

4. Чорний З.П. F_D-центри в кристалах флюоритів, легованих лужними металами / З.П. Чорний, І.Б. Пірко, В.М. Салапак, М.Р. Панасюк // Журнал фізичних досліджень. – 2012. – Т. 16, № 1. – С. 1602-1-1602-8.

Чорний З.П., Пірко І.Б., Салапак В.М., Дячук Н.В. Кинетика наростання центрів окраски в іонних кристалах. II. Генерація M_A⁺-центрів

Рассчитана кинетика наростання концентрації M_A⁺-центрів окраски в процесі облучення кристаллов флюоритов ионизирующей радиацией при комнатной температуре. Данную методику расчета можно применить для кристаллов, содержащих дефекты дипольного типа, а также электронейтральные и заряженные точечные структурные дефекты.

Ключевые слова: кристаллы, центры окраски, радиация.

Chornij Z.P., Pirko I.B., Salapak V.M., Djachuk N.V. Kinetics of growth of color centers in ionic crystals. II. Generation of M_A⁺-centers

Calculated kinetics of increase in concentration of M_A⁺ color centers in the crystal fluorites exposure to ionizing radiation at room temperature. Dan calculation method can be applied to crystals containing defects such as dipole and electroneutral and charged point structural defects.

Keywords: crystals, color centers, radiation.

УДК 004.9

*Доц. Р.Д. Іванців, канд. техн. наук;
аспір. Б.П. Дупак – НУ "Львівська політехніка"*

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕРХНІ ЗРАЗКА ЗА ДОПОМОГОЮ АТОМНО-СИЛОВОГО МІКРОСКОПУ НА ОСНОВІ КАНТЕЛІВЕРА МЕХАНІЧНОГО ТИПУ

Викладено методи дослідження поверхні зразка за допомогою атомно-силового мікроскопу на основі кантелівера механічного типу в безконтактному режимі. Показано, що під час дослідження топології поверхні зразка в безконтактному режимі зонд не контактує із самим зразком, тому не руйнує його і не створює зображення. Зокрема, це може бути важливим під час сканування атомно-силовим мікроскопом біологічних зразків.

Ключові слова: атомно-силовий мікроскоп, кантелівер, зонд, скануючий зондовий мікроскоп, силова скануюча мікроскопія, скануюча тунельна мікроскопія.

Постановка проблеми. Розвиток методів мікроскопії для дослідження поверхні розпочався ще у XV ст., коли винайшли збільшуваче скло. Після створення у XVII ст. оптичного мікроскопа вдалося побачити окремі клітини, мікроби та бактерії. Однак зі зменшенням розмірів зразків змушують дослідників шукати та використовувати відмінні від оптичних методів дослідження. Першою причиною є прагнення досягнути кращого просторового розділення, якими не були б оптичні мікроскопи, за їхньою допомогою ніколи не вдасться побачити атомні структури, оскільки довжина хвилі видимого світла (~600 нм) майже у 2000 разів більша, ніж розмір атома (~0,3 нм). Другою причиною є намагання дослідити фізичні характеристики, які нечутливі до електромагнітного випромінювання.

Останньою за часом появи серед методів мікроскопії є зондова мікроскопія, яка має найкраще розділення і дає змогу побачити окремі атоми, а її застосування допомогло отримати унікальні результати в різних галузях фізики,

хімії та біології. Якщо перші такі мікроскопи були лише індикаторами для якісних досліджень, то сучасний зондовий прилад уже інтегрує багато методів досліджень топології та властивостей поверхні зразків.

Виклад основного матеріалу. Протягом майже 20 років, з 1965 р. до середини 1980-х, отримати зображення поверхні з розділенням, ліпшим від розділення оптичного мікроскопа, можна було лише за допомогою скануючого зондового мікроскопу (СЗМ) [1]. Альтернативні методи, зокрема дзеркальна електронна мікроскопія, були тоді доступні теж, однак ще не досягнули високої роздільної здатності, а з часу винайдення сканувального тунельного мікроскопа відбувалися значні зміни в у галузі сканувальних методів. На нині існує багато методів дослідження поверхні зразків.

