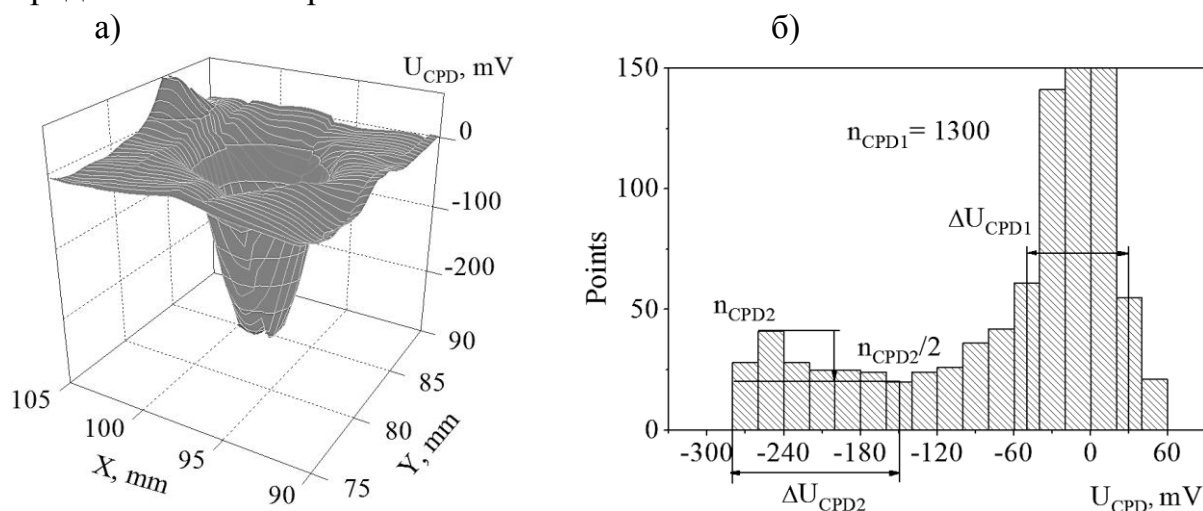


Рис. 1. Электропотенциальный рельеф (а) и гистограмма пространственного распределения электростатического потенциала (б) образца исходного ПЭВД

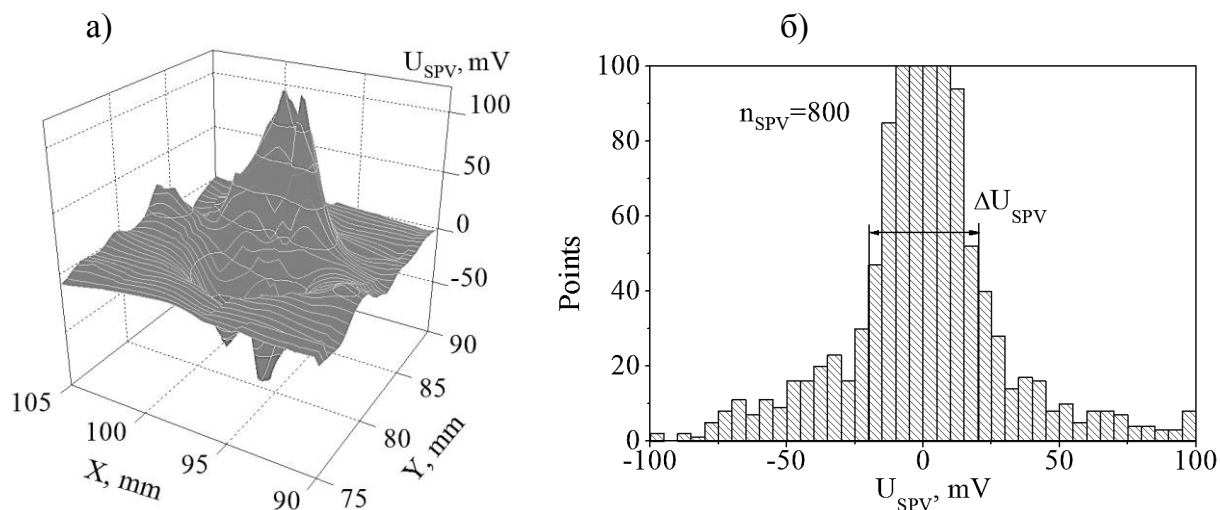


Рис. 2. Визуализированное изображение (а) и гистограмма (б) пространственного распределения фото-ЭДС образца исходного ПЭВД

Обработка результатов включает построение карт и гистограмм пространственного распределения относительных значений электростатического потенциала и фото-ЭДС, определение математического ожидания значений потенциала и полуширины гистограммы распределения.

