

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Кравченка Ярослава Олеговича «Структура та властивості багатошарових та багатоелементних покриттів нанометрового масштабу на основі $(\text{TiAlSiY})\text{N}/\text{MeN}$ ($\text{Me}=\text{Mo}, \text{Cr}, \text{Zr}$)», поданої на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла

Дисертаційна робота присвячена виявленню особливостей процесів синтезу, елементного і фазового складу, субструктури та властивостей багатоелементних і багатошарових покриттів нанометрового масштабу $(\text{TiAlSiY})\text{N}/\text{MeN}$ ($\text{Me}=\text{Mo}, \text{Cr}, \text{Zr}$), що отримані методом вакуумно-дугового осадження. В роботі визначені зв'язки між структурою та механічними і трибологічними властивостями покриттів.

Актуальність дисертаційного дослідження полягає у розробці та вдосконаленні конструкційних матеріалів і переліку їх можливостей. Конструкційними матеріалами, в тому числі, є функціональні покриття і тонкі плівки на основі перехідних і тугоплавких металів. Нанесення таких покриттів на поверхню виробів методом вакуумно-дугового осадження може вирішувати завдання щодо підвищення механічної міцності ріжучого інструменту, зниження коефіцієнтів тертя деталей. Особлива цінність вбачається в можливості застосування покриттів, як виробів подвійного призначення.

Сучасні методи структурної інженерії дозволяють здійснювати легування бінарних нітридів достатньою кількістю домішок. Це потребує оптимізації умов осадження (склад катодів, тиск робочої атмосфери, потенціал зсуву підкладинки, температура підкладинки, тощо). Крім того, доцільним передбачається застосування багатошарової архітектури, яке дозволяє контролювати не лише структурний стан кожного з шарів окремо, але і створювати штучні структури з унікальними властивостями. Результати дослідження фізичних процесів, що відбуваються при синтезі покриттів,



дослідження їх структури, властивостей та механізмів росту мають прикладне значення і сприяють отриманню матеріалів із заздалегідь прогнозованими параметрами.

Таким чином, системні дослідження комплексу властивостей наноструктурних багатоелементних і багатошарових покриттів, які представлені в дисертаційному доробку є актуальними і сучасними.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що в роботі:

1. Проведено комплексне дослідження елементного і фазового складу, напруженого стану та дефектності структури багатоелементних $TiAlSiY$, $(TiAlSiY)N$ і комбінованих багатошарових $(TiAlSiY)N/MeN$ ($Me=Mo, Cr, Zr$) покриттів з періодом модуляції Λ в межах 10-15 нм, осаджених вакуумно-дуговим методом. Встановлено, що склад і кристалічна структура багатоелементних нітридних шарів в одношарових і багатошарових покриттях подібні: формуються тверді розчини на основі кубічного TiN з кристалічною ґраткою типу $NaCl$ (B1). Бінарні шари CrN та ZrN також мають ГЦК структуру типу $NaCl$, а в покриттях з Mo формується $\delta-MoN$ з гексагональною структурою.

2. Виявлено утворення аморфного прошарку на основі Si_3N_4 в багатошарових $(TiAlSiY)N/MeN$ ($Me=Mo, Cr, Zr$) покриттях, що дає можливість віднести їх до класу нанокомпозитів. Встановлено нерівномірність розподілу легких елементів у поперечному перерізі покриттів яка обумовлена радіаційно-стимульованими процесами й окисленням поверхневого шару.

3. Вперше визначено сумісний вплив іонного очищення підкладинки та нанесення підшару хрому на адгезійну міцність багатошарових $(TiAlSiY)N/CrN$ покриттів. Показано, що очищення підкладинки високоенергетичними іонами N та нанесення підшару хрому дозволяє підвищити спротив критичному навантаженню до значень пластичного руйнування 188,6 Н. Пластичне руйнування зразка без

підшару Cr відбувається при 150,1 Н, що є найнижчим показником.

4. Вперше мікротопологія покриттів TiAlSiY-серії вивчалася в межах методу двовимірного мультифрактального флуктуаційного аналізу (2D-MFDFA). Для поверхні TiAlSiY покриття спостерігається найширший діапазон узагальнених значень показника Херста $h(q)$. Встановлено, що TiAlSiY зразок характеризується найвищою шорсткістю поверхні, а найгладшій поверхні відповідає (TiAlSiY)N/MoN покриття, оскільки воно має найвужчий $h(q)$ спектр.

