Наконечна Олеся Іванівна, докторантка фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Назва дисертації: &laquo;Особливості формування і властивості інтерметалідів, карбідів перехідних металів та нанокомпозитів на їх основі&raquo;. Шифр та назва спеціальності 01.04.07 фізика твердого тіла. Спецрада Д26.001.23 Київського національного університету імені Тараса Шевченка

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Міністерство освіти i науки України

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Міністерство освіти i науки України

Кваліфікаційна наукова

праця на правах рукопису

НАКОНЕЧНА ОЛЕСЯ ІВАНІВНА

УДК 54.19;539.261;620.167.3

ДИСЕРТАЦІЯ

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ І ВЛАСТИВОСТІ ІНТЕРМЕТАЛІДІВ,

КАРБІДІВ ПЕРЕХІДНИХ МЕТАЛІВ ТА НАНОКОМПОЗИТІВ НА ЇХ ОСНОВІ

01.04.07 – фізика твердого тіла

Подається на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,

результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ (Наконечна О.І.)

Науковий консультант

член-кор. НАН України,

доктор фіз.-мат. наук, професор

Макара Володимир Арсенійович

Київ – 2020

ЗМІСТ

стор.

ПЕРЕЛIК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ 27

ВСТУП 29

РОЗДІЛ 1. СИНТЕЗ ТА ВЛАСТИВОСТІ ПОТРІЙНИХ

ІНТЕРМЕТАЛІЧНИХ СПОЛУК ЗА УЧАСТЮ ГАЛІЮ 43

1.1. Дослідження ізотермічних перерізів систем Ti-Al-Ga та Ni-Al-Ga 44

1.1.1. Система Ti–Al–Ga 44

1.1.2. Система Ni–Al–Ga 47

1.1.3. Уточнення будови ізотермічного перерізу діаграми стану

системи Y–Cu–Ga 55

1.2. Дослідження сполук серій YCuxGa4x- та DyCuxGa4x- (похідні від

типу BaAl4) 63

1.2.1. Кристалічна структура сполук серій YCuxGa4-x- та

DyCuxGa4-x- 63

1.2.2. Магнітні властивості та аналіз рентгенівських

фотоемісійних спектрів фаз серії DyCuxGa2-x 68

1.3. Дослідження сполук серії GdAlxGa4x- (похідні від типу BaAl4) 77

1.3.1. Кристалічна структура сполук серії GdAlxGa4-x- 77

1.3.2. Магнітні властивості сполук GdAlxGa4 85

1.4. Дослідження сполук серії DyMnxGa3 (похідні від типу AuCu3) 89

1.4.1. Кристалічна структура сполук серії DyMnxGa3 89

1.4.2. Магнітні властивості сполук серії DyMnxGa3 95

1.4.3. Аналіз рентгенівських фотоемісійних спектрів сполук

серії DyMnxGa3 101

Висновки по розділу 1 108

РОЗДІЛ 2. МЕХАНОХІМІЧНИЙ СИНТЕЗ НАНОПОРОШКІВ КАРБІДІВ

d-МЕТАЛІВ 110

24

2.1. Механохімічний синтез як ефективний метод одержання

сучасних нанокомпозиційних матеріалів 110

2.1.1. Особливості характеру взаємодії компонентів при

механохімічному синтезі. 110

2.1.2. Особливості хімічних процесів при МХС. 112

2.2. Дослідження характеру взаємодії компонентів в подвійних

системах метал–ВНТ 116

2.2.1. Механохімічний синтез матеріалів та методи їх

досліджень. 116

2.2.2. Механохімічний синтез пересичених твердих розчинів на

основі d-металів 121

2.3. Механохімічний синтез подвійних карбідів d-металів 126

2.3.1. Карбіди ІІІb, ІVb та Vb груп 129

2.3.2. Карбіди VIb групи 140

2.3.3. Карбіди VIIIb групи 146

2.4. Механізм формування карбідів перехідних металів в процесі

МХС 159

Висновки по Розділу 2 168

РОЗДІЛ 3. НАНОКОМПОЗИТИ, ОТРИМАНІ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ МХ

ОБРОБКИ ШИХТИ НА ПЕРШОМУ ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ЕТАПІ

