

УДК 621.382

СОПОСТАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ И АНАЛОГОВЫХ МЕТОДОВ ЗОНДОВОЙ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ ПОКРЫТИЙ ИЗ ПОРИСТОГО АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Тявловский А.К.¹, Жарин А.Л.¹, Шаронов Г.В.², Мухуров Н.И.³, Воробей Р.И.¹, Гусев О.К.¹, Свистун А.И.¹, Микитевич В.А.¹

¹Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

²Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко БГУ

Минск, Республика Беларусь

³ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника»

Минск, Республика Беларусь

Развитие нанотехнологий, связанное, в частности, с созданием многофункциональных наноструктурированных покрытий, требует разработки соответствующих методов контроля для анализа качества технологических процессов. Значительное распространение в настоящее время получили алмазоподобные наноструктурированные покрытия из пористого анодного оксида алюминия (ПАОА). К существенным особенностям таких покрытий, с точки зрения их исследования и контроля, следует отнести высокую однородность, малую толщину покрытия, резкое отличие электрофизических и иных свойств покрытия от свойств подложки, на которой оно сформировано, малые размеры подлежащих выявлению дефектов. При этом характерные размеры изделий с наноструктурированными покрытиями могут достигать десятков сантиметров, что приводит к требованию выполнения контроля наноразмерных дефектов на макроскопических масштабах.

Отсюда следует, что метод контроля наноструктурированных покрытий из ПАОА должен быть поверхностно-чувствительным, обладать высокой обнаружительной способностью, обеспечивать контроль на достаточной большой (макроскопической) площади поверхности и являться неразрушающим. Как было показано ранее [1], данным требованиям удовлетворяют методы зондовой электрометрии, основанные на регистрации пространственного распределения относительных значений работы выхода электрона с поверхности с помощью бесконтактного сканирующего зонда Кельвина. Результатами контроля с использованием данных методов являются визуализированная карта распределения относительных значений работы выхода электрона (РВЭ) по контролируемой поверхности и гистограмма распределения этих значений. Данный метод контроля не является абсолютным, поскольку выходной сигнал зонда Кельвина определяется разностью значений РВЭ чувствительного элемента зонда и контролируемого участка поверхности. Первая из этих величин не может быть определена независимым методом, однако может рассматриваться как константа преобра-

зователя, что позволяет сопоставлять результаты, полученные с помощью одного и того же преобразователя в одних и тех же условиях, например, путем анализа полуширины гистограммы распределения значений РВЭ, однако исключает непосредственную интерпретацию полученных значений – в частности, не имеет диагностического значения и не может быть использовано как характеристика поверхности математическое ожидание относительных значений РВЭ.

Для сокращения времени контроля макроскопических поверхностей с сохранением высокого пространственного разрешения была предложена и реализована конструкция цифрового электрометрического зонда Кельвина [2]. Особенностью цифрового зонда является определение значений измеряемой величины косвенным методом на основе вычислений, выполняемых в автоматическом режиме, что позволяет выполнять измерения в режиме большого сигнала, исключив из схемы инерционную цепь обратной связи.

На рисунке 1 приведены результаты исследования пространственного распределения относительных значений РВЭ алюминиевой пластины с покрытием из ПАОА с использованием цифрового зонда. Исследуемый образец представлял собой круглую пластину диаметром 100 мм, покрытие в районе базового среза пластины частично отсутствовало.

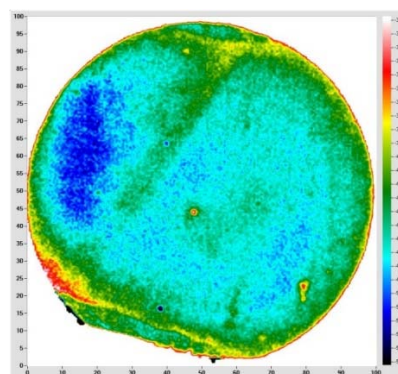


Рисунок 1 – Результаты исследования пространственного распределения РВЭ поверхности покрытия из ПАОА на алюминии с использованием цифрового зонда Кельвина

Пространственное разрешение полученного визуализированного изображения составило 0,5 мм. Условные цвета точек (пикселей) изображения соответствуют зарегистрированным значениям контактной разности потенциалов (КРП), имеющим обратный по отношению к РВЭ знак. Таким образом, участки с наибольшими значениями КРП соответствуют наименьшим значениям РВЭ и наоборот. Шаг дискретизации значений КРП составлял 2 мВ. На изображении четко выделяются точечные дефекты, характеризующиеся резко повышенными значениями КРП и, соответственно, пониженными значениями РВЭ. Помимо этого, на изображении прослеживается повышенная неоднородность электрофизических свойств поверхности ПАОА, особенно в районе базового среза пластины (нижняя часть изображения), где покрытие нарушено. Также обращает на себя внимание протяженная область в виде полосы с пониженными значениями РВЭ, пересекающей пластину по хорде, при этом сами значения отличаются от РВЭ поверхности в целом на меньшую величину, чем РВЭ точечных дефектов. Можно предположить, что в данном случае имеет место структурный дефект покрытия, тогда как точечные дефекты соответствуют поверхностным загрязнениям.

Дополнительно были выполнены исследования пространственного распределения РВЭ того же образца с использованием аналогового электрометрического зонда Кельвина, реализующего традиционный компенсационный метод измерений. Пространственное разрешение полученного визуализированного изображения составило 1,2 мм. При таких настройках суммарное время выполнения исследований, вследствие большой постоянной времени установления сигнала в компенсационном режиме, превысило 3 ч, что исключало возможности уменьшения шага сканирования и улучшения пространственного разрешения. Результаты исследования показаны на рисунке 2.

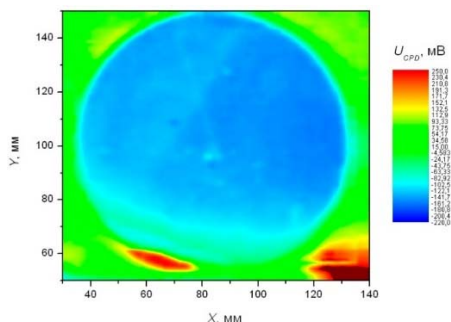


Рисунок 2 – Визуализация пространственного распределения РВЭ поверхности того же образца, выполненная с использованием аналогового зонда

Можно видеть, что полученные с помощью цифрового и аналогового зондов визуализированные изображения пространственного распре-

деления относительных значений РВЭ качественно соответствуют друг другу, однако различаются как по степени детализации, так и по зарегистрированным количественным значениям КРП. Последнее объясняется различием значений РВЭ чувствительных элементов использованных зондов и не связано с методом обработки сигнала.

Ряд мелких дефектов поверхности ПАОА, выявленных на первом визуализированном изображении (рисунок 1), не проявляется на втором (рисунок 2), что можно объяснить более низкой разрешающей способностью сканирования при использовании компенсационного аналогового метода измерений. В то же время, на втором изображении наблюдается дополнительный элемент в виде линии (дефекта), идущей вверх и влево от центра образца. В связи с этим необходимо отметить, что после получения приведенного на рисунке 1 визуализированного изображения были выполнены исследования обратной стороны образца, в процессе которых он располагался лицевой стороной на держателе – вакуумной присоске, причём расположение указанного элемента на изображении рисунка 2 соответствует положению желоба на поверхности держателя. Таким образом, данную особенность визуализированного изображения следует атрибутировать на счет манипуляций с образцом в процессе измерений. В подтверждение можно привести визуализированное изображение РВЭ тыльной стороны того же образца, полученное с использованием цифрового зонда (рисунок 3). На изображении хорошо видны следы микродеформаций поверхностного слоя в районе четырех круглых углублений в поверхности держателя, предназначенных для размещения крепежных винтов.

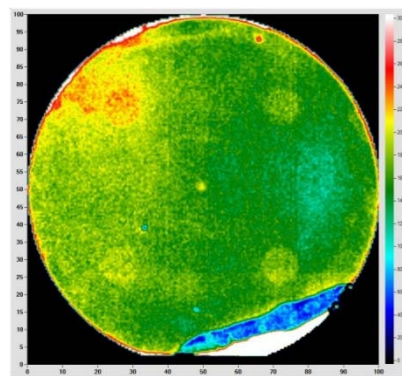


Рисунок 3 – Визуализация пространственного распределения РВЭ тыльной поверхности образца с покрытием из ПАОА

Сопоставление полученных результатов показало, что цифровой метод обработки сигнала обеспечивает более высокое разрешение по значениям РВЭ при более высокой детализации визуализированного изображения по сравнению с аналоговым компенсационным методом измере-