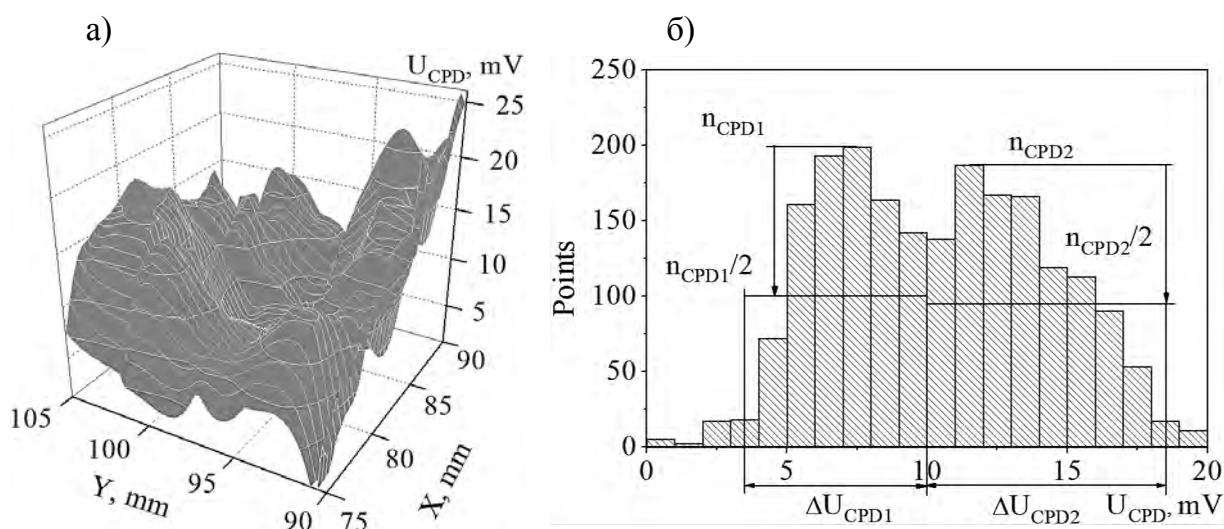


Рис. 3. Электорпотенциальный рельеф (а) и гистограмма пространственного распределения электростатического потенциала (б) образца композита ПЭВД (97 мас.%) + УНМ (2 мас.%) + SiO₂ (1 мас.%)

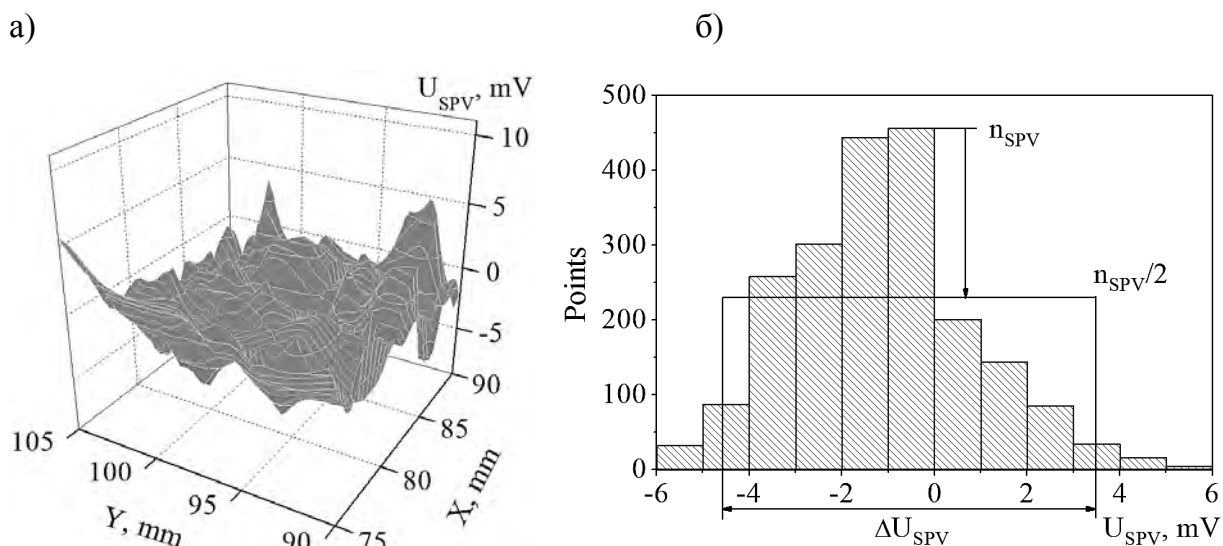


Рис. 4. Визуализированное изображение (а) и гистограмма (б) пространственного распределения фотоЭДС образца ПЭВД (97 мас.%) + УНМ (2 мас.%) + SiO₂ (1 мас.%)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Schroder, D. K.** Semiconductor material and device characterization / D. K. Schroder. – New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2006. – 779 p.
2. Методы исследования полимеров на основе зондового картирования электростатического потенциала / К. В. Пантелеев [и др.] // Перспективные материалы и технологии: материалы Четвертого междунар. симпозиума, Витебск, 22–26 мая 2017 г. / Витеб. гос. техн. ун-т ; редкол. : В. В. Клубович (гл. ред.) [и др.]. – Витебск, 2017. – С. 27–29.
3. **Пантелеев, К. В.** Построение измерителей контактной разности потенциалов / К. В. Пантелеев, В. А. Микитевич, А. Л. Жарин // Приборы и методы измерений. – 2016. – Т. 7, № 1. – С. 7–15.

E-mail: nilpt@tut.by