СИНТЕЗУ 169

3.1. Нанокомпозити Fe–Ti–ВНТ 170

3.2. Нанокомпозити Ti–Cu–ВНТ 178

3.3. Нанокомпозит на основі інтерметаліду YCu 182

3.4. Нанокомпозиційні покриття NiC 193

Висновки по Розділу 3 196

РОЗДІЛ 4. НАНОСТРУКТУРНІ ПОКРИТТЯ НА ОСНОВІ TiAlSiN 198

4.1. Одержання покриттів TiAlSiN 200

4.2. Фазові рівноваги у базовій системи Ti–Al–N 204

4.3. Дослідження фазового складу покриттів TiAlSiN 208

25

4.4. Дослідження мікроструктури покриттів TiAlSiN методами

електронної мікроскопії 211

4.4.1. Мікроструктура базових моношарових тонких плівок

TiAlN 211

4.4.2. Мікроструктура базових моношарових тонких плівок

TiAlSiN 213

4.4.3. Мікроструктура покриттів TiAlSiN з композиційно

градуйованим складом 215

4.4.4. Мікроструктура багатошарових покриттів 222

4.5. Механічні характеристики тонких плівок TiAlSiN 223

4.5.1. Аномалії механічної поведінки нанокомпозиційних

матеріалів 224

4.5.2. Механічні характеристики тонких плівок TiAlSiN 226

4.6. Розрахунок теоретичного значення твердості покриттів TiAlSiN 232

4.6.1. Теоретичні моделі розрахунку твердості покриттів 232

4.6.2. Апробація відомих теоретичних моделей для розрахунку

абсолютного значення твердості тонких плівок TiAlSiN 241

4.7. Тріщиностійкість тонких плівок системи TiAlSiN 246

4.7.1.Тріщини викликані індентуванням 246

4.7.2. Розрахунок тріщиностійкості тонких плівок 251

4.8. Еволюція структури та механічних характеристик покриттів

TiAlSiN після високотемпературної обробки 264

4.8.1. Фазовий склад та твердість покриттів TiAlSiN після

високотемпературної обробки 265

4.8.2. Еволюція мікроструктури покриттів TiAlSiN після

високотемпературної обробки 268

4.8.3. Механізми окиснення тонких плівок TiAlSiN 271

4.9. Оптичні характеристики покриттів TiAlSiN 277

Висновки по Розділу 4 285

РОЗДІЛ 5. НАНОСТРУКТУРНІ ПОКРИТТЯ НА ОСНОВІ TіAlCrN 287

26

5.1. Досліджувані матеріали 288

5.2. Фазовий склад і кристалічна структура покриттів TiAlCrN 289

5.3. Механічні характеристики тонких плівок TiAlCrN. 292

5.4. Корозійна стійкість покриттів системи TiAlCrN 296

Висновки по Розділу 5 306

ВИСНОВКИ 307

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 309

Додатки 346

ВИСНОВКИ

Наосновіотриманихекспериментальнихданихудисертаціїнаведенонове

вирішеннянауковоїпроблемизміцненняконструкційнихтафункціональних

композиційнихматеріалівщополягаєувстановленніосновнихзакономрностей

тафзичнихмеханзмвформуваннязміцнюючихнаночастиноккарбідівоксидів

нітридівтощобезпосередньовметалевійматрицікомпозиту

Основнірезультатипредставленоїроботиполягаютьунаступному

Впершевповномуконцентраційномуінтервалідослідженосплавитапобудованоізотермічніперерізидіаграмстануметалічнихсистем––Кта

––КВстановленощолегуваннягаліємсполукидоат

збільшуєміцністьнастисненнясплавівдоГПазростанняна

іробитьцісплавиперспективнимидляствореннянаїхосновіматеріалудляавіаційноїпромисловостіРентгенівськимиметодамимонокристалутапорошкувизначеноособливостіформуваннякристалічнихструктурсполуксерії

іпохіднихвідтипуВстановленокореляціюміж

виявленимиособливостямикристалічнихструктурфазїхмагнітними

характеристикамитаелектронноюструктурою

Виявленощозначенняефективногомагнітногомоментудлясплавівсерії

євищимизазначеннямагнітногомоментудляіону



Спостережуванаступінчастазмінавеличинидобрекорелюєзізміною

збільшеннякратностіперіодівпідґратокфазПодібнізмінимагнітних

характеристиквикликаніперерозподіломелектронноїгустиниміжатомамита

внаслідокзміниенергіїРККІвзаємодіїщовиникаєчереззмінуконцентрації

електронівпровідностіусполуці

МеханохімічноюобробкоюшихтиМеВНТввисокоенергетичномупланетарномумлинісинтезованонизкунанорозмірнихдвокомпонентнихкарбідівперехіднихметалівасамекарбідівС

таатакожновогокарбідуПереважначастинацихкарбідівза

участювуглецевихнанотрубоксинтезованавпершеВпершевстановленоособливостіпроцесівкарбідоутвореннявнанокомпозиціяхМеВНТПоказанощодослідженівданійроботікарбідиперехіднихметалівпідчасМХСформуютьсявоснов



номузарахуноксамопідтримуваноїреакціїафазовийскладпродуктівсинтезу

дисперсністьморфологіячастиноктарівномірністьїхрозподілувоб’ємі

отриманихкомпозиційвизначаютьсярежимамиітривалістютакоїобробки

Показанатаобґрунтованаефективністьвикористаннявуглецевих

нанотрубокдляствореннянанокомпозиційнихматеріалівтипуМеМеВНТМеметалічнаматриця–металщослугуєзародкомкарбідноїфазиполіпшенімеханічніхарактеристикиякихтвердість–ГПарегулюються

нанорозміромчастинокякматеріалуосновитакікарбідноїфазищоутворюється

приМХСбезпосередньовметалічнійматрицівисокоющільністюкомпактованого

НКМтаструктурнимиособливостямийогофазовихскладовихзазвичай

насиченихдодатковимвуглецем

Впершевстановленіособливостіформуваннякомпозиційноградуйованої

структуритонкихплівокодержанихвакуумнодуговимметодом

Показанощолегуваннякремніємпокриттіватакожстворенняособливої

градієнтноїмікроструктуритонкихплівокзабезпечуютьпідвищенийрівень

тріщиностійкостідосліджуванихпокриттівазначитьзбільшуютьстрокїх

експлуатаціїДляаналізутріщиностійкостідослідженихтонкихплівок

запропонованоенергетичнумодельщобазуєтьсянавизначеннідисипативної

роботунавантаженнянаінденторОдержаноемпіричнерівняннящовстановлює

загальнийзвязоклінійнузалежністьміжстійкістютонкоїплівкидопружної

деформаціїприіндентуванні

Урезультатікомплексногоекспериментальногодослідженнявпершедетальновивченошаруватуструктуруокалинищоутвориласянаповерхніплівок

привисокотемпературномувідпаліВстановленомеханізмищорегулюютьокисненнязазначенихтонкихплівокВрезультатішвидкоїдифузіїпри

наповерхніпокриттяформуєтьсязахиснийшараКисеньщодифундуєвглибинупокриттяокиснюєутворюючишарТакиймеханізм

дифузіїКиснюдодатковопідтверджуєтьсянаявністюфазиоксидущо

виділяєтьсянаграницяхзерен