

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Чурілова Ігоря Георгійовича

«Особливості термічного впливу на морфологічні зміни і механізм утворення рідкої фази у конденсованих однокомпонентних плівках (Pb, Sn, In, Bi) та у бінарних шаруватих плівках (Bi/Sn, Pb/Sn, Pb/In)»

на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла

Актуальність теми дисертації та її зв'язок із науковими програмами

Розвиток сучасних технологій пов'язаний із мініатюризацією конструкційних елементів, яка призводить до суттєвої ролі розмірних ефектів у фізичних властивостях функціональних матеріалів та параметрах електронних приладів та пристроїв. Перспективними з прикладної точки зору є дослідження нанокристалічних структур типу «частинка в матриці», властивості яких можна ефективно вивчати на основі модельних об'єктів, таких, наприклад, як багатошарова плівка. Результати досліджень внутрішніх розмірних ефектів дає можливість не тільки отримати нову інформацію про унікальні явища, які обумовлені внутрішньою взаємодією між фазами та кристалітами, але і є необхідними для вирішення технічних прикладних завдань. Поряд з розмірними ефектами плавлення важливим явищем є також термічна деградація функціональних шарів, інтенсивність якої зростає із зменшенням характерного розміру зразка. Це обмежує можливість подальшої мініатюризації компонентів при збереженні технічно допустимої надійності пристроїв.

Усе зазначене вище становить науковий інтерес з точки зору як вирішення фундаментальних проблем фізики твердого тіла, так і подальшого розвитку мікроприладобудування та сенсорної електроніки. При цьому очевидним є той факт, що для розширення функціональних можливостей приладів та покращення стабільності їх робочих характеристик у часі та під дією, наприклад, температури особливу увагу необхідно приділяти вивченню фізичних процесів у однокомпонентних та бінарних плівкових матеріалах, механізмів і умов фазоутворення.



Цей комплекс невирішених питань обумовив актуальність тематики дисертаційної роботи та її мету, яка полягала у встановленні фізичної суті процесів, що впливають на термічне диспергування плівок суцільних у вихідному стані та визначенні особливостей утворення рідкої фази в одношарових полікристалічних плівках металів (Pb, Sn, In, Bi) та бінарних системах на основі Bi, Sn, Pb та In.

На користь актуальності досліджень говорить той факт, що вони виконувались у рамках п'яти держбюджетних науково-дослідних робіт: «Плавлення-кристалізація в конденсованих плівках металів та хімічних сполук» (№ держреєстрації 0109U001325). «Фазові перетворення в одно- та двокомпонентних нанорозмірних плівкових системах» (№ держреєстрації 0111U007956), «П'єзокварцовий резонатор як *in situ* метод дослідження фазових перетворень в нанорозмірних плівках металів та сплавів» (№ держреєстрації 0115U000478), «Фазові і структурні перетворення та електрокінетичні явища у двокомпонентних наносистемах» (№ держреєстрації 0115U000461), «Термічна стабільність та умови утворення впорядкованих острівцевих структур в полікристалічних плівках металів» (№ держреєстрації 0117U004867). Здобувач брав участь у виконанні зазначених НДР як виконавець.

Загальна характеристика, структура і наукова новизна роботи

У дисертаційній роботі розв'язана актуальна задача сучасної фізики, що полягає у встановленні загальних закономірностей процесів термічного диспергування та утворення рідкої фази в одношарових полікристалічних металевих плівках і шаруватих бінарних функціональних матеріалах (Bi/Sn, Pb/Sn).

Дисертаційна робота Чурілова І.Г. складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатку. Усі пункти викладені коректно та в повній мірі відображають проблематику роботи і наукові шляхи її вирішення. Дисертаційна робота характеризується науковою стилістикою і

термінологією, викладення матеріалу логічністю, послідовністю і структурованістю. Дисертація має достатню кількість ілюстративного та графічного матеріалу.

Аналізуючи роботу в цілому, можна вказати найбільш вагомимі фундаментального і прикладного характеру наукові результати, які визначають **наукову новизну** роботи.

1. Установлено, що пори в плівкових матеріалах утворюються на потрібних стиках в процесі конденсації до початку відпалювання.

2. Уперше експериментально виявлена, що наявність кінцевого температурного інтервалу плавлення в полікристалічних плівках Pb, Sn, In, Bi та Bi/Sn, Pb/Sn – це прояв внутрішнього розмірного ефекту.

