

Голові спеціалізованої вченої ради Д 26.168.02
Академіку НАН України, д.ф.-м.н., професору
Валентину ТАТАРЕНКУ

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Семенюк Н.І.
**«УПРАВЛІННЯ МОРФОЛОГІЄЮ ТА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИМИ
ВЛАСТИВОСТЯМИ ПОВЕРХНІ ТВЕРДИХ ТІЛ ПІД ДІЄЮ ЩІЛЬНИХ
НИЗЬКОЕНЕРГЕТИЧНИХ ІОННО-ПЛАЗМОВИХ ПОТОКІВ»**,
подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних
наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла

Останнім часом широкого розповсюдження набули різноманітні електронні прилади, які стали невід'ємною складовою життя людини. Їх компактність, енергетична економічність та надійність в роботі, вимагають неперервного пошуку нових та вдосконалення існуючих технологій їх виробництва. Одним з найбільш перспективних напрямів електронної інженерії на цей час є перехід від тривимірних до двовимірних об'єктів. Досі більшість робіт у цьому напрямі були виконані як дослідження тонких плівок, осаджених у вакуумі. Фізичні властивості таких плівок в значній мірі визначаються природою пари плівка-підкладка, що обмежує сферу їх застосувань. Невелика кількість робіт з плівками, осадженими в атмосфері плазми, виявила можливості управління корисними властивостями плівок. Саме в такому напрямі сформульована тема дисертації Н.І. Семенюк: «Управління морфологією та фізико-механічними властивостями поверхні твердих тіл під дією щільних низькоенергетичних іонно-плазмових потоків», – тому дослідження за цією темою представляється *актуальним*.

Дисертаційна робота виконувалася за програмою основних напрямів наукової діяльності інститутів НАН України (Інституту ядерних досліджень, Інституту фізики, Інституту металофізики ім. Г.В. Курдюмова), також за їх спільними інноваційними проектами з Національним технічним університетом України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» та в рамках двох інвестиційних програм Науково-інвестиційного підприємства ТОВ «Гресем Іновейшн». Виконання дисертаційної роботи Н.І. Семенюк є важливим як для розвитку фундаментальної науки, так і для технологічних застосувань.

Новизна результатів, наведених в дисертаційній роботі, визначається тим, що більшість з них одержана вперше. Найбільш суттєвими результатами є такі:

- Вперше досліджено генерацію гармонік власних плазмових хвиль на неоднорідностях плазми для збагачення енергетичного спектру іонів в плазмовому потоці та вплив на перенос енергії в плазмове середовище на межі плазми з обмежуючими поверхнями. Визначено просторові зони поглинання енергії, коефіцієнт трансформації хвиль в неоднорідній плазмі та вивчені механізми передачі енергії зовнішнього ВЧ поля в плазму застосовані для реалізації плазмово-хвильового механізму прискорення іонно-плазмового потоку і передачі енергії із зони генерації до поверхні твердого тіла.
- Вперше досліджено динаміку приелектродних шарів ВЧ розряду в схрещених електричному та магнітних полях та визначена роль хвильових ефектів та стаціонарних полів в енергетичних характеристиках потоків заряджених частинок в плазмових утвореннях. Підтверджено здатність приелектродного шару прискорювати іони до енергій, які значно перевищують теплову енергію іонів плазми. Показана можливість зміни полярності стаціонарного потенціалу ВЧ електроду несиметричного розряду.

- Вперше встановлена активна роль переосадження іонізованих в приповерхневому шарі розпилених з поверхні частинок в пріоритетному нарощуванні поверхневих структур.
- Вперше спостережений та досліджений новий режим розпилення поверхні твердого тіла під дією щільних низькоенергетичних іонно-плазмових потоків (який в дисертації називається «батутний ефект»), що забезпечує створення функціонально стабільних покриттів з високими фізичними характеристиками. Запропонована вірогідна модель процесу формування мікрорельєфу покриття в атмосфері плазми. Цей результат має важливе практичне значення для утворення поверхневих структур з керованим мікро- або нанорозмірним рельєфом.

В переважній більшості сформульовані в дисертації Н.І. Семенюк наукові положення та висновки є цілком *обґрунтованими*. Вони забезпечуються застосуванням передових методик (електронної мікроскопії, атомно-силової мікроскопії, мас-спектрометрії, склерометрії, оптичної профілометрії), а також проведенням досліджень в широкому діапазоні зміни параметрів експерименту, високою відтворюваністю отриманих даних. Слід відзначити, що центральним кроком в розробці методики експерименту було конструювання та побудова оригінальної камери з джерелом плазми ВЧ-розряду в магнітному полі.

Результати досліджень були представлені та обговорювались на 8 вітчизняних та міжнародних конференціях Наукові положення і висновки дисертаційної роботи *повністю викладено* у 24 публікаціях, з них за результатами дисертаційного дослідження опубліковано 10 статей, в тому числі 4 статті опубліковано в журналах, віднесених до переліку фахових видань України, 6 статей опубліковано в наукових виданнях інших держав. Загалом 6 з цих статей опубліковано в журналах, проіндексованих

наукометричними базами даних Scopus та/або Web of Science (3 статті опубліковано у журналах, що мають показник квартилю Q1, 1 стаття – Q2, 2 статті – Q3, відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank). Захищено 3 патенти України на корисну модель. Опубліковані наукові праці, що викладають матеріали дисертації, їх кількість, обсяг, рівень видання та особистий внесок здобувачки безперечно відповідають вимогам, встановленим для присудження наукового ступеня. Зміст *автореферату* є ідентичним основним положенням дисертації.

Дисертаційна робота Н.І. Семенюк складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків і списку літератури. Матеріали дисертації викладено на 156 сторінках тексту з 44 рисунками і 4 таблицями. Бібліографія включає 243 найменувань. Дисертаційну роботу написано ясною, логічною мовою, оформлено охайно.

У *вступі* обґрунтовано актуальність роботи, її мету, сформульовані *задачі дисертаційної роботи*, а також приведено у стислій формі основні наукові результати і їх практичне значення. *Перший розділ* містить аналітичний огляд сучасного стану знань про взаємодію поверхні твердого тіла з плазмою газового розряду. *Другий розділ* включає результати дослідження механізмів передачі енергії від зовнішнього джерела в плазму. Також подано опис застосованих в роботі експериментальних методів, конструкцію надвисоковакуумної камери і процедуру приготування зразків. *Третій розділ* присвячено фізичним аспектам формування впорядкованих ієрархічних структур на поверхні твердого тіла з різною електропровідністю (діелектрики, напівпровідники, метали). Значну частину третього розділу складає обговорення можливого сценарію розпилення поверхні твердого тіла під дією щільних низькоенергетичних іонно-плазмових потоків («батутного режиму»). Слід зауважити, що у цьому обговоренні не всі стадії формування мікрорельєфу покриття виглядають достатньо обґрунтованими експериментом. Проте практично важливий результат щодо можливості

управління мікрошорсткістю покриття не викликає сумніву. *Четвертий розділ* містить результати спостереження кореляції між фізико-механічними властивостями та мікрорельєфом покриття, модифікованого іонно-плазмовими потоками. У *висновках* підсумовані головні наукові результати роботи і окреслені шляхи їх практичного використання.

Звісно, що в будь-якій роботі не може бути все досконалим. Тому додаю декілька зауважень.

1. Варто було би вказати на відмінність квазірідини нерівноважного характеру, знайденої внаслідок опромінювання іонами та наступним охолодженням і фіксацією поверхневої структури, від квазірідини, яка притаманна рівноважним станам речовини.

2. Майже відсутній порівняльний аналіз ієрархічних структур на поверхні різних матеріалів, за однакових (або, принаймні, подібних) енергії та щільності струмів іонного пучка.

В цілому рецензована дисертаційна робота є *завершеним дослідженням з актуальної теми*, як з наукової, так і з практичної точок зору. Вказані вище зауваження не знижують моєї високої оцінки цієї роботи, в якій отримані нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності розкривають механізми взаємодії поверхні твердих тіл з щільними низько-енергетичними іонно-плазмовими потоками.

Загальний висновок.

На підставі викладеного вважаю, що рецензована робота Н.І. Семенюк «Управління морфологією та фізико-механічними властивостями поверхні твердих тіл під дією щільних низькоенергетичних іонно-плазмових потоків» за своїм обсягом і методичним та науковим рівнем повністю відповідає вимогам пунктів 9, 11, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня

2013 р. (із змінами, внесеними згідно з Постановами КМУ № 656 від 19.08.2015 р., № 1159 від 30.12.2015 р., № 567 від 27.07.2016 р., № 943 від 20.11.2019 р., № 607 від 15.07.2020 р.), а її авторка, Семенюк Надія Іванівна, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 - фізика твердого тіла.

Офіційний опонент,

Старший науковий співробітник відділу
сенсорних систем Інституту фізики
напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова
Національної академії наук України,
доктор фізико-математичних наук,
старший дослідник



Костянтин ШПОРТЬКО

