

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу Кожевнікова Олега Євгенійовича
«Рафінування гафнію методом безтигельної зонної плавки
і дослідження його властивостей»,

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

Розвиток сучасної фундаментальної та прикладної науки неможливо представити без розробки і дослідження нових матеріалів. Інтерес до отримання високочистих металів визначається необхідністю встановлення дійсних фізико-механічних властивостей речовин, для чого і проводяться дослідження впливу домішкових та кристалічних дефектів на характеристики матеріалу.

Гафній – це метал, який характеризується унікальним фізико-механічними властивостями: високою температурою плавлення, міцністю, пластичністю, нейтронно-фізичними характеристиками, радіаційною та корозійною стійкістю у воді та повітрі. Для використання в сучасних технологіях (електронна кераміка, рентгенівські та телевізійні трубки, ефективні детектори нейтронного випромінювання, суперсплави, тощо) потрібні гафнієві матеріали високої чистоти, яка може бути досягнута у разі проведення додаткових фізичних процедур рафінування. Тому дисертаційна робота Кожевнікова О.Є., що присвячена дослідженню процесів взаємодії домішок з гафнієм в умовах дії зовнішніх факторів (температури, вакууму, електричного поля), особливостям рафінування методом безтигельної зонної плавки, еволюції фізичних та механічних властивостей гафнію в залежності від вмісту домішок, має велике наукове та практичне значення, а її **актуальність** не викликає сумніву.

Обраний напрямок досліджень **тісно пов'язаний з науковою тематикою** науково-дослідних робіт Національного наукового центру “Харківський фізико-технічний інститут” НАН України в рамках наступних державних програм: Програма робіт з атомної науки і техніки ННЦ ХФТІ на період 2001-2010 рр. і 2011-2015 рр., яка була затверджена Міністерством освіти і науки та НАН України, № держреєстрації 0111U008993;



Цільова програма наукових досліджень НАН України «Науково-технічний супровід розвитку ядерної енергетики та застосування радіаційних технологій у галузях економіки» за Розпорядженням Президії НАН України від 31.05.2011 р. № 365, № держреєстрації 0111U007505; Цільова програма наукових досліджень НАН України «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин» («Ресурс»), яка виконувалася за Постановою Кабінету Міністрів України від 08.10.2004 р. №1331 та за розпорядженням Президії НАН України № 131 від 25.02.2011 р., № держреєстрації 0104U006582, № держреєстрації 0107U009725.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень.

Основні наукові результати дисертаційної роботи були представлені та обговорені на восьми міжнародних конференціях. Основні результати роботи достатньо і своєчасно викладено в 19 наукових роботах, а саме в 7 статтях та 12 матеріалах і тезах доповідей на наукових конференціях. 6 статей опубліковано в наукових виданнях, які включено до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science та задовольняють вимогам Департаменту атестації кадрів МОН України до публікацій, на яких ґрунтується дисертація.

Розрахункові дослідження роботи проводилися в рамках відомих моделей і базувалися на фундаментальних основах фізики твердого тіла. При дослідженнях використовувались експериментальні методи фізики твердого тіла: безтигельна вакуумна зонна перекристалізація, лазерна мас-спектрометрія, дослідження механічних характеристик (мікротвердість, випробування на розтяг), вимір електроопору за чотирьохзондовою методикою, метод одновісного теплового потоку для дослідження теплопровідності, резонансна ультразвукова спектроскопія, рентгенографічні дослідження, металографія. Одержані результати доводять достовірність розрахункових та експериментальних даних, представлених автором в дисертації.

Наукова новизна. Серед найбільш вагомих наукових результатів, вперше отриманих автором, слід відмітити такі:

1. На основі розрахункових (знаходження значень рівноважного k_0 та ефективного k_e коефіцієнтів розподілу, приведеного коефіцієнту випаровування g , тощо) та експериментальних досліджень встановлено закономірності поведінки металевих домішок малої концентрації при

рафінуванні гафнію методом вертикальної безтигельної зонної плавки в вакуумі, а саме: домішки зі значенням $g > 0,5$ (Al, Fe, Ca, Mg, Cr, Cu та ін.) видаляються, насамперед, за рахунок випаровування, а зменшення вмісту домішок з $g < 0,5$ (наприклад, Zr, Mo, Nb, W) відбувається при зонному перерозподілі зі зміщенням в кінцеву частину зразка.

2. Встановлено кореляцію між зміною значень k_0 для домішок малої концентрації в гафнії та різницею атомних радіусів домішки і гафнію в залежності від розташування елементів в Періодичній таблиці.