3. Здійснено подальший розвиток методів аналізу структурного стану як ефективного способу встановлення причин зниження температури початку утворення рідкої фази. Показано, що енергетичними факторами, які зумовлюють початок утворення рідкої фази, є енергія міжзеренних та міжфазних меж.

4. Уперше здійснено порівняльний аналіз масивів частинок, які утворюються при плавленні плівок олова та конденсовані за механізмом паракристал, та масивів, що виникають внаслідок конденсації безпосередньо у рідку фазу. Встановлено, що для першого випадку характерні великі коефіцієнти заповнення, а для другого - такі коефіцієнти спостерігаються тільки при деякій масовій товщині, меншій за критичну.

Вищевказані наукові результати мають як фундаментальне значення з точки зору дослідження механізмів і особливостей внутрішнього розмірного ефекту в одношарових та шаруватих плівках та визначення впливу міжзеренних та міжфазних меж на морфологічні зміни полікристалічних зразків, так і прикладне значення з точки зору можливості прогнозування термічної стабільності функціональних шарів, які використовуються у сучасній електроніці, на основі результатів дослідження твердофазного диспергування плівкових матеріалів.

Публікації та апробація результатів дисертації

За темою роботи дисертантом у співавторстві опубліковано 22 наукові праці, з яких два розділи монографій, опубліковані видавництвом «Springer Nature», 10-ти наукових статей, у т.ч. 4-х статей у журналах, що індексуються наукометричною базою Scopus, 5-ти у фахових наукових виданнях України, 10-ти тез доповідей на міжнародних наукових конференціях. В усіх опублікованих працях Чуріловим І.Г. ґрунтовно та в повному обсязі висвітлені основні наукові положення, результати і висновки дисертаційної роботи.

Отримані дисертантом наукові положення і результати досліджень апробовані на наукових конференціях різного рівня, зокрема, XV, XVI та XVII Міжнародних конференціях «Physics and technology of thin films and nanosystems: ICPTTFN» (м. Івано-Франківськ, 2015, 2017 та 2019 рр.), VIII Міжнародній науково-технічній конференції «Сенсорна електроніка і мікросистемні технології» (м.Одеса, 2018 р.); 9th IEEE International Conference on Nanomaterials: «Applications & Properties» (м.Одеса, 2019 р.); XIV Міжнародній науковій конференції «Фізичні явища в твердих тілах» (м. Харків, 2019 р.); Всеукраїнській конференції з міжнародною участю «Хімія, фізика та технологія поверхні» НАН України (м.Київ, 2020 р.); XXX Міжнародній науково-практичній конференції «Information technologies: science, engineering, technology, education, health» (м.Харків, 2022 р.).

У ході вивчення та аналізу тексту дисертаційної роботи і наукових публікацій автора, в яких висвітлені основні наукові результати, порушення академічної доброчесності виявлено не було.

Практичне значення результатів та рекомендації щодо їх використання

Одержані в роботі результати можуть бути використані для поглиблення існуючих загальнонаукових уявлень про механізм твердофазного розпаду плівок, суцільних у вихідному стані, та є корисними для прогнозування

термічної стабільності при розробці функціональних шарів в багатошарових матеріалах сучасної електроніки.

Результати вивчення внутрішнього розмірного ефекту, який спостерігається у фактично масивних зразках, поглиблюють теоретичні уявлення про механізми еволюції морфології плівок під час їх диспергування та вплив міжзеренних і міжфазних меж на особливості фазових перетворень у нанокристалічних структурах.

При розробці та удосконаленні технологій формування функціональних масивів наночастинок, які є складовою частиною фотокаталітичних генераторів, сенсорів та термоелементів, важливими є результати процесів упорядкування речовини, та умов, які впливають на зміну морфології шарів при їх диспергуванні та при формуванні рідкої фази.

Достовірність результатів та ступінь обґрунтування наукових положень

Достовірність отриманих у дисертаційній роботі результатів та ступінь обґрунтованості наукових положень і висновків забезпечується, в першу чергу, застосуванням автором роботи сучасних експериментальних методів досліджень. Для формування плівок використовувались методи вакуумної конденсації зразків. Електронно-мікроскопічні дослідження структури і фазоутворення плівкових матеріалів проводили з використанням растрових електронних мікроскопів (Jeol JSM-840, Vega3 Tescan LMH) з детекторами вторинних зворотно розсіяних електронів та енергодисперсійного рентгенівського випромінювання з можливістю побудови елементних карт та системами цифрової реєстрації зображень.

