

АНАЛИЗ ВИЗУАЛИЗИРОВАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Гусев О.К.¹, Жарин А.Л.¹, Тявловский А.К.¹, Тявловский К.Л.¹, Воробей Р.И.¹, Мухуров Н.И.²

¹Белорусский национальный технический университет

²ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника»

Минск, Республика Беларусь

Задачей исследования являлось обеспечение контроля электрофизических свойств поверхности и качества элементов прецизионных сеток с высоким пространственным разрешением на основе использования средств зондовой электротометрии. Контроль осуществляется на основе бесконтактных измерений пространственного распределения электрического потенциала (контактной разности потенциалов, КРП) исследуемой поверхности и определения статистических характеристик такого распределения. В качестве измерительного преобразователя используется сканирующий электротометрический зонд Кельвина, результаты контроля представляются в виде визуализированной карты распределения электрофизических параметров с кодированием их значений условными индексными цветами. Значение измеряемой контактной разности потенциалов определяется разностью значений работы выхода электрона (РВЭ) зонда и поверхности образца в данной точке поверхности. Поскольку РВЭ является высокочувствительным параметром по отношению к любым нарушениям структуры поверхности, выявление на визуализированном изображении отклонений локальных значений этого параметра от средних для данной поверхности позволяет неразрушающим способом выявлять и локализовать дефекты поверхностей, в том числе прецизионных [1].

Примеры визуализированных изображений пространственного распределения электрофизических свойств прецизионных поверхностей элементов прецизионных сеток для сенсорных устройств (датчиков потока космической плазмы), полученных с помощью разработанной методики, приведены на рисунках 1-3. В соответствии с методикой контроля, при анализе изображений используются гистограммы распределения значений КРП, вид которых для указанных изображений приведен на рисунках 4-6.

На основании теоретического моделирования и сопоставления экспериментально полученных результатов исследования пространственного распределения электрофизических свойств прецизионных поверхностей с данными других методов исследования (измерений поверхностной микротвердости, износостойкости, металлографического исследования и др.) [2-4] были сформулированы критерии анализа получаемых визуализированных изображений, краткая суть которых сводится к следующему:

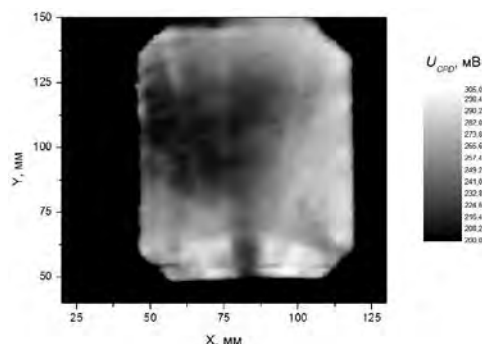


Рисунок 1 – Визуализация распределения электрофизических свойств образца № 1

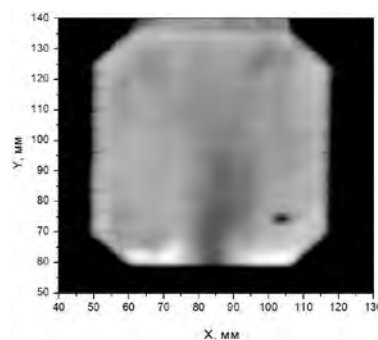


Рисунок 2 – Визуализация распределения электрофизических свойств образца № 7

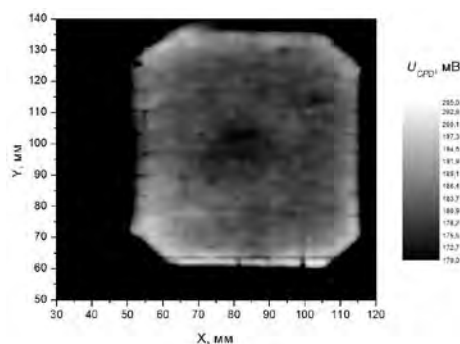


Рисунок 3 – Визуализация распределения электрофизических свойств образца № 14

1. Более высоким качеством обладают поверхности, характеризующиеся большей однородностью распределения электрофизических свойств (меньшей полушириной гистограммы распределения). Из приведенных примеров наибольшим качеством характеризуется поверхность образца № 14 (полуширина гистограммы

распределения 5 мВ), а наименьшим - № 1 (полуширина гистограммы распределения 23 мВ).

