

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Солопіхіна Дмитра Олексійовича

«Високочисті метали для низькофонових сцинтиляторів»,

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

1. Актуальність теми.

В дисертаційній роботі за мету ставили дослідження фізичних процесів глибокого рафінування, розробку методів та отримання високої чистоти зразків із природного Cd, ізотопно-збагачених ^{106}Cd і ^{116}Cd та археологічного Pb, які придатні для одержання сцинтиляторів із низьким фоном, а також дослідження фізико-механічних властивостей високочистих компонентів і сцинтиляційних кристалів на їх основі. Високочисті метали та речовини мають важливе значення, як з практичної сторони, так і зі сторони фундаментальних досліджень в галузі фізики твердого тіла. Зокрема високочисті Cd, ^{106}Cd , ^{116}Cd і $^{\text{арх}}\text{Pb}$ є перспективними матеріалами і в теперішній час використовуються для отримання високоякісних низькофонових сцинтиляційних детекторів, які необхідні для вирішення актуальних проблем астро- та ядерної фізики. Отже отримання цих високочистих металів продиктовано як природним ходом розвитку фізики твердого тіла, так і потребами інженерної та наукової практики.

Сьогодні існує понад 20 підземних лабораторій, в тому числі й в Україні (м. Солотвіно), де вивчають рідкісні розпади атомних ядер. Серед світових, найвідомішою є підземна Національна лабораторія Гран Сассо (Італія). Останнім часом там проводять експерименти, спрямовані на реєстрацію частинок темної матерії, 2β -розпаду та інших рідкісних ядерних подій, що можна зареєструвати завдяки розвитку низькофонові ядерної спектрометрії, яка не можлива без найсучасніших високоякісних низькофонових сцинтиляторів. Технології отримання високоякісних

низькофононих сцинтиляційних кристалів потребують певної якості високочистих компонент, що мають вплив на якість і чутливість сцинтиляційних детекторів.

Саме тому актуальними є дослідження процесів глибокого рафінування та розробка нових методів отримання високочистих Cd, ^{106}Cd , ^{116}Cd і Pb, придатних для створення низькофононих сцинтиляторів.

Актуальність теми роботи обґрунтовується викликаним інтересом, як з практичної, так і з фундаментальної точки зору. Це підтверджується тим, що вона безпосередньо пов'язана з виконанням ряду державних і галузевих програм, проектів і договірних робіт, які виконувалися в Національному науковому центрі «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України, а саме:

1) Роботи виконані в рамках Відомчої тематики ННЦ ХФТІ: НДР «Розвиток фізичних основ глибокого рафінування металів і створення на їх основі сплавів для атомної і термоядерної енергетики» на 2005-2010 рр. Шифр III-11-06 (ІФТТМТ), № держреєстрації 080906UP0010; НДР «Розробка наукових основ отримання високочистих кристалічних і аморфних матеріалів на основі Be, Zr, Hf та інших металів з поліпшеними фізико-механічними і радіаційними властивостями, які використовуються в ядерній фізиці та енергетиці» на 2011-2015 рр. Шифр III-11-11 (ІФТТМТ), № держреєстрації 0111U008993; НДР «Фундаментальні наукові дослідження зі створення конструкційних та функціональних матеріалів з керованою структурою на основі чистих та надчистих металів (Zr, Hf, Be, Mg, Nb, Cd, Zn, Ag, Te, РЗМ та ін.) з властивостями, що забезпечують сталий розвиток та конкурентоспроможність ядерної енергетики та інших галузей економіки України» на 2016-2020 рр. Шифр III-1-16 (ІФТТМТ), № держреєстрації 0116U006366;

2) НТР «Розробка технологічного процесу очистки ізотопно-збагаченого кадмію до високого ступеня чистоти». Виконана за договором № