

## АНАЛІЗ І КОМП'ЮТЕРНА ОБРОБКА ЗОБРАЖЕНЬ ПОВЕРХОНЬ РІЗНИХ МАТЕРІАЛІВ, ОТРИМАНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ АТОМНО - СИЛОВОГО МІКРОСКОПУ

*студ. 1-го курсу магістратури Сапожніков В.В.<sup>1</sup>,*

*Наукові керівники: к.ф-м.н. доц. Маслєєва Н. В.<sup>1</sup>, асистент Богдан О. В.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> Одеський національний університет імені І. І. Мечникова*

*<sup>2</sup> Одеська державна академія будівництва та архітектури*

**Актуальність дослідження.** Стан поверхні відіграє велику роль у формуванні властивостей різних матеріалів та їх подальшому використанні. Застосування скануючої зондової мікроскопії із залученням спеціальних комп'ютерних програм суттєво розширює можливості дослідників. У кожному конкретному випадку необхідно задіяти найбільш підходящу програму і правильно скористатися її можливостями.

**Стан проблеми.** Фізичні дослідження морфології поверхні неможливі без використання атомно – силового мікроскопу і модульних програм для обробки зображень. Таке поєднання суттєво збільшує об'єм інформації, яку ми отримуємо і покращує якість експериментальних даних. Однак стандартні підходи до отримання відомостей про характеристики шорсткості поверхні не завжди підходять для анізотропічних матеріалів з високим ступенем неоднорідності поверхні. Наявні експериментальні дані для таких матеріалів іноді суперечливі. Це приводить до необхідності проведення додаткових досліджень і узгодження отриманих результатів. Тому існує необхідність вдосконалити методику вивчення морфології поверхні для таких матеріалів.

**Мета роботи.** Метою даної роботи є встановлення змін морфології поверхні матеріалів при утворенні на поверхні сполук з іншою кристалічною ґраткою.

**Отримані результати.** Дослідження морфології поверхні проводилися за допомогою атомно-силового мікроскопу (АСМ) NT-206. У роботі проводилося сканування поверхні різних матеріалів у динамічному режимі. Для цього використовувалися зонди з «жорстким» кантилевером, жорсткість яких була вище ніж 40 Н/м. Динамічний режим дозволяв одночасно отримувати зображення топографії і фазового контрасту. Досліджувані зразки розміщувалися якомога ближче до центру предметного столика. В цьому випадку спотворення зображення поверхні, які викликаються сферичним характером руху сканера, були найменші.

Основними програмами для обробки даних скануючої зондової мікроскопії (СЗМ) є Gwyddion, SPIP, WSxM і FemtoScan [1]. Ці програми дозволяють проводити корекцію зображень, правильно інтерпретувати отриману картину структури поверхонь і здійснювати статистичний аналіз поверхневих об'єктів. У таблиці 1 наведено функції корекції зображень, які можуть виконувати ці програми.

Таблиця. 1.

Порівняльний аналіз функцій корекції СЗМ зображень  
при використанні програм Gwyddion, SPIP, WSxM та FemtoScan

|   | Функції корекції зображень, отриманих за допомогою СЗМ | Gwyddion         | SPIP | WSxM             | FemtoScan        |
|---|--------------------------------------------------------|------------------|------|------------------|------------------|
| 1 | Автоматизований пошук двовимірної ґратки               | функція відсутня | +    | +                | функція відсутня |
| 2 | Визначення форми вістря і відновлення поверхні         | +                | +    | функція відсутня | +                |
| 3 | Покоординатне вираховування характеристик поверхонь    | +                | +    | +                | +                |
| 4 | Фур'є-фільтрація                                       | +                | +    | +                | +                |
| 5 | Нахил площини зображення                               | +                | +    | функція відсутня | функція відсутня |
| 6 | Вирівнювання рядків                                    | +                | +    | +                | +                |

Основні параметри, що характеризують властивості поверхні та характеристики їх профілів, можна розділити на амплітудні, функціональні, просторові і фрактальні. Відомості про наявність цих груп параметрів у розглянутих програмах представлено у табл. 2.