Безконтактний метод дослідження поверхні зразка. Цей метод має унікальні можливості порівняно з іншими методами зондівської мікроскопії, такими як контактна силова скануюча мікроскопія (ССК) і скануюча тунельна мікроскопія (СТМ) [2]. Відсутність сил відштовхування в безконтактній скануючій силевій мікроскопії дає змогу використовувати її в дослідженнях "м'яких зразків", при цьому в безконтактній мікроскопії, на відміну від СТМ, не потрібна наявність провідних зразків.

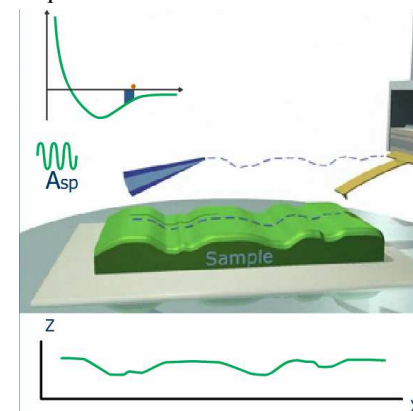


Рис. 1. Безконтактний метод

Безконтактна мікроскопія використовує принцип визначення "модуляції амплітуди". Відповідна вимірювальна схема використовує зміни амплітуди коливань кантелівера A, обумовлені взаємодією зонда із зразком. За методом безконтактну мікроскопію можна описати в термінах градієнтно-силової моделі. Відповідно до цієї моделі, в межі малих A при наближенні кантелівера до зразка резонансна частота кантелівера f_o зрушується на величину df до свого нового значення відповідно до вираження

$$f_{eff} = \frac{f_o(1 - F'(z) / k_o)}{2}, \tag{1}$$

де: f_{eff} – є нове значення резонансної частоти кантелівера з номінальною величиною жорсткості k_o, а F'(z) – градієнта сили взаємодії кантелівера із зразком.

Величина z представляє ефективний зазор зонд-зразок, для випадку сил тяжіння величина $df = f_{eff} - f_o$ негативна.

Якщо збуджуюча частота коливань кантелівера $f_{set} > f_o$, то зрушення резонансної частоти у бік менших значень наводить до зменшення амплітуди коливань f_{set} кантелівера з частотою f_{set} при наближенні до зразка.

Ці зміни амплітуди A використовують як вхідний сигнал у системі зворотного зв'язку. Для здобуття зображення, що сканує, за безконтактним методом необхідно передусім вибрати деяку амплітуду A_{set} як вставки, при цьому $A_{set} < A(f_{set})$ коли кантелівер знаходиться далеко від поверхні зразка. Система зворотного зв'язку підводить кантелівер ближче до поверхні, поки його миттєва амплітуда A не буде дорівнювати амплітуді A_{set} при заданій частоті збудження коливань f_{set} . Починаючи з цієї крапки, може початися сканування зразка в $x-y$ площині з утриманням системою зворотного зв'язку $A = A_{set} = const$ для здобуття зображення. Система зворотного зв'язку підводить кантелівер ближче до зразка, якщо A_{set} зменшується в якій-небудь крапці, і відсовує кантелівер від зразка, якщо A_{set} збільшується. Загалом, як наслідок викладеної вище моделі в межі малих A зображення, що сканує, може розглядатися як рельєф постійного градієнта сили взаємодії зонд-зразок.

Метод безконтактної мікроскопії має ту перевагу, що зонд не контактує із зразком і тому не руйнує його і не спотворює його зображення. Зокрема, це може бути важливим під час дослідження біологічних зразків.

