

## ВІДГУК

### офіційного опонента

на дисертаційну роботу Кравченка Ярослава Олеговича

"Структура та властивості багат шарових та багат елементних покриттів нанометрового масштабу на основі  $(TiAlSiY)N/MeN$  ( $Me=Mo, Cr, Zr$ )", подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла

#### Актуальність обраної теми.

Розвиток сучасних технологій диктує нові вимоги до конструкційних матеріалів і переліку їх можливостей. До конструкційних матеріалів можна віднести функціональні покриття і тонкі плівки на основі перехідних та 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, покращення зносостійкості, а також виконувати функцію екранування радіаційного випромінювання.

Розширення спектру властивостей існуючих плівок та покриттів можливо за рахунок комплексного підходу до їх модифікації. Особливо перспективним є перехід до шарів нанометрового масштабу, оскільки саме формування в матеріалах наноструктури дозволяє забезпечити значне підвищення твердості та покращення зносостійкості захисних покриттів. Результати дослідження фізичних процесів, що відбуваються при синтезі покриттів, дослідження їх структури, властивостей та механізмів росту мають прикладне значення. У зв'язку з вищезазначеним, дослідження  $(TiAlSiY)N$  зразків та порівняння із  $(TiAlSiY)N/MeN$  ( $Me=Mo, Cr, Zr$ ) покриттями нанометрового масштабу, що було проведено у дисертаційній роботі Кравченка Я.О., є актуальним та своєчасним.

#### Ступінь обґрунтованості і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій.

Викладені в дисертації експериментальні результати одержано з використанням аналітичних методів дослідження, таких як рентгенівська фотоелектронна спектроскопія, рентгенівська дифрактометрія в геометрії ковзного падіння пучка, раманівська спектроскопія та інші, достовірність яких не викликає сумніву. Дисертант використав взаємодоповнюючі методи дослідження, усвідомлюючи їх певні недоліки і переваги для підтвердження достовірності викладених результатів. Теоретичні дослідження виконані з використанням методу мультифрактального



флуктуаційного аналізу поверхні електронних зображень для параметризації шорсткості поверхні зразків. Отримані числові дані можуть бути використані як допоміжний інструмент при розробці нових нано- та макромасштабованих матеріалів. Все це свідчить про те що наукові положення дисертації, її висновки та рекомендації є обґрунтованими та достовірними.

### **Ступінь новизни отриманих результатів**

1. Проведено комплексне дослідження елементного і фазового складу, напруженого стану та дефектної структури багатоеlementних  $TiAlSiY$ ,  $(TiAlSiY)N$  і комбінованих багат шарових  $(TiAlSiY)N/MeN$  ( $Me=Mo, Cr, Zr$ ) покриттів з періодом в межах 10-15 нм, осаджених вакуумно-дуговим методом. Встановлено, що склад і кристалічна структура багатоеlementних нітридних шарів в одношарових і багат шарових покриттях подібні: формуються тверді розчини на основі кубічного  $TiN$  з кристалічною ґраткою типу  $NaCl$  (B1).

2. Вперше визначено сумісний вплив іонного очищення підкладки та нанесення підшару хрому на адгезійну міцність багат шарових  $(TiAlSiY)N/CrN$  покриттів. Показано, що очищення підкладки високоенергетичними іонами N та нанесення підшару хрому дозволяє підвищити спротив критичному навантаженню до значень пластичного руйнування 188,6 Н.

3. Вперше мікротопологія покриттів  $TiAlSiY$ -серії вивчалася в рамках 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 найбільш гладкій поверхні відповідає  $(TiAlSiY)N/MoN$  покриття, оскільки воно має найвужчий  $h(q)$  спектр.

4. Вперше встановлено, що багат шарове 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 з Cr та Zr.

