

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Корнійця Анатолія Васильовича

**«Низькотемпературні акустичні та пружні властивості чистого гафнію,  
цирконію і аморфних сплавів на основі цирконію»,**

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

### **1. Актуальність теми.**

Комплексне дослідження низькотемпературних акустичних і пружних властивостей надчистих металів Hf та Zr в різних структурних станах, аморфних сплавів на основі цирконію  $Zr_{41,2}Ti_{13,8}Cu_{12,5}Ni_{10}Be_{22,5}$ ,  $Zr_{52,5}Ti_5Cu_{17,9}Ni_{14,6}Al_{10}$ ,  $(Zr_{55}Al_{10}Ni_5Cu_{30})_{99}Y_1$  та високоентропійного сплаву  $Al_{0,5}CoCrCuFeNi$ , визначення низки фундаментальних параметрів, які характеризують ці властивості, продиктовано як природним ходом розвитку фізики твердого тіла, так і потребами інженерної практики. Одним із актуальних завдань сучасної фізики твердого тіла та матеріалознавства є створення конструкційних матеріалів з високими технологічними та експлуатаційними характеристиками. Визначення фізичних механізмів, які обумовлюють параметри, що характеризують основні акустичні та пружні властивості вказаних матеріалів в інтервалі температур 78-300 К є цінним довідковим матеріалом для технологів і матеріалознавців. Ці знання можна використовувати для оптимізації вибору матеріалів при функціональному використанні досліджуваних матеріалів в таких напрямках, як атомна енергетика, аерокосмічна галузь, електроніка, медицина, для прогнозування поведінки даних металів і сплавів в умовах експлуатації при низьких температурах, для подальшого розвитку теорії пружності з урахуванням структурних особливостей чистих металів і багатокомпонентних аморфних сплавів.

Актуальність теми роботи підтверджується так само й тим, що вона пов'язана з виконанням наукових досліджень лабораторії фізики кристалів

Інституту фізики твердого тіла, матеріалознавства та технологій Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України в рамках наступних державних програм: «Дослідження взаємозв'язку структури, сформованої із застосуванням інтенсивних пластичних деформацій і конденсації при криогенних температурах, ультразвукових, термічних і магнітних дій, і фізико-механічних властивостей металів, сплавів і сполук, перспективних для використання в атомній енергетиці» (2008 р., номер держреєстрації 080901UP0009); та «Експериментальні та теоретичні дослідження впливу різних фізичних полів (температурно-силових, радіаційних, магнітних, електричних) на формування структури і фізичних властивостей матеріалів атомної енергетики» (2015 р., номер держреєстрації 011U008994).

## **2. Ступінь обґрунтованості і достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій.**

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі Корнійця А. В. є дуже високою. Вона базується на досконалому аналізі багатьох використаних джерел за даною проблемою, гармонійній постановці мети і задач дослідження, використанні сучасних методів досліджень, розумному співставленні результатів, критичному аналізу отриманих результатів у порівнянні з результатами інших дослідників, якісному формулюванню отриманих висновків. Дисертаційна робота являє собою закінчений труд. Він поєднує добротний огляд літератури з оригінальними експериментальними знахідками та результатами, спрямованими на впровадження. Згідно з викладеним вище обґрунтованість наукових положень, висновки результатів дослідження і рекомендації, що сформульовані в дисертаційній роботі, не підлягають сумніву.

При виконанні поставленої мети досліджень було коректно використано комплекс добре апробованих, взаємодоповнюючих експериментальних методів фізики твердого тіла. Електронна та оптична мікроскопія, а також металографія використовувались для вивчення мікроструктури. Вміст хімічних домішок

досліджували методом лазерної мас спектрометрії. За допомогою рентгеноструктурного аналізу вивчалася структура, субструктура, теплофізичні властивості, виконувалася орієнтація монокристалів. Основні акустичні характеристики визначали імпульсним методом акустичного містка. Розрахункові дослідження роботи проводилися в рамках добре апробованих відомих моделей фізики твердого тіла і базувалися на фундаментальних основах фізики твердого тіла. Застосування комплексу незалежних експериментальних та аналітичних методів, які взаємно доповнюють одне одного, забезпечило достовірність отриманих результатів.