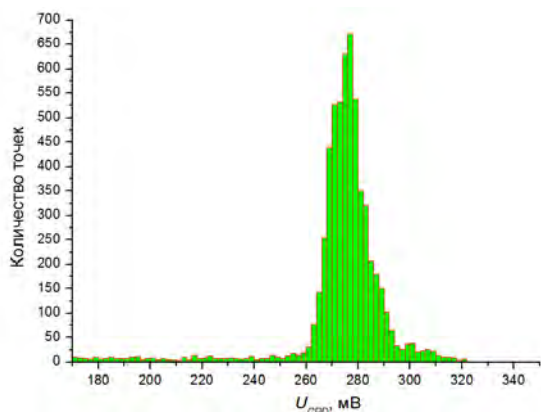


Рисунок 4 – Гистограмма распределения электрофизических свойств образца № 1

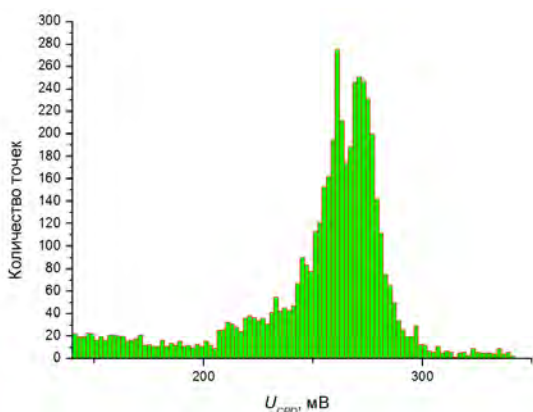


Рисунок 5 – Гистограмма распределения электрофизических свойств образца № 7

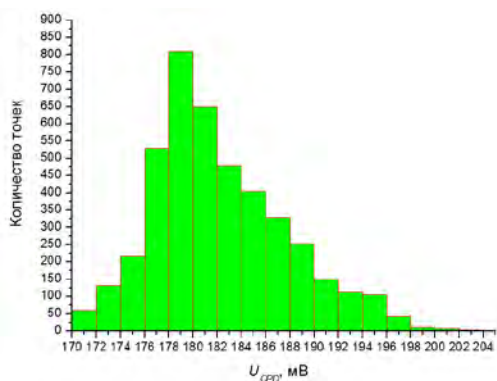


Рисунок 6 – Гистограмма распределения электрофизических свойств образца № 14

2. Наибольшей механической прочностью и в целом лучшими механическими свойствами, при прочих равных условиях, обладают поверхности с наиболее низкими значениями контактной разности потенциалов, что соответствует наибольшим значениями работы выхода электрона и по-

верхностной энергии. В данном случае наибольшую микротвердость поверхности демонстрирует образец № 14, характеризующийся средним значением КРП поверхности 179 мВ.

3. Наличие второй моды в гистограмме распределения значений контактной разности потенциалов указывает на наличие значимых по площади дефектных областей на соответствующей поверхности образца.

4. На визуализированных изображениях распределения электрофизических свойств поверхности можно с высокой степенью достоверности выделить следующие основные типы дефектов:

а) Плавное изменение значений контактной разности потенциалов к краю или определенной (как правило, крупной по площади) области образца указывает на неравномерность формирования покрытия поверхности. В приведенных примерах данный дефект в различной степени наблюдается на всех трех образцах.

б) Локальные изменения значений контактной разности потенциалов, как правило, в сторону их повышения, указывают на загрязнение поверхности адсорбированными инородными атомами или молекулами. В частности, лучеобразные расходящиеся линии на визуализированном изображении образца № 1 могут являться следами течения капель жидкости при промывке и/или просушке поверхности.

в) Локальные понижения значений контактной разности потенциалов, прослеживаемые на обеих (верхней и нижней) поверхностях образца, отражают остаточные механические напряжения и/или пластические деформации в материале образца. В частности, в числе приведенных примеров данный дефект прослеживается вдоль продольной оси образца № 7.

1. Жарин А.Л., Зондовая электрометрия как метод визуализации потенциального рельефа поверхности функциональных материалов / А.Л. Жарин, О.К. Гусев, Р.И. Воробей, А.К. Тявловский, К.Л. Тявловский, А.И. Свистун, А.В. Дубаневич // Актуальные проблемы физики твердого тела: сб. докл. Междунар. Научн. конф. / под ред. Н.М. Олехновича. – Мн.: Ковчег, 2013. – С. 274-276.
2. Пантелеев К.В., Свистун А.И., Жарин А.Л. Диагностика локальных изменений пластической деформации по работе выхода электрона. // Приборы и методы измерений. 2015, № 1 (10). – С. 56-63.
3. Шаронов Г.В., Жарин А.Л., Мухуров Н.И., Пантелеев К.В. Контроль металлических поверхностей, обработанных алмазным наноточением, по работе выхода электрона // Приборы и методы измерений. 2015, № 2 (10). – С. 196-203.

