

УДК 620.19:57.086

## ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ ПОДЛОЖЕК ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ОСНОВЕ ИЗМЕРЕНИЙ РАБОТЫ ВЫХОДА ЭЛЕКТРОНА

Тявловский А.К.<sup>1</sup>, Жарин А.Л.<sup>1</sup>, Пантелеев К.В.<sup>1</sup>, Микитевич В.А.<sup>1</sup>, Цедик Л.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup>ГНУ «Институт порошковой металлургии»

Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Рассмотрено использование метода сканирующего зонда Кельвина для характеристики процессов адсорбции препаратов для биологических исследований на подложке с наноструктурированной поверхностью. Измерения пространственного распределения работы выхода электрона с поверхности до нанесения биологического препарата позволяют характеризовать однородность распределения адгезионных свойств подложки. Аналогичные измерения после нанесения препарата характеризуют исключительно сам препарат.

**Ключевые слова:** работа выхода электрона, сканирующий зонд Кельвина, поверхность, адгезия.

## CHARACTERISATION OF SUBSTRATES FOR BIOLOGICAL RESEARCH USING ELECTRON WORK FUNCTION MEASUREMENTS

Tyavlovsky A.<sup>1</sup>, Zharin A.<sup>1</sup>, Pantsialeu K.<sup>1</sup>, Mikitsevich U.<sup>1</sup>, Tsedzik L.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Belarusian National Technical University

<sup>2</sup>SSI "Powder Metallurgy Institute"

Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** Scanning Kelvin probe technique was applied to the characterization of the processes of preparations for biological research adsorption on a substrate with a nanostructured surface. Measurements of the spatial distribution of the electron work function before applying the biological preparation were used to characterize the uniformity of the distribution of the adhesive properties of the substrate. Similar measurements after biological preparation application relate only to the preparation itself.

**Key words:** Electron Work Function, Scanning Kelvin Probe, Surface, Adhesion.

Адрес для переписки: Тявловский А.К., пр. Независимости, 65, Минск 220113, Республика Беларусь  
e-mail: tyavlovsky@bntu.by

При выращивании клеточных культур для биологических исследований достигаемый результат в значительной степени определяется адгезией клеточной культуры к поверхности используемой для ее выращивания подложки. Выбор материала подложки ограничен требованиями биологической нейтральности, при этом адгезионная способность поверхности зависит не только от ее химического состава, но и от микрогеометрии и микроструктуры (соотношения аморфной и кристаллической фазы, кристаллографической ориентации кристаллитов).

Проведенные ранее исследования показали наличие выраженной взаимосвязи между адгезией клеточной культуры к поверхности алумоборосиликатных стекол и относительными значениями работы выхода электрона (РВЭ) с поверхности, измеряемыми по методу сканирующего зонда Кельвина [1]. Данный метод обеспечивает полностью бесконтактные исследования с возможностью построения карты распределения РВЭ по поверхности.

В рассматриваемом случае РВЭ определяется как разность энергии электрона на бесконечном удалении от поверхности  $E_0$  и уровнем Ферми поверхности  $E_F$ :

$$\phi = E_0 - E_F. \quad (1)$$

При измерениях по методу сканирующего зонда Кельвина вместо величины  $E_0$  выступает уровень Ферми поверхности чувствительного элемента электрометрического зонда  $E_{F0}$ . Вследствие этого такие измерения являются не абсолютными, а относительными.

Согласно модели электростатических сил, РВЭ в первом приближении (без учета влияния двойного электрического слоя на поверхности) определяется видом атомов, составляющих поверхность, и их взаимным расположением в поверхностном слое. В соответствии с этой моделью РВЭ, как и сила адгезии, увеличивается с увеличением плотности упаковки атомов на поверхности, что подтверждают приводимые в научной литературе результаты математического моделирования [2]. Экспериментально установлено, что для поверхностей кристаллов меди с различной кристаллографической ориентацией, отличающихся только плотностью упаковки атомов, но не их видом, различие РВЭ может достигать 590 мэВ [3]. Характеризующая адгезию сила межатомного взаимодействия, измерявшаяся в том же исследовании при помощи атомно-силового микроскопа, изменяется при этом в 1,23 раза и находится в обратной зависимости от РВЭ [3], причем приращение силы адгезии соотносится с изменением РВЭ практически линейно.

С учетом этих данных были выполнены экспериментальные исследования адгезионной способности подложек для выращивания клеточных культур, изготовленных из наноструктурированного капролоктона. Исследования выполнялись по методу сканирующего зонда Кельвина с использованием макетного образца установки сканирующей зондовой электрометрии. Развитая структура поверхности, как предполагалось, должна была значительно улучшить адгезионную способность капролоктона, однако исключала измерение силы адгезии прямыми методами.