### **3. Основні наукові результати дисертації, їх новизна.**

Основні нові наукові результати дисертант виклав у шести пунктах. Я з ним повністю згоден, хоча деякі можна було розділити. В короткій формі відмічу окремі з них, на мій погляд найяскраві.

1) Для чистого (99,7 %) Hf в інтервалі температур 78-300 К вперше одержано весь спектр величин (дев'ять), які характеризують пружні та теплові властивості матеріалу. Це дані, які необхідно занести у довідник з механічних властивостей.

Тут же, як другорядне, автор надає, що визначена температурна залежність характеристичної температури Дебая та параметра Грюнайзена від вмісту домішок.

2) Встановлено, що зниження концентрації домішок в монокристалічному Hf(0,3% Zr) призводить до зростання (8–12 %) величин сталих тензора пружності в порівнянні з Hf(4,1% Zr) внаслідок підвищення структурної досконалості кристалу.

3) Для чистого (99,98%) ультрадрібнозернистого Zr встановлено, що наявність максимуму внутрішнього тертя на температурній залежності (78-300 К) поглинання поздовжнього ультразвуку при частотах 20 та 50 МГц обумовлено внеском коливань дислокацій нерівноважної зернограничної області;

4) В аморфних сплавах на основі цирконію в інтервалі температур 78-300 К виявлені нові механізми поглинання ультразвукових хвиль мегагерцового (20-150

МГц) діапазону частот пов'язані з термоактивованими релаксаційними процесами, зумовленими «міграцією» кластернограничних атомів в полі знакозмінних ультразвукових напружень; в рамках феноменологічної моделі Дебая визначена енергія міграції ( $E_m \sim 0,3$  eV) атомів.

5) В рамках моделі ефективної об'ємної упаковки кластерів вперше визначений розмір області середнього впорядкування, який склав для сплавів  $Zr_{41,2}Ti_{13,8}Cu_{12,5}Ni_{10}Be_{22,5}$  і  $Zr_{52,5}Ti_{5}Cu_{17,9}Ni_{14,6}Al_{10}$ , відповідно, 0,98 і 1,05 нм.

#### **4. Практична значимість результатів для науки і використання.**

Отримані результати є цінним довідковим матеріалом. Здобуті прецизійні дані акустичних, пружних та теплофізичних характеристик дають можливість отримати більш достовірні дані при комп'ютерному моделюванні мультифізичних досліджень. Дані можуть бути успішно використані при оптимізації вибору матеріалів в умовах застосування. З урахуванням структурних особливостей чистих металів і багатокомпонентних аморфних сплавів вони дають поштовх для подальшого розвитку теорії пружності. Результати досліджень чистих матеріалів надають можливість більш правильно оцінити фізико-механічні властивості, які пов'язані з власною природою металів.

#### **5. Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.**

Основні положення та результати дисертаційної роботи достатньо повно опубліковані в 22 наукових працях, у тому числі у 8 статтях у наукових фахових виданнях України та інших країн. У цілому, рівень і кількість публікацій та апробація матеріалів дисертації на конференціях повністю відповідають вимогам ДАК МОН України.

Автореферат є ідентичним за змістом з основними положеннями дисертації і достатньо повно відображає основні її наукові результати, що отримані здобувачем. Серед робіт, опублікованих за темою дисертації немає публікацій ідентичних за змістом. Дисертаційна робота не містить ознак академічного плагіату.

