

УДК 531.7:62-2:629.7 (043.3)

Катаєва М.О., канд. техн. наук,
Національний авіаційний університет, м. Київ, kataeva.mariia@gmail.com,
Ігнатенко П. Л., канд. техн. наук, доцент,
Національний університет «Чернігівська політехніка»

РОЗРОБКА МЕТОДУ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РЕЛЬСФУ НАНООБ'ЄКТІВ

Підвищення ефективності виробництва і якості виробів, розвиток електронної техніки і біомедичних приладів, а також створення нових наноструктурованих матеріалів з особливими властивостями в значній мірі визначаються точністю та прецизійністю метрологічного забезпечення. Особливої уваги заслуговує проблема вимірювання параметрів рельєфу нанооб'єктів, оскільки, спираючись на попередні дослідження вітчизняних та закордонних вчених [1-3] в цій галузі, можна стверджувати, що досі не існує універсальної методики, яка б враховувала всі зовнішні дестабілізуючі фактори та специфічні властивості наноматеріалів. Оскільки властивості певних наноматеріалів відмінні від звичайних, вплив дестабілізуючих факторів на результати вимірювання може бути абсолютно непередбачуваним.

Необхідною умовою [4-6] для вибору умов вимірювання, проведення таких оцінок і подальшої інтерпретації даних є відтворюваність отриманих результатів і незмінність зразка за комплексом властивостей.

Визначено основні напрямки створення і використання методів вимірювання мікро- і наносистем:

- створення модельних уявлень зв'язків топологічних характеристик і реакції об'єкта на зовнішні впливи;
- встановлення зв'язків між властивостями елемента або системи і топологією складу, структури, зарядів і полів;
- встановлення зв'язків між технологічними факторами, кінетикою утворення і властивостями наноструктур;
- створення моделей, що пов'язують функціональні параметри пристроїв з властивостями структур, які визначаються при їх виготовленні.

Для спрощення процесу вибору методів нановимірювань розроблено методику виявлення відхилень внаслідок впливу зовнішніх дестабілізуючих факторів

$$\omega(t) = \omega_1 e^{\gamma t^a} + \omega_0, \quad (1)$$

де ω_1 – параметр виявлення відхилень нановимірювань в першому підінтервалі часу вимірювання;

γ – коефіцієнт, який залежить від кількості вимірювальних операцій;

a – коефіцієнт, який залежить від жорсткості впливу зовнішніх дестабілізуючих факторів;

t – час проведення вимірювань; ω_0 - усталене значення параметру інтенсивності виявлення відхилень.

Параметри γ і a кривої, що описується формулою (1) визначається подвійним логарифмуванням функції $\omega(t)$ для двох підінтервалів часу (на перших етапах проведення вимірювання значенням ω_0 можна знехтувати):

$$\ln \ln \frac{\omega(t_2)}{\omega_1} = -\ln \gamma - a \ln t_2, \quad (2)$$

$$\ln \ln \frac{\omega(t_3)}{\omega_1} = -\ln \gamma - a \ln t_3. \quad (3)$$

Із рівнянь (2) і (3) отримуємо

$$\alpha = \frac{\left(\ln \ln \frac{\omega(t_2)}{\omega_1} - \ln \ln \frac{\omega(t_3)}{\omega_1} \right)}{(\ln t_3 - \ln t_2)}, \quad \ln \gamma = \left[\frac{\left(\ln \ln \frac{\omega(t_2)}{\omega_1} - \ln \ln \frac{\omega(t_3)}{\omega_1} \right)}{(\ln t_3 - \ln t_2) + \ln \ln \frac{\omega(t_2)}{\omega_1}} \right]$$

Параметр потоку $\omega(t)$ можна представити у наступному вигляді:

$$\omega(t) = \sum_{i=1}^k a_t \omega_{1,i} e^{-\gamma_i t^{a_i}} + \omega_0, \quad (4)$$

де k – кількість груп метрологічних параметрів, де спостерігаються певні відхилення;

a_t – ваговий коефіцієнт i -ї групи параметрів.

Представленою залежністю можна описати прояв усіх видів відхилень нановимірювань. Отримані вирази є універсальними для опису потоку виявлених відхилень нанооб'єктів різної конфігурації. Відмінні умови проведення вимірювання визначатимуться тільки за рахунок значень коефіцієнтів γ і a .

Стандартне відхилення випадкової величини при визначенні топології поверхні нанооб'єкту можна розрахувати на основі першого центрального моменту:

$$\omega_1 = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{ij} (Z_{ij} - \bar{Z})^2}, \quad (5)$$

де Z_{ij} значення висоти рельєфу в точці з координатами i та j , \bar{Z} – середнє значення висоти рельєфу по кадру СЗМ.

За допомогою другого центрального моменту розраховується двовимірне середньоквадратичне відхилення висот рельєфу, а саме:

$$\omega_2 = \left[\left(\frac{1}{N} \right)^2 \sum_{ij} (Z_{ij} - \bar{Z})^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (6)$$

Представлені розрахунки дають змогу враховувати впливи зовнішніх дестабілізуючих факторів на нанооб'єкт та гарантувати можливість корекції спричинених ними відхилень.

Список посилань

1. Бромберг Э.М. Тестовые методики повышения точности измерений / Э.М. Бромберг, К.Л. Куликовский – М.: Энергия, 2008. – 242 с.
2. Кононогов, С.А. Исследование измерительных и калибровочных возможностей средств измерений нанометрового диапазона / Кононогов, С.А. // Законодательная и прикладная метрология. – 2008. – № 3. – С. 19 – 25.
3. Тодуа П.А. Метрология и стандартизация в нанотехнологиях и nanoиндустрии / П.А. Тодуа // Измерительная техника. – 2008. – № 5. – С. 5 – 7.
4. The Scanning Probe Image Processor (SPIP) [Електронний ресурс]. Режим доступу: www.imagemet.com
5. J. Garnaes L. Twodimensional nanometer scale calibration based on one-dimensional gratings. Appl. Phys. A 66, 1998, P 831–835
6. R. A. Said, “Microfabrication by localized electrochemical deposition: experimental investigation and theoretical modeling,” Nanotechnology, vol. 15, pp. 867, 2004.