Метод дослідження поверхні зразка модуляції частоти. Під час використання безконтактного і переривисто-контактного методів кантелівер наводиться в коливальний стан за постійної резонансної частоти збудження, при цьому градієнти сил детектуються, як зміни амплітуди або фази коливань кантелівера [3]. Відповідно до такої схеми відношення сигнал-шум для заданої ширини смуги може бути підвищено збільшенням добротності Q коливань кантелівера. Проте збільшення Q одночасно зменшує максимально можливу ширину смуги системи. Ця обставина стає особливо важливою при роботі у вакуумі. У вакуумі добротність кантелівера Q може стати $> 50\ 000$. Такі високі значення Q забезпечують високу чутливість, але малу ширину смуги ($< 1\ \text{Hz}$) обумовлюючи дуже малі швидкості сканування ССМ для більшості вживань.

Для підвищення чутливості ССМ при збільшенні Q без обмежень на ширину смуги пропускання або динамічного діапазону запропоновано альтернативний метод детектування – так званий метод модуляції частоти. У частотно-модуляційній системі детектування високочастотні резонансні коливання кантелівера є частотно-певним компонентом осцилятора, що коливається з постійною амплітудою. Зміни градієнтів сил обумовлюють миттєві зміни частоти коливань осцилятора, які детектуються частотно-модуляційним демодулятором. Кантелівер підтримується вживанням позитивного зворотного зв'язку, що коливається при його резонансній частоті, за допомогою підсилювача, що управляє.

Метод дослідження поверхні зразка статичної магнітно-силової мікроскопії. Цей метод є ефективним засобом досліджень магнітних структур на субмікронному рівні. Отримане за допомогою магнітно-силової мікроскопії зображення є просторовим розподілом деякого параметра, що характеризує магнітну

взаємодію зонд-зразок. Магнітний кантелівер є стандартним кремнієвим зондівським датчиком, покритим плівкою з магнітного матеріалу [4]. Магнітно-силова мікроскопія дає змогу проводити дослідження магнітних доменних структур з високим просторовим дозволом, запису і читання інформації в магнітному середовищі, процесів перемагнічування.

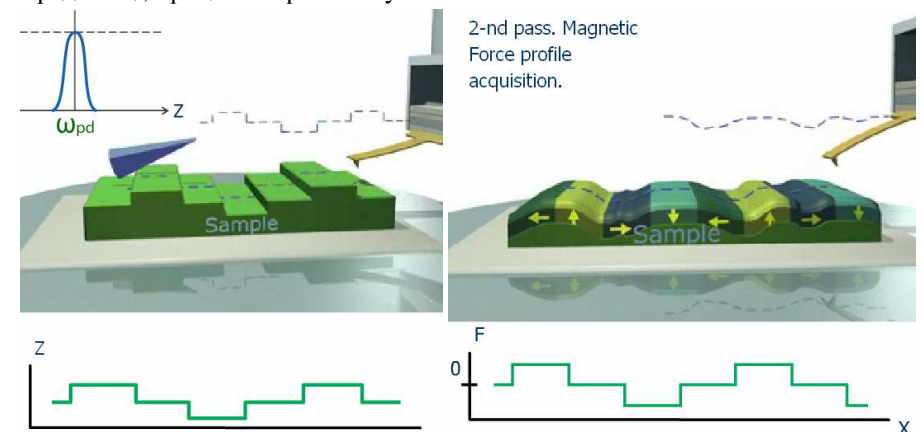


Рис. 2. Метод модуляції частоти

Рис. 3. Метод статичної магнітно-силової мікроскопії

Під час проведення магнітних досліджень на субмікронному рівні передусім необхідно відокремити "магнітні" зображення від зображень рельєфу. Для вирішення цієї проблеми магнітні виміри проводяться за двопрхідною методикою. На першому проході визначається рельєф поверхні за контактним або напівконтактним методами. На другому проході кожної лінії сканування кантелівер підводиться над поверхнею і дослідження поверхні здійснюється відповідно до рельєфу, який був записаний в пам'ять під час першого проходження по зразку. Внаслідок цього на другому проході відстань між сканованою поверхнею і закріпленим кінцем кантелівера підтримується постійною. При цьому відстань зонд-поверхня має бути достатньо великою, аби нехтувати силами Ван-дер-Ваальса, так що на другому проході кантелівер піддається дії лише довгодіючої магнітної сили. Відповідно до цього методу, і зображення рельєфу і магнітне зображення можуть бути отримане одночасно.