Для покращення умов проведення експерименту Чуріловим І.Г. були модернізовані системи відкачування високовакуумних установок: розроблені пастки для форвакуумних насосів з охолодженням рідким азотом та виготовлено оснащення для формування зразків різними методами, відпрацьована методика отримання шаруватих зразків з використанням методу послідовної конденсації та диференційного методу.

Крім того, достовірність, обґрунтованість і коректність наукових результатів та висновків дисертаційної роботи забезпечується систематичністю і повторюваністю отриманих результатів та узгодженням їх з результатами інших авторів.

Оформлення дисертації відповідає вимогам до такого виду робіт і наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Зауваження щодо змісту і оформлення роботи

Дисертаційна робота виконана на високому професійному рівні та залишає позитивне враження, однак, має певні недоліки.

1. Основною ідеєю дисертанта є ідея про те, що внутрішні межі плівкових систем можуть впливати (яким чином - ?) на процеси утворення рідкої фази, але при цьому ним не враховуються ще й дифузійні процеси, які можуть протікати в плівках до початку плавлення.

2. Для кількісного опису розмиття температури плавлення, причиною якого, на думку автора дисертаційної роботи, стала наявність міжзеренних (однокомпонентні зразки) і міжфазних (бінарні системи) меж, використовуються параметри травлення плівок, але вони не наведені і не пояснені в тексті роботи.

3. Не до кінця зрозумілим залишається питання немонотонної концентраційної залежності енергії активації процесів пороутворення в бінарних зразках та виду енергії, яка була визначена автором в такий спосіб. Також виникає питання: яку фізичну роль відіграє надлишкова енергія, значення якої автором розраховано для процесу розпаду плівок?

4. Оскільки авторська модель передбачає, що шарувата структура плівок зберігається безпосередньо до моменту початку утворення рідкої фази і забезпечує розмиття евтектичної температури, але дифузійна активність може порушити шарувату структуру плівок до їх плавлення і зразки будуть вже

гомогенізованими під час нагрівання, було б корисно більш детально пояснити причину збереження шаруватої структури плівкових систем при їх нагріванні.

5. Дисертант стверджує, що межі зерен на початкових етапах розпаду суцільних плівок відіграють визначальну роль, але, слабо визначена і описана роль контактного плавлення у процесах фазоутворення евтектичних систем (у роботі та авторефераті наведені лише фрагментарні згадування про контактне плавлення без детального розгляду цього складного процесу).

6. На рис. 3.9 наведені температурні залежності середнього розміру пор в плівках при різних концентраціях компонент, але не вказані одиниці вимірювання концентрації (атомні чи масові %).

7. На EDX спектрах, отриманих від диспергованих плівок на основі Pb, In та Mo (рис.5.11) спостерігаються лінії Si високої інтенсивності, автору дисертаційної роботи слід було б пояснити їх походження.

8. По тексту дисертації зустрічаються окремі граматичні помилки та орфографічні неточності.

Усі вказані зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Чурілова Ігоря Георгійовича, яка є одноособово створеною кваліфікаційною науковою працею, що містить сукупність результатів і наукових положень, поданих автором для публічного захисту, та відповідає спеціальності 01.04.07 «Фізика твердого тіла».

Загальний висновок

Дисертаційна робота Чурілова І.Г. є завершеним науковим дослідженням, в якому вирішена проблема сучасної фізики твердого тіла, пов'язана із встановленням фізичних закономірностей процесів термічного диспергування та особливостей утворення рідкої фази в об'єктах дослідження.

Автореферат відповідає змісту дисертаційної роботи, результати досліджень повністю відображені в публікаціях. Враховуючи актуальність тематики, обґрунтованість, новизну та практичну цінність результатів досліджень, вважаю, що дисертаційна робота «Особливості термічного впливу

на морфологічні зміни і механізм утворення рідкої фази у конденсованих однокомпонентних плівках (Pb, Sn, In, Bi) та у бінарних шаруватих плівках (Bi/Sn, Pb/Sn, Pb/In)» задовольняє встановленим вимогам МОН України щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата наук, а саме, пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», а її автор, Чурілов Ігор Георгійович, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла.

Офіційний опонент
 завідувачка кафедри електроніки,
 загальної та прикладної фізики
 Сумського державного університету,
 д.ф.-м.н., професор



Л.В. Однорець

Однорець Л.В.

Підпис *Однорець*
 зсвідчую
Л.В. Однорець (відділу кадрів)
Л.В. Однорець