Таблиця. 2.

Порівняння можливостей програм Gwyddion, SPIP, WSxM та FemtoScan  
для оцінки якості стану поверхні

|   | Функції аналізу                      | Gwyddion         | SPIP             | WSxM             | FemtoScan        |
|---|--------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1 | Фур'є-аналіз                         | +                | +                | +                | +                |
| 2 | Автокореляційна функція поверхні     | +                | +                | +                | +                |
| 3 | Амплітудні характеристики            | +                | +                | +                | +                |
| 4 | Функціональні і просторові параметри | функція відсутня | +                | функція відсутня | функція відсутня |
| 5 | Вейвлет-аналіз                       | +                | функція відсутня | +                | функція відсутня |
| 6 | Фрактальний аналіз                   | +                | +                | +                | функція відсутня |
| 7 | Спектральна функція шорсткості       | +                | +                | функція відсутня | функція відсутня |

Порівняння даних таблиць 1 і 2 показує наявність певних функціональних переваг при використанні модульної програми аналізу зображень Gwyddion для аналізу морфології поверхні. Ця програма з відкритим вихідним кодом використовувалася для обробки результатів сканування поверхні різних зразків.

Отримані за допомогою АСМ зображення ділянок поверхні різних матеріалів за допомогою програми Gwyddion були перетворені на їх 3D-моделі. Оцінки середньої шорсткості  $R_a$  поверхні в однорідній та неоднорідній частинах поверхні проводилися вздовж фіксованої базової довжини за формулою

$$R_a = \frac{1}{m} \sum_i^m |y_i|, \quad (1)$$

де  $y_i$  – відхилення профілю поверхні від середньої лінії у межах базової довжини,  $m$  – кількість відхилень. Зазвичай для характеристики стану поверхні наводять значення  $R_a$ , яке отримано для однієї базової лінії, або усереднене значення  $R_a$  для декількох базових ліній. Отримані таким чином значення шорсткості надають загальну інформацію про величину параметру шорсткості.

На рис.1 наведено колову пелюсткову діаграму значень параметру шорсткості  $R_a$ , які були отримані на поверхнях двох зразків арсеніду галію, матеріалу, що використовують для створення сенсорів парів аміаку, який виділяється при

використанні бетонних конструкцій з антиморозними доданками. Вимірювання проводилися з довільно обраної фіксованої точки поверхні при довжині базової лінії 1 мкм. через кожні 30°. Крива 1 отримана на вихідній поверхні арсеніду галію, крива 2 - після обробки пластин у 30 % водному розчині сульфід натрію тривалістю 60 с. Така обробка покращує газову чутливість *p-n* переходів на основі GaAs, які можна використовувати в якості сенсорів парів аміаку [2].

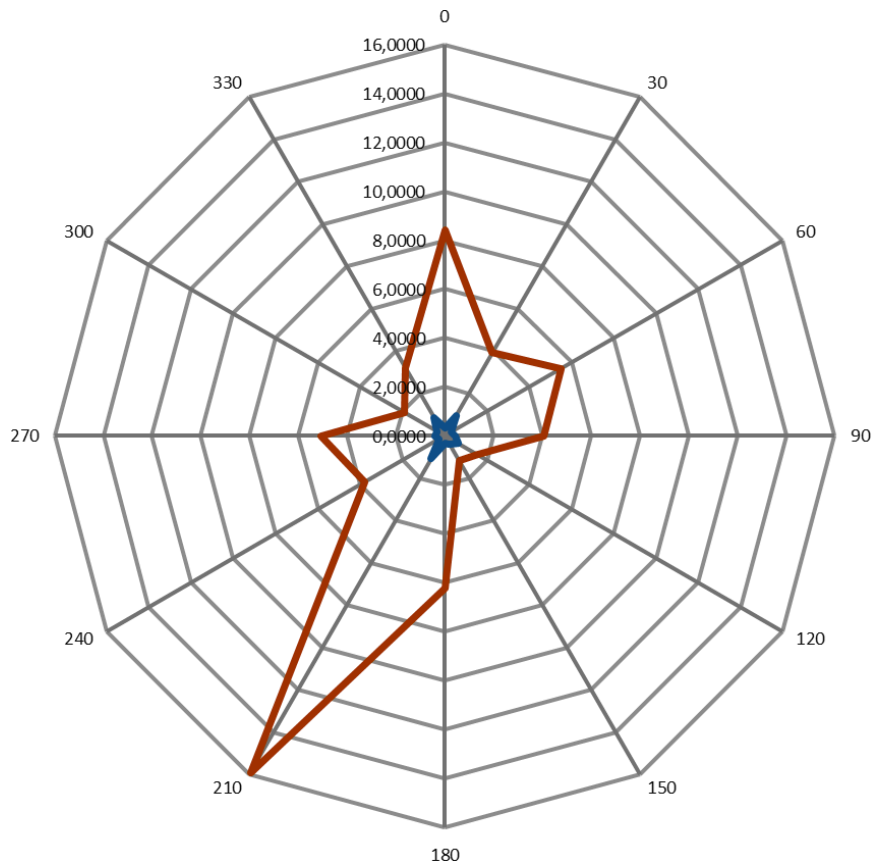


Рис. 1. Залежність значень середнє арифметичного відхилення профілю  $R_a$  поверхні n-GaAs від кута вимірювання до (1) та після сульфідної обробки тривалістю 60 с (2).

Аналіз значень шорсткості у коловій пелюстковій діаграмі до обробки показує, що величини  $R_a$  в усіх напрямках приблизно однакові. Це означає, що для характеристики якості вихідної, достатньо однорідної поверхні GaAs, як і для інших матеріалів з однорідною поверхнею, можна використовувати значення  $R_a$ , які виміряні у довільному напрямку.

Аналіз значень шорсткості у коловій пелюстковій діаграмі після сульфідної обробки показує, що величини  $R_a$  у деяких напрямках мають набагато більші значення, ніж у інших. Це означає неможливість використання для аналізу параметрів шорсткості поверхні значень  $R_a$ , які виміряні лише в одному довільному напрямку.

На рис. 2 наведено мікрофотографію поверхні  $n$ -GaAs з неоднорідностями, які з'явилися після сульфідної обробки тривалістю 60 с. Розміри наведених зображень дорівнюють 5 нм по осі  $OX$  та 5 нм по осі  $OY$ .

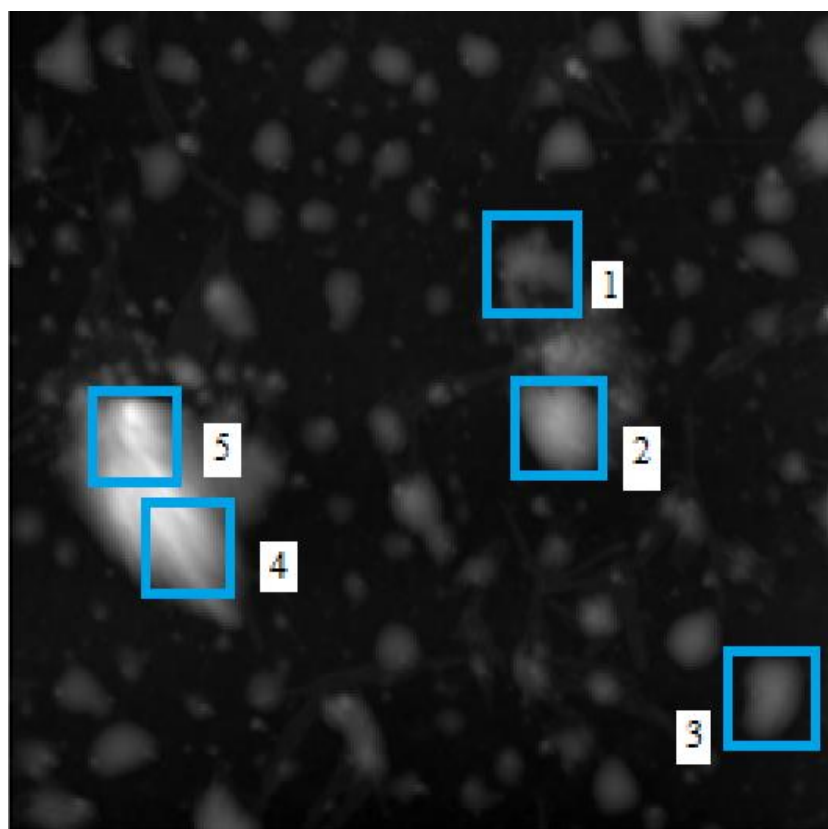


Рис. 2. Мікрофотографія поверхні  $n$ -GaAs після сульфідної обробки тривалістю 60 с з неоднорідностями (1-5), в яких проводилися вимірювання середнє арифметичного відхилення профілю  $R_a$

За величиною параметру  $R_a$  неоднорідності поділилися на дві групи. До першої групи відносяться неоднорідності 1 – 3, для яких характерні менші і майже однакові значення  $R_a$  у двох взаємно перпендикулярних напрямках. Однак значення  $R_a$  у цих неоднорідностях були набагато більші, ніж на поверхні до обробки і в однорідних частинах поверхні після обробки. Ці неоднорідності можна пов'язати з появою на поверхні  $n$ -GaAs  $\gamma$  – модифікації сполуки  $Ga_2S_3$ , яка має кубічну кристалічну ґратку. До другої групи відносяться неоднорідності 4 і 5, для яких спостерігалася значна відмінність значень  $R_a$  в одному напрямку від значень  $R_a$  у перпендикулярному до нього напрямку. Ця група неоднорідностей з'являлася після обробки тривалістю 60 с і більше. Їх можна пов'язати з появою на поверхні  $n$ -GaAs  $\beta$  – модифікації сполуки  $Ga_2S_3$ , яка має гексагональну

кристалічну ґратку. При збільшенні тривалості обробки неоднорідності з такими параметрами шорсткості  $R_a$  ставали переважними і заповнювали всю поверхню.

**Висновки.** Для характеристики морфології поверхні з великою кількістю неоднорідностей не можна використовувати середнє значення параметру шорсткості  $R_a$ , виміряне у довільному напрямку. Розходження у значеннях  $R_a$ , отриманих для різних напрямків, можна пояснити локальним утворенням сполук, яких мають кристалічні ґратки відмінні за формою та параметрами від матеріалу поверхні.

### Анотація

Досліджено можливість оцінки стану поверхні за допомогою параметру шорсткості для однорідних матеріалів і матеріалів з локальними неоднорідностями. На прикладі  $n$ -GaAs показано, що значення шорсткості, виміряне у довільному напрямку, можна використовувати тільки для однорідних поверхонь. Для характеристики неоднорідних поверхонь або поверхонь з локальними неоднорідностями іншої кристалічної структури необхідно проводити вимірювання параметрів шорсткості у двох напрямках, де їх значення сильно відрізняються одне від одного.

### Summary

The possibility of estimating the state of the surface using the roughness parameter for homogeneous materials and materials with local inhomogeneities was investigated. On the example of  $n$ -GaAs, it is shown that the roughness value measured in an arbitrary direction can be used only for homogeneous surfaces. To characterize heterogeneous surfaces or surfaces with local inhomogeneities of another crystal structure, it is necessary to measure roughness parameters in two directions, where their values differ greatly from each other.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Синицына О.В. Обработка и анализ данных зондовой микроскопии. Обзор программного обеспечения. – Нано- и микросистемная техника, 2007, № 2, с. 2–7.
2. О. Богдан, О. Птащенко, Ф. Птащенко, Н. Маслєєва Сульфідна активація р-п переходів на основі GaAs як газових сенсорів //ВІСНИК ЛЬВІВ. УН-ТУ Серія фіз. – 2010. Вип. 45. С. 177 – 181.