3. Розрахунковим методом та експериментально досліджено вплив електричного поля на процес рафінування гафнію методом зонної плавки.

4. Запропоновано та реалізовано комплексну методику отримання високочистих монокристалів гафнію, що поєднує високотемпературний прогрів, зонну плавку з різними швидкостями, термоциклювання в області температури поліморфного перетворення.

5. Встановлено особливості механічних властивостей високочистого гафнію в температурному інтервалі 20...800 °С, а саме, виявлено значне розміцнення і пластифікацію рафінованого матеріалу в порівнянні з йодидним та кальцієтермічним гафнієм.

6. Показано, що підвищення чистоти гафнію призводить до значного зниження величини залишкового питомого електроопору, збільшення максимуму теплопровідності ($\lambda_{\max} \approx 53 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$ при 26 К) і зміщення піка в сторону більш низьких температур, яке припадає на область непружного розсіювання електронів на фонах, зменшення значення числа Лоренца.

7. Визначено відмінності в температурній залежності швидкості поширення поздовжнього ультразвуку в монокристалах гафнію, що обумовлено домішковою чистотою та структурною досконалістю. Зміна коефіцієнту поглинання ультразвуку $\Delta\alpha_L$ при частотах 20, 50 і 150 МГц пов'язана з дисипацією пружної енергії внаслідок домішкової чистоти (проявляється в нахилі кривих $\Delta\alpha_L$), дислокаційної структури і процесів дислокаційного тертя (найпомітніше при 50 МГц), фонного розсіювання (активізація при $T = 120 \text{ К}$, що найбільш помітно при 20 МГц).

Значимість роботи для науки і практики.

Практичне значення результатів дисертаційної роботи не викликає сумніву. Виконана робота визначає фізичні закономірності поведінки металевих та газових домішок при рафінуванні гафнію методом вертикальної

безтигельної зонної плавки в умовах дії зовнішніх факторів (температури, вакууму, електричного поля). Одержані в роботі результати можуть бути використані в наукових дослідженнях в галузі фізики твердого тіла та матеріалознавства. Розроблений метод отримання високочистих монокристалів може бути застосований при проведенні робіт з іншими хімічно активними металами.

Зауваження щодо змісту дисертації.

При вивченні тексту дисертаційної роботи виникнули деякі зауваження:

1. Дисертант не завжди приділяє необхідну увагу оцінці погрешностей вимірювань. Так, наприклад, на рис. 4.17, 4.26, 5.6 не вказана похибка наведених значень мікротвердості та відносного подовження.

2. Четвертий розділ, ймовірно, повинен містити більш чітко і компактно викладену методику отримання високочистих монокристалічних зразків гафнію.

3. У ряді випадків необхідно вживати загальноприйнятні вислови, наприклад, у підрозділі 4.2 замість «газовиділення» вживати термін «дегазація».

4. На мій погляд, в дисертаційній роботі доцільно було б вказати можливості практичного використання рафінованого матеріалу отриманої чистоти.

В цілому, ці зауваження не зменшують позитивного враження від дисертаційної роботи, яка є закінченою науковою працею.

Автореферат повністю відповідає змісту і основним положенням дисертації.

Дисертаційну роботу Кожевнікова Олега Євгенійовича «Рафінування гафнію методом безтигельної зонної плавки і дослідження його властивостей» виконано на високому науковому рівні і присвячено вирішенню важливої наукової задачі – визначенню фізичних закономірностей поведінки домішок при рафінуванні гафнію методом вертикальної безтигельної зонної плавки, отриманню та дослідженню високочистого полі- і монокристалічного гафнію з комплексом досконаліших фізичних та механічних властивостей.

По актуальності, науковому рівню і практичному значенню одержаних результатів дисертаційна робота Кожевнікова О.Є. «Рафінування гафнію методом безтигельної зонної плавки і дослідження його властивостей» повністю відповідає вимогам Департаменту атестації кадрів МОН України, зокрема пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів».

Вважаю, що Кожевніков Олег Євгенійович заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла.

Офіційний опонент,
доцент кафедри інформаційних технологій
у фізико-енергетичних системах
Харківського національного університету
імені В. Н. Каразіна,
кандидат фізико-математичних наук



Р. В. Сухов

Підпис Сухова Р. В., кандидата фізико-математичних наук, доцента кафедри інформаційних технологій у фізико-енергетичних системах Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, завіряю.

Учений секретар
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна
кандидат політичних наук, доцент
Наталія Анатоліївна Вітнікова

