

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Мінєнкова Олексія Олександровича

«Фазовий стан та дифузійна рухливість компонентів нанорозмірних плівкових систем Ag-Pd, Cu-Ni і Ag-Ge», яку представлено на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла

1. Актуальність та практичне значення роботи

Розвиток наноелектроніки і нанотехнологій потребує отримання нових нанорозмірних матеріалів та створення різноманітних пристроїв на їх основі, які б поєднували унікальні фізико-хімічні властивості наносистем зі стабільністю і довговічністю. В останні роки з'явилась велика кількість наукових праць, присвячених вивченню фізичних властивостей нанодисперсних систем, особливостей їх структурно-фазового стану. У той же час багатоконпонентні системи, в тому числі і бінарні, залишаються маловивченими, хоча є більш перспективними матеріалами нанотехнологій. Для створення нових матеріалів необхідні експериментальні дослідження стосовно взаємозв'язку між фізичними властивостями певних систем і їх структурними особливостями, впливом розмірних ефектів на швидкість дифузії атомів, температуру плавлення і розчинність компонентів. Тому тема дисертаційної роботи, присвячена комплексному дослідженню фазового стану та дифузійної рухливості компонентів у плівкових системах Ag/Pd, Cu/Ni і Ag/Ge є актуальною, оскільки ці системи знаходять широке застосування в мікро- та наноелектроніці. Крім того вона є актуальною і з точки зору для розуміння фундаментальних процесів у бінарних системах та можливості створення різноманітних нанорозмірних пристроїв на їх основі.

2. Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій

У дисертації проведене комплексне дослідження кінетики формування твердих розчинів у нанодисперсних плівкових системах на основі Ag і Pd та Cu і Ni. На основі експериментальних результатів розраховані ефективні коефіцієнти дифузії. Мета дисертаційної роботи, яка пов'язана із

встановленням фізичних закономірностей між фазовим станом та дифузійною рухливістю атомів компонентів шаруватих плівкових систем і розмірами зерен та товщинами плівок, досягнута.

У роботі встановлено розмірну залежність евтектичної температури для плівкової системи Ag-Ge і визначено вплив товщини плівки срібла на розчинність атомів компонентів у плівках Ag-Ge.

Вважаю, що експериментальні (просвічуюча та електронна мікроскопія, електронографія, резистометрія) та обчислювальні (розрахунок енергії активації), які використані автором та на основі яких сформульовані висновки та рекомендації, цілком коректні та обґрунтовані.

3. Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях

Основні результати роботи досить повно викладені в 9-ти статтях в фахових журналах, в тому числі 6-ти роботах, які обліковуються наукометричною базою Scopus (Physics of the Solid State, Applied Physics A, Journal of Alloys and Compounds, Journal of Nano- and Electronic Physics, Металлофизика и новейшие технологии) та 11 тезах доповідей на Міжнародних та вітчизняних конференціях і семінарах.

4. Достовірність та новизна отриманих результатів

Достовірність наведених в дисертації теоретичних і експериментальних результатів обумовлена тим, що автором проведено аналіз багатьох літературних джерел як вітчизняних, так і зарубіжних, та застосовано класичні і сучасні методи формування бінарних і двошарових плівкових систем та їх дослідження. Робота має логічну побудову, поставлені комплексні задачі розв'язуються сучасними експериментальними методами досліджень. Це дало можливість автору отримати ряд нових, важливим результатів із достатнім ступенем новизни.

У роботі отримано такі нові наукові результати:

1. Експериментально встановлено, що дифузійні процеси в нанодисперсних плівках на основі Ag і Pd з розміром зерна 5 – 10 нм,

активуються при знижених температурах (180 – 350°C) і протікають значно швидше, ніж в макроскопічних зразках. Показано, що повна гомогенізація плівки по всій товщині може відбуватися без істотної зміни її мікроструктури.

2. Уперше визначено залежність евтектичної температури в шаруватих плівках Ag/Ge від товщини плівки срібла.

3. Для нанорозмірних плівок Ge/Ag за зміною електричного опору зразків під час циклу нагрів-охолодження, а також з використанням *in situ* електронографії, вперше кількісно визначені значення твердофазної розчинності германію в плівках срібла різної товщини. Показано, що криві розчинності зміщуються в область менших температур при зменшенні товщини плівки срібла.

4. Гранична розчинність германію в сріблі, розрахована в результаті екстраполяції експериментальних даних, складає близько 10,5 ат.% для зразків з товщиною плівки срібла 50 нм, 13 ат.% для 25 нм та 17 ат.% для 13 нм. Ці значення істотно перевищують величину, яка характерна для макроскопічних зразків.