Выполнение исследований в режиме сканирования позволило достичь качественно нового результата, а именно не только оценить адгезионную способность нового материала по параметру РВЭ, но и определить однородность ее распределения по поверхности подложки, что оказывает существенное влияние на рост клеточной культуры [1].

Измерения выполнялись на участке подложки размерами 50×50 мм с пространственным разрешением (шагом сканирования) 0,5 мм.

На рис. 1 представлена визуализированная карта распределения значений контактной разности потенциалов (КРП)  $U_{CPD} = E_F - E_{F0}$ . Учитывая, что, как следует из (1), величина  $U_{CPD}$  имеет противоположный по отношению к РВЭ знак, более высокие значения на карте соответствуют меньшим значениям РВЭ и, соответственно, большей адгезионной способности.

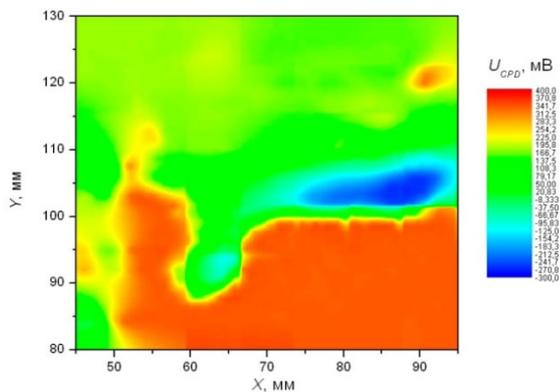


Рисунок 1 – Визуализация распределения РВЭ поверхности наноструктурированного капролоктона

Исследуемый образец демонстрирует высокую неоднородность электрофизических свойств поверхности и ее адгезионной способности. При этом минимальные значения  $U_{CPD}$  на приведенной карте соответствуют или незначительно превышают таковые для неструктурированного капролоктона, тогда как на существенной части поверхности наблюдается повышение значений КРП на 200 мВ и более, что говорит о значительном улучшении адгезионных свойств на этих участках.

Далее на тот же участок поверхности было нанесено 0,05 мл изотонического раствора NaCl 9 мг/л и выполнены повторные исследования пространственного распределения РВЭ до и после высыхания раствора. Результат исследований для свеженанесенного раствора представлен на рис. 2.

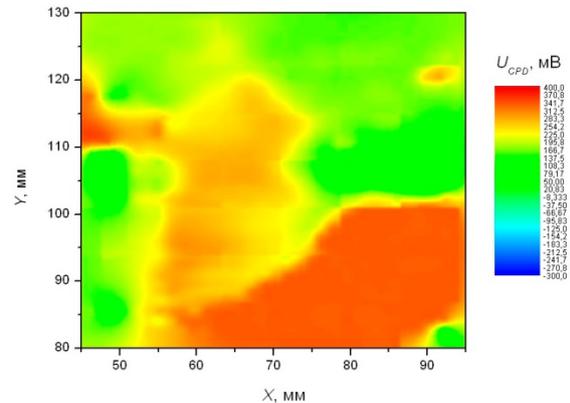


Рисунок 2 – Принцип действия волоконно-оптического датчика приближения

Можно видеть, что величина РВЭ в месте нанесения раствора не зависит от начальной РВЭ подложки: измеренные значения одинаковы как для участков с большей, так и с меньшей адгезией. После высыхания раствора значения РВЭ и картина их распределения практически не изменились. Данный результат объясняется исключительно высокой поверхностной чувствительностью метода сканирующего зонда Кельвина, измерительный сигнал которого формируется только несколькими поверхностными атомарными слоями в пределах Дебаевской длины экранирования. Таким образом, метод сканирующего зонда Кельвина позволяет отдельно исследовать адгезионную способность подложки (субстрата) перед нанесением клеточной культуры и электрофизические свойства нанесенного препарата без необходимости учета искажений, вносимых электрофизическими свойствами субстрата.

#### Литература

1. Выбор базовой подложки для изучения взаимодействия в системе клетка-поверхность методом измерения контактной разности потенциалов / А. К. Тявловский [и др.] // Материалы VIII Московского международного конгресса «Биотехнология: состояние и перспективы развития» 17-20 марта 2015. – М.: ЗАО «ЭКСПО-биохим-технологии», РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2015. – С. 232–234.
2. Haas, G. A. Work function and secondary emission studies of various Cu crystal faces / G. A. Haas, R. E. Thomas // Journal of Applied Physics. –1977. – Vol. 48. – P. 86.
3. Li, D. Y. Electron work function: A parameter sensitive to the adhesion behavior of crystallographic surfaces / D. Y. Li, W. Li // Appl. Phys. Lett. – 2001. – Vol. 79, № 26. – P. 4337.