## 6. Зауваженні до тексту, та змісту дисертації

1. В роботі обговорюється вплив домішок (Hf(0,3% Zr) в порівнянні з Hf(4,1% Zr)) на дислокаційне тертя при поглинанні звукової хвилі дислокацією. Нема уточнення про які домішки йде мова, тому що основна домішка цирконій є домішкою заміщення з різницею у атомних радіусах у 0,007 нм. Не зрозуміло як це може вплинути на формування перегинів на дислокаціях.

2. Не зважаючи на те, що представлено результати експериментальні на всіх рисунках не вказаний довірчий інтервал.

3. На стор. 71 вказується, що відносна похибка при визначенні параметрів гексагональної решітка становила  $\pm 1 \cdot 10^{-5}$ . З тексту дисертації не зрозуміло, як при нерухомому (вочевидь) кріостаті можна було б досягнути такої надвисокої точності. Вочевидь автор помиляється на порядок, до того ж на стор. 74 наведено величини  $a=3,1950 \pm 5 \cdot 10^{-4} \text{ \AA}$  і  $c=5,0542 \pm 5 \cdot 10^{-4} \text{ \AA}$ .

4. У розділі 2. Експериментальні методики і матеріали дослідження наведено широкий спектр методів дослідження. Але в тексті подальших розділів йде мова про результати, отримані за допомогою акустичних випробувань. Зрозуміло, що мікроскопія та РСА використовували для вивчення вихідного стану. Вважаю що доцільним було би такі дані навести на початку кожного наступного розділу.

5. Стор. 80- 81 та в подальшому в реченні «величина швидкості поширення ультразвукових хвиль зі зниженням температури зростає... внаслідок впливу теплового руху» вочевидь не дістає слова «пригнічення».

6. Позначення швидкості поширення хвиль великою буквою  $V$  не дуже вдало, тому що, наприклад, у формулі 3.1 є множення  $V$  на густину  $\rho$ , а в чисельнику є температура  $T$  та теплоємність. Мозок сам сприймає це як об'єм.

7. Зауваження-питання. Пункт 3.3.3 звучить як «Температурна залежність модулів пружності і коефіцієнта Пуассона монокристала йодидного гафнію». Чи можна говорити про коефіцієнт Пуассона та модуль Юнга для монокристалів, якщо вони введені для характеристики деформації полікристалів? Тук викладені дані про їх розрахунки на основі відомих формул та даних, що отримані при

дослідженні монокристалів. Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи.

## ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Корнійця Анатолія Васильовича «Низькотемпературні акустичні та пружні властивості чистого гафнію, цирконію і аморфних сплавів на основі цирконію» є закінченою науковою працею, у якій вирішено поставлене наукове завдання. У дисертації розв'язується важливе наукове завдання, суть якого полягає у з'ясуванні фізичних механізмів зміни параметрів, які характеризують основні акустичні та пружні властивості чистих металів гафнію і цирконію в різних структурних станах та аморфних сплавів на основі цирконію –  $Zr_{41,2}Ti_{13,8}Cu_{12,5}Ni_{10}Be_{22,5}$ ,  $Zr_{52,5}Ti_{5}Cu_{17,9}Ni_{14,6}Al_{10}$  і  $(Zr_{55}Al_{10}Ni_{5}Cu_{30})_{99}Y_1$  в інтервалі температур 78-300 К. Вона за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 01.04.07 – фізика твердого тіла. Дисертаційна робота відповідає вимогам п. п. 9, 11, 12 “Порядку присудження наукових ступенів” щодо кандидатських дисертацій, а здобувач Корнієць А.В. заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата фізико - математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла.

Офіційний опонент

завідувач кафедри фізики металів та напівпровідників

Національного технічного університету

«Харківський політехнічний інститут»

доктор фізико-математичних наук, професор

Малихін С.В.

Підпис зав. каф. ФМН, доктора фіз.-мат. наук, проф. Малихіна С.В.

ЗАСВІДЧУЮ



вчений секретар

Національного технічного університету

"Харківський політехнічний інститут"

Заковоротний О.Ю.