5. Наукове та практичне значення результатів дисертації

Результати дисертаційної роботи О.О. Мінєнкова можуть бути застосовані як для подальшого розвитку уявлень фізики нанодисперсних систем, так і для розробки технології отримання і застосування тонких багатокомпонентних плівкових систем. Експериментальні дані, отримані в роботі, щодо розмірної залежності енергії активації дифузійних процесів у бінарних системах Ag-Pd і Cu-Ni та їх швидкість їх перебігу можуть бути використані для прогнозування стійкості нанорозмірних систем і створення довговічних, надійних композиційних матеріалів і пристроїв на їх основі.

6. Зауваження до роботи

При ознайомленні із дисертаційною роботою О.О. Мінєнкова не виникло зауважень щодо її основних наукових та практичних результатів.

Зауваження пов'язані із термінологічною неясністю позначень; предмету дослідження; оформленням роботи; деякі зауваження носять редагувальний характер.

1. По всьому тексту роботи і автореферату автор вносить термінологічну плутанину, описуючи структурний стан бінарних, шаруватих чи багат шарових плівкових систем користується одними і тими ж символами Ag-Pd, Cu-Ni та Ag-Ge, хоча у двох останніх випадках правильним буде позначення Ag/Pd і Cu/Ni. Не зовсім правильно двошарові плівки називати багат шаровими або шаруватими (україномовний варіант) і multilayered (англоломовний варіант).

2. Результати стосовно інтенсивності дифузійних процесів, зростання взаємної розчинності компонент у бінарних плівкових системах та зміщення лінії розчинності в область менших температур не можна представляти як такі, що отримані абсолютно вперше, оскільки вони якісно зрозумілі та очікувані, виходячи із літературних даних на прикладі інших плівкових систем.

3. Невірно, з точністю до навпаки, сформульовані об'єкт і предмет досліджень, що є загальноукраїнською проблемою молодих вчених, оскільки об'єкт дослідження – це процес або явище, що породжує проблемну ситуацію й обране для дослідження; у темі дисертаційної роботи мова повинна іти про дифузійну рухливість не «компонентів», а «атомів компонентів».

4. У тексті дисертації і автореферату введено поняття характерного розміру системи і вказується, щоб під цією величиною мається на увазі товщина плівки. По всьому тексту багато разів повторюється фраза «характерний розмір (товщина плівки)», взагалі слово характерний по відношенню до розміру, товщини, температури повторюється в тексті автореферату більше 60 разів.

5. Згідно вимог до оформлення дисертаційних робіт рисунки і таблиці, які займають більше 1/3 сторінки, виносяться на окремі сторінки і не включаються в основний текст роботи. На стор. 40, 57, 61, 64, 92 розміщені такі рисунки, їх необхідно винести на окрему сторінку і виключити із основного тексту дисертації.

7. Відповідність дисертації встановленим вимогам

Результати наукових досліджень, які склали зміст дисертації Міненкова Олексія Олександровича, викладені у ній зрозуміло і чітко. Це свідчить про професіоналізм автора. Дисертація написана з використанням академічного стилю викладення матеріалу і якісно оформлена. Основні результати дисертації опубліковані у 9-ти статтях в фахових наукових журналах, у т.ч. 6-ти статтях, які обліковуються наукометричною базою Scopus. Загальна кількість наукових публікацій, в яких викладені основні наукові і практичні результати дисертації, відповідає вимогам ДАК України. У авторефераті дисертаційної роботи повністю відображено основний зміст дисертації, її актуальність і мету, новизну одержаний результатів, особистий внесок автора та висновки.

Вважаю, що дисертаційна робота Міненкова О.О. виконана на високому рівні. Вона є закінченим дослідженням, в якому розв'язана важлива і актуальна наукова задача, яка полягала у встановленні фізичних закономірностей зміни фазового стану та дифузійної рухливості атомів компонентів у нанорозмірних двошарових плівках на основі Ag і Pd або Ge та Cu і Ni в умовах розмірних ефектів.

Дисертаційна робота повністю відповідає всім вимогам, які ставляться «Порядком присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» до кандидатських дисертацій, а її автор Міненков О.О. заслуговує присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла.

Офіційний опонент,
декан факультету електроніки та
інформаційних технологій
Сумського державного університету,
д.ф.-м.н., професор



Проценко С.І.

Підпис *Проценко С.І.* засвідчую
начальник ВК *(С.І. Проценко)*