

ВІДГУК
офіційного опонента

на дисертаційну роботу Рогоза Владислава Миколайовича
«Фізико-механічні властивості та мікроструктура покриттів на основі нітриду
ніобію легovanого Si та Al», подану на здобуття наукового ступеня кандидата
фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла

Актуальність обраної теми

Одним із напрямів розвитку фізики твердого тіла є дослідження закономірностей формування властивостей твердих тіл залежно від типу їх структури. Комплексне дослідження таких характеристик покриттів, як термічна та хімічна стабільність (вище від 1 100 K), стійкість до окиснення, коефіцієнт тертя з оброблюваним матеріалом, теплопровідність, ступінь адгезії та сумісність з підкладкою, дозволяють визначити відповідність отриманих матеріалів складним умовам їх використання. У попередніх дослідженнях було виявлено, що властивості тонких плівок MeN можуть бути поліпшені шляхом додавання третього елемента наприклад Si і Al. В осаджених покриттях Ti-Si-N і Ti-Al-N спостерігаються покращені механічні властивості, такі як висока твердість і опір окисленню, в порівнянні з простими покриттями TiN. Однак покриття NbN, легovanі Si та Al досліджені недостатньо. У зв'язку з вищезазначеним, дослідження та порівняння покриттів на основі NbN і легovanіх Si та Al, що було проведено в дисертаційній роботі Рогоза В.М. актуальне та своєчасне.

**Ступінь обґрунтованості і достовірність наукових положень,
висновків і рекомендацій**

Викладені в дисертації експериментальні результати одержано з використанням аналітичних методів таких як електронна растрова мікроскопія, атомно-силова мікроскопія, рентгенівська дифрактометрія та інші, достовірність яких не викликає сумніву. Автор добре усвідомлює переваги та недоліки кожного з методів і вдало поєднує їх у ході аналізу отриманих покриттів. Де це можливо, вимірювання дубльовані з різних методів та методик. Теоретичні дослідження базуються на числових методах молекулярної динаміки, які дозволяють проаналізувати повну енергію гетероструктур та твердих розчинів. Все це свідчить про те, що наукові положення дисертації, її висновки та рекомендації є обґрунтованими та достовірними.

Ступінь новизни отриманих результатів

Основні нові результати та висновки, що їх отримано в дисертаційній роботі, полягають в наступному.

1. Уперше отримані результати дослідження поверхні, структурних та субструктурних характеристики, елементного складу та механічних властивостей нанокompозитних покриттів NbN, в залежності від концентрації легуючих елементів Si та Al.
2. Уперше встановлено особливості переходу від нанокристалічного покриття $(\delta\text{-NbN}+\delta'\text{-NbN})$ до нанокompозитного покриття з аморфним

ЛІМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
(ШТАМП) 06 ЛЮТ 2018 20
Вх. № 0320

прошарком між нанокристалітами (δ -NbN/a-Si₃N₄ та nc-NbN_x/nc-(Nb,Al)N_x/a-AlN) в результаті зміни концентрації легуючої домішки кремнію та алюмінію відповідно від 3,7 до 18,4 ат.%.
3. Уперше в результаті проведеного моделювання методом молекулярної динаміки атомних конфігурацій та механічних властивостей δ -Si₃N₄(001), δ' -NbN(001)/Si_xN_y δ -NbN(111)/Si_xN_y-гетероструктур, виявлено, що найменш міцними виявилися зв'язки в гетероструктурах δ -Si₃N₄(001) та δ' -Si₃N₄/Si₂N₃(001).
4. Уперше в результаті проведеного моделювання методом молекулярної динаміки оптимальних гетероструктур δ -NbN(001)/1 МШ δ -AlN та δ -NbN(001)/2 МШ γ -AlN, а також твердих розчинів δ -Nb_xAl_{1-x}N та аналізу їх повних енергій показано, що твердий розчин δ -Nb_xAl_{1-x}N для $x < 0,67$ розпадається при нормальних умовах, а концентрація домішки Al вище 17,5 ат.% спричиняє формування нанокompatитної структури, що складається з фаз δ -NbN та γ -AlN.

Значимість роботи для науки та практики

Одержані результати мають як фундаментальне так і прикладне значення. Фундаментальне значення полягає у систематизації інформації щодо елементного та фазового складу, кристалічної будови, морфології поверхні, структурних, субструктурних та механічних характеристик покриттів NbN, Nb-Si-N, Nb-Al-N у залежності від технологічних умов осадження, що сприяє подальшому розвитку матеріалознавства в області нітридних багатокомпонентних покриттів. Прикладне значення полягає у визначенні оптимальних умов осадження покриттів на основі нітриду ніобію для застосування їх в якості захисних покриттів на інструментах для механічної обробки (свердління, фрезерування, токарної обробки), штампування, карбування, лиття під тиском алюмінієвих сплавів. Результати дослідження надпровідної фази δ -NbN, можуть бути застосовані для створення надпровідних пристроїв. Враховуючи дані дослідження на базі покриттів на основі нітриду ніобію можливе створення інтегральних схем та болометрів з високими експлуатаційними характеристиками.

Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях

Основні результати дисертації викладено у 16 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 літературному огляді не приділено уваги математичному моделюванню нітридів перехідних металів.
2. Недостатньо повний опис дослідження покриття методом скануючої електронної мікроскопії.

3. Відсутні трибологічні дослідження зразків, проведення яких значно розширило б уявлення про границі застосування даних покриттів.

Але ці зауваження не зменшують цінності результатів дисертації, а деякі з них свідчать про необхідність розвитку робіт в цьому напрямку.

Відповідність встановленим вимогам до кандидатських дисертацій.

В дисертаційній роботі розв'язано важливе наукове завдання з встановлення закономірностей формування покриттів на основі NbN з покращеними фізико-механічними властивостями в залежності від умов осадження методом магнетронного розпилення та легування домішковими атомами Si та Al.

Структура дисертації в повній мірі відповідає вимогам, які пред'являються до кандидатських дисертаційних робіт. Мова та стиль подання матеріалу зрозумілий, речення логічно побудовані, мають смислову завершеність, цілісність і зв'язність. Зміст дисертації послідовно відображає постановку задач, методи їх вирішення та інтерпретацію отриманих результатів. Тому дисертація є цілісною завершеною роботою.

На підставі вище викладеного можна стверджувати, що дисертаційна робота Рогоза В.М. «Фізико-механічні властивості та мікроструктура покриттів на основі нітриду ніобію легуваного Si та Al» є завершеною кваліфікаційною працею. Таким чином, за актуальністю, ступеню новизни, значимістю для науки і практики, а також за структурою і об'ємом дисертація відповідає вимогам на здобуття наукового ступеня кандидата наук, зокрема пунктам 9, 11, 12 і 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.

В.о. завідувача відділу фізики пучків заряджених частинок
Інституту прикладної фізики НАН України,
доктор фізико-математичних наук, професор

О.Г. Пономарьов

Підпис Пономарьова О.Г.

доктора фізико-математичних наук, професора,

в.о. завідувача відділу Фізики пучків заряджених частинок **завіряю.**

Вчений секретар

Інституту прикладної фізики НАН України

кандидат фізико-математичних наук



О.І. Ворошило