### **Значимість роботи для науки та практики**

Практичне значення отриманих результатів полягає у їх використанні під час створення нової концепції функціональних комбінованих нано-багат шарових систем на основі перехідних та розширеної групи тугоплавких металів з перспективою застосування в якості модифікуючого шару для різального і свердлильного інструмента та

авіаційній промисловості з метою підвищення зносостійкості деталей в умовах сухого тертя і змащення. Результати дослідження впливу іонного очищення підкладки на адгезійну міцність багат шарових покриттів можуть бути використані в якості рекомендацій для покращення зчеплення покриттів до основи (інструменту), зокрема біосумісних стентів, стоматологічних імплантатів, ідентифікаторів та ін. Осадження перехідних шарів спрямоване на підвищення пластичних властивостей конденсатів та збереження природних процесів метаболізму.

### **Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях**

Основні результати дисертації викладено у 11 наукових працях, що задовольняють вимогам ДАК МОН України до публікацій, на яких ґрунтується дисертаційна робота. Аналіз представлених публікацій дає підставу стверджувати, що всі основні положення дисертації в повній мірі опубліковано й апробовано на конференціях. Зміст автореферату повністю відповідає основним положенням дисертації.

### **Зауваження щодо змісту дисертації**

Робота не позбавлена деяких недоліків.

1. В роботі не наведена шорсткість підкладки, яка може впливати на характеристики адгезії нанесених покриттів.
  2. Заслуговує уваги трибологічні дослідження отриманих покриттів в режимі циклічного ковзання, але було б доцільне провести випробування впливу циклічного термічного навантаження, в процесі якого може виникнути погіршення адгезивних характеристик композиційного матеріалу.
  3. На рис. 3.1б незрозуміло яким чином визначались розміри шарів нанесеного покриття, приведені розміри не узгоджуються з масштабом контраста отриманого за допомогою растрової електронної мікроскопії.
  3. На Рис. 5.5 вказані великі і малі флуктуації, проте немає відповідних позначень на самому малюнку.
  4. Частина наведених по тексту скорочень з відповідним розкриттям змісту не зазначено у списку умовних скорочень на початку рукопису.
- Але ці зауваження не зменшують цінності результатів дисертації.

### **Відповідність встановленим вимогам до кандидатських дисертацій.**

Дисертаційна робота присвячена виявленню особливостей процесів синтезу, елементного і фазового складу, субструктури та властивостей багатоелементних та багат шарових покриттів нанометрового масштабу (TiAlSiY)N/MeN (Me=Mo, Cr, Zr), що отримані методом вакуумно-дугового

осадження. Визначення зв'язків між структурою та механічними і трибологічними властивостями покриттів.

Структура дисертації в повній мірі відповідає вимогам, які пред'являються до кандидатських дисертацій. Мова та стиль подання зрозумілий, речення логічно побудовані, завершені, цілісні та зв'язні. Зміст дисертації послідовно відображає постановку задач, методи їх вирішення та інтерпретацію отриманих результатів. Дисертація є цілісною та завершеною роботою.

На підставі вищевикладеного можна стверджувати, що дисертаційна робота Кравченка Я.О. "Структура та властивості багатошарових та багатоелементних покриттів нанометрового масштабу на основі  $(\text{TiAlSiY})\text{N}/\text{MeN}$  ( $\text{Me}=\text{Mo}, \text{Cr}, \text{Zr}$ )" 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 на здобуття ступеня кандидата наук, зокрема пунктам 9, 11, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», та свідчить про високий науковий рівень автора, який заслуговує присвоєння йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла.

Завідувач відділом фізики пучків заряджених частинок  
Інституту прикладної фізики НАН України  
доктор фізико-математичних наук, професор

Підпис О.Г. Пономарьова

доктора фізико-математичних наук, професора  
завідувача відділом фізики пучків заряджених частинок **завіряю.**

Вчений секретар

Інституту прикладної фізики НАН України

кандидат фізико-математичних наук



О.Г. Пономарьов

О.Л. Ворошило