5. Вперше встановлено, що багатошарове покриття (TiAlSiY)N/MoN має максимальні значення нанотвердості 36 ГПа та модуля Юнга 406,8 ГПа, що у 1,5 рази вище, ніж в покриттях із Cr та Zr. Зміцнення в першу чергу обумовлене найменшими серед зразків серії значеннями періоду модуляції шарів та розміром кристалографічного зерна у поєднанні з найбільш чітко вираженими границями між шарами композиції.

Обґрунтованість та достовірність отриманих автором експериментальних даних підтверджується за допомогою комплексу взаємодоповнюючих методів: растрової електронної мікроскопії з приставкою для енергодисперсійного аналізу, рентгенівською фотоелектронною спектроскопією, вторинною іонною мас-спектрометрією, раман-спектроскопією, високороздільною просвічуючою електронною мікроскопією та наноіндентуванням. Теоретичні дослідження виконані з використанням методу мультифрактального флуктуаційного аналізу поверхні електронних зображень для параметризації шорсткості поверхні зразків.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Проведені дослідження, результати яких включені до дисертаційної роботи виконані в рамках держбюджетних НДР на кафедрі наноелектроніки СумДУ:

«Розробка матеріалознавчих основ структурної інженерії вакуумно-плазмових надтвердих покриттів з метою досягнення необхідних функціональних властивостей» (2015 – 2017 рр., № 0115U00682).

«Розробка перспективних наноструктурних багат шарових покриттів з покращеними фізико-механічними та трибологічними властивостями» (2016 – 2018 рр., № 0116U006816).

«Фізичні властивості двовимірних наноматеріалів та металевих наночастинок» (2017 – 2020 рр., № 0117U003923) в яких дисертант брав участь як виконавець та відповідальний виконавець.

Також здобувач отримав індивідуальний грант за програмою Європейського Союзу Erasmus Mundus EMINENCEII та проходив наукове стажування у Nano Bio Medical Centre при університеті ім. Адама Міцкевича (2016 – 2017 рр., м. Познань, Польща).

Представлені в дисертаційній роботі результати повністю відображені в 4 статтях у спеціалізованих наукових журналах, в главі книги, що включена до наукометричної бази даних Scopus, та 6 працях за матеріалами наукових конференцій.

Зміст автореферату ідентичний основним положенням дисертації, у ньому викладені мета та задачі дослідження, наукова новизна отриманих результатів, методики досліджень, основні результати та висновки. Автореферат оформлений належним чином.

Зауваження щодо змісту дисертації

Робота не позбавлена деяких недоліків.

1. В ряді місць приведені скорочення та їх розшифрування але не занесені до переліку умовних скорочень.

2. Враховуючи широке застосування РЕМ – мікрофотографій в дисертаційній роботі наведено недостатньо повний опис методології дослідження методом растрової електронної мікроскопії.

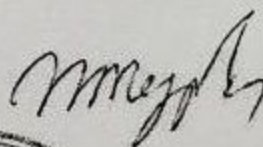
3. Відсутні дослідження мікротвердості як для моношарових, так і для багат шарових зразків, проведення яких значно розширило б уявлення про границі застосування досліджених в дисертаційній роботі покриттів.

Але ці зауваження не зменшують цінності результатів дисертації.

Висновок. Дисертаційна робота Кравченка Я.О. «Структура та властивості багат шарових та багат елементних покриттів нанометрового масштабу на основі $(\text{TiAlSiY})\text{N}/\text{MeN}$ ($\text{Me}=\text{Mo}, \text{Cr}, \text{Zr}$)» є завершеною кваліфікаційною працею. Таким чином, за актуальністю, ступенем новизни, значимістю для науки і практики, а також за структурою і об'ємом дисертація відповідає вимогам ДАК МОН України щодо кандидатських дисертацій, а її автор Кравченко Ярослав Олегович заслуговує присвоєння йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла.

Офіційний опонент


кандидат фізико-математичних наук
заступник директора з наукової роботи
Наукового фізико-технологічного центру
Міністерства освіти і науки України та
Національної академії наук України



Турбін П.В.

Підпис Турбіна П.В. засвідчую

в. о. завідувача відділу кадрів НФТЦ



Маліков Л.В.