4. Пантелеев К.В., Свистун А.И., Жарин А.Л. Экспериментальные исследования локализации деформации в металлах по топологии работы выхода электрона /

Перспективные материалы и технологии: Материалы 4-го междунар. симпозиума. – Витебск, ВГТУ. 2015. – С. 270-273.

УДК 681

УРАВНЕНИЯ ДИНАМИКИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ГРАВИТАЦИОННЫХ МОМЕНТОВ С НЕСИММЕТРИЕЙ

Джилавдари И.З.¹, Ризноокая Н.Н.¹, Инсарова Н.И.²

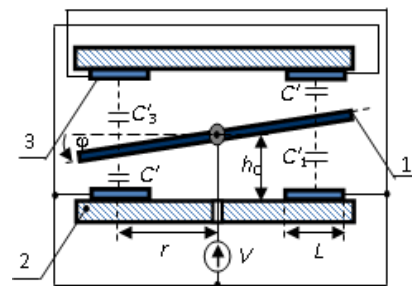
¹Белорусский национальный технический университет

²УО «Белорусский государственный медицинский университет»
Минск, Республика Беларусь

Гравиинерциальные датчики (ГИД), такие как линейные и угловые акселерометры, сейсмографы а также гравитационные градиентометры, обладающие максимально возможной чувствительностью, обычно построены на основе упруго подвешенной подвижной массы (ПМ), совершающей повороты относительно корпуса в пределах малого угла вокруг фиксированной оси под действием измеряемых сигналов [1-3]. Такие ГИД должны иметь малую собственную частоту, и низкий уровень шумов. Требуемый уровень шумов и чувствительности могут обеспечить емкостные датчики. В последнее время большое внимание уделяется резонансным датчикам, в которых электростатическое поле используется для уменьшения крутильной жесткости подвесов.

Цель данной работы состоит в анализе в линейном и нелинейном приближениях динамики ГИД с дифференциальной электростатической системой съема полезного сигнала.

Описание электрической схемы датчика. Общую схему датчика (рисунок 1) с дифференциальной емкостной системой считывания сигналов, можно назвать «трехслойной». Предположим, что, вследствие технологических погрешностей, в системе нарушена симметрия, так что между емкостями конденсаторов выполняются соотношения $C'_1=C'_3=C_0$ и $C'_2=C'_4=(1+\gamma)C_0$, где γ - параметр несимметрии электростатической системы датчика. Учитывая, что емкости C'_1 и C'_3 , как и емкости C'_2 и C'_4 , соединены параллельно, введя обозначения $\gamma_1=1+\gamma$ и $2C_0=C_s$, можно свести трехслойную схему к эквивалентной «двухслойной» схеме, показанной на рисунке 2. При анализе «двухслойной» схемы будет учтено наличие резисторов и дополнительных источников постоянного напряжения.



1 – проводящая ПМ, 2 – непроводящая пластина, 3 – электроды.

В центре показан упругий торсион

Рисунок 1 – «Трехслойная» схема дифференциального датчика

Можно показать, что в схеме на рисунке 2 зависимость емкостей конденсаторов от угла наклона ПМ дается формулами :

$$C_1(\varphi) = \frac{C_s \varphi_m}{\varphi_m + \varphi}, C_2(\varphi) = \frac{\gamma_1 C_s \varphi_m}{\varphi_m - \varphi}, C_s = \frac{2\epsilon_0 S}{h_0}, \quad (1)$$

$$\varphi_m = \frac{h_0}{L} \ln \frac{a_2}{a_1}; a_1 = r - \frac{L}{2}; a_2 = r + \frac{L}{2}. \quad (2)$$

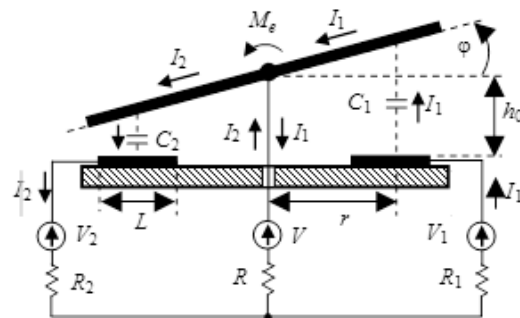


Рисунок 2 – Эквивалентная «двухслойная» схема дифференциального датчика