У магнітно-силової мікроскопії на другому проході реєструється відхилення кантелівера, що не коливається. Це відхилення обумовлене магнітною взаємодією зонда із зразком. Величина магнітної сили, що діє на зонд, може бути визначена шляхом множення відхилення кантелівера на величину його жорсткості. Унаслідок малої величини магнітного зонда, його можна розглядати як точковий магнітний диполь. У цьому наближенні сили F , що діє на кантелівер на другому проході, може бути представлена у вигляді:

$$F = (Mgrad)H, \tag{2}$$

де: M – ефективний магнітний момент зонда, H – поле розсіяння зразка. Цей вираз є похідним від енергії Земана, узятій із зворотнім знаком.

Висновки. Викладено методи дослідження поверхні зразка за допомогою атомно-силового мікроскопу на основі кантелівера механічного типу в безконтактному режимі. Показано, що під час дослідження топології поверхні в безконтактному режимі зонд не контактує із самим зразком, тому не руйнує його і не спотворює зображення. Зокрема, це може бути важливим під час сканування атомно-силовим мікроскопом біологічних об'єктів. Для подальших наукових розробок вибрано безконтактний метод дослідження поверхні зразка за допомогою атомно-силового мікроскопу на основі кантелівера механічного типу.

Література

1. Нанотехнологии в электронике / под ред. Ю.А. Чаплыгина. – М. : Изд-во "Техносфера". 2005. – 448 с.
2. Binnig G. Scanning tunneling microscopy / G. Binnig, H. Rohrer // *Helvetica Physica Acta.* – Vol. 55(1982). – 726 p.
3. Spatz J.P. Forces affecting the substrate in resonant tapping force microscopy / J.P. Spatz, S. Sheiko, M. Moller, R.G. Winkler, P. Reineker, O. Marti // *Nanotechnology.* – 1995. – Vol. 6. – 44 p.
4. Luthi R. Progress in noncontact dynamic force microscopy / R. Luthi, E. Meyer, L. Howald, H. Haefke, D. Anselmetti, M. Dreier, M. Ruetschi, T. Bonner, R.M. Overney, J. Frommer, H.-J. Guntherodt // *J. Vac. Sci. Technol.* – 1994. – Vol. 3 B12. – 1673 p.

Иванцив Р.Д., Дурак Б.П. Методы исследования поверхности образца с помощью атомно-силового микроскопа на основе кантелівера механического типа

Изложены методы исследования поверхности образца с помощью атомно-силового микроскопа на основе кантелівера механического типа в бесконтактном режиме. Показано, что при исследовании топологии поверхности образца в бесконтактном режиме зонд не контактирует с самим образцом, поэтому не разрушает его и не искажает изображение. В частности, это может быть важным при сканировании атомно-силовым микроскопом биологических образцов.

Ключевые слова: атомно-силовой микроскоп, кантелівер, зонд, сканирующий зондовый микроскоп, силовая сканирующая микроскопия, сканирующая туннельная микроскопия.

Ivantsiv R.D., Dupak B.P. Methods of investigation sample surface using atomic force microscope based on cantilever of mechanical type

The methods of investigation sample surface using an atomic force microscope -based on cantilever of mechanical type in noncontact mode. It is shown that the study of the topology of the sample surface in noncontact mode, the probe is not in contact with the sample itself, so do not destroy it, and does not distort the image. In particular, it may be important when scanning atomic force microscope biological samples.

Keywords: atomic force microscope, cantilever, probe, scanning probe microscope, scanning force microscopy, scanning tunneling microscopy.

УДК 674:621.928.93

Аспір. Л.М. Дорундяк¹ – НЛТУ України, м. Львів

ВСТАНОВЛЕННЯ ВПЛИВУ НЕГЕРМЕТИЧНОСТІ БУНКЕРА НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИКЛОНА

Представлено огляд відомостей про вплив негерметичності бункера на гідравлічний опір циклона та ефективність процесу очищення пилоповітряного потоку в сепараторі. За допомогою програмних пакетів Flow Simulation та FlowVision досліджено

вплив притоку та відтоку повітря з бункера на гідравлічний опір апарата та аеродинаміку процесу циклонування. Наведено результати експериментальних досліджень ефективності процесу повітроочищення за наявності негерметичності бункера.

Ключові слова: циклон, бункер, повітроочищення, аспірація.

Під час очищення пилоповітряного потоку в циклоні відбуваються складні аеродинамічні процеси, які повністю ще не досліджені. У чисельних публікаціях на тему циклонів описано залежність між конструктивними параметрами циклона та технологічними показниками процесу повітроочищення. Проте є питання, які висвітлені не достатньо й однобічно. На нашу думку, передусім до таких питань відноситься вплив негерметичності бункера на процес повітроочищення у циклоні. Відомо [1, 2], що внаслідок інтенсивного обертання повітряного потоку в корпусі циклона статичний тиск знижується від його периферії до центру. Така ж картина спостерігається в бункері. На основі цього у роботі [2] доходять до висновку, що герметичність бункера повинна бути повністю забезпечена не тільки під час встановлення циклона на всмоктуючій, але й на нагнітальній стороні вентилятора. Недотримання такої умови призводить до різкого зниження ефективності процесу пиловловлення [2]. У роботах [3, 4] зазначено, що недоліками відомих конструкцій циклонів є недостатній ступінь очищення потоку від дрібнодисперсного пилу, який різко знижується через виникнення явища підсмоктування у місці з'єднання бункера та циклона і в пристрої для вивантаження відходів. При швидкості потоку повітря на вході в циклон більшій за 15 м/с обов'язково порушується герметичність бункера [4]. Гідравлічний опір циклона підвищується, а ефективність знижується, що призводить до звуження сфери застосування циклонів.

У всіх оглянутих публікаціях негерметичність бункера розглядають, як негативне явище, якого допускати не можна. Ми зробили спробу описати вплив негерметичності бункера на аеродинаміку процесу циклонування та встановити залежність експлуатаційної характеристики апарата внаслідок впливу негерметичності бункера.

Основні дослідження проводили за допомогою програмних пакетів Flow Simulation та FlowVision. Ліцензія була надана фірмою-розробником у рамках програми підтримки студентів та аспірантів. Досліджували вплив негерметичності бункера на аеродинаміку процесу циклонування, значення гідравлічного опору циклона, розподіл складових швидкості потоку повітря в апараті. Під час руху всередині корпусу циклона швидкість потоку повітря розбивають на три складові: осьову, тангенціальну та радіальну. Осьова складова сприяє руху потоку та частинок пилу до дна циклона. Зменшення значення V_{oc} приводить до підвищення ступеня ризику забивання пиловловлювача, а підвищення – призводить до надто малого часу перебування частинки пилу в циклоні. Тангенціальна складова швидкості потоку визначає значення відцентрової сили, яка буде діяти на частинку пилу. Тому підвищення значення V_{tang} сприяє зростанню ефективності процесу повітроочищення. Радіальна складова визначає значення сили Стокса, яка протидіє руху частинки пилу до стінки апарата у випадку, коли V_{rad} напрямлена до осі циклона (явище радіального стоку) і сприяє рухові частинки пилу до стінки у випадку, коли вона напрямлена до периферії.

¹ Наук. керівник: проф. Є.М. Лютий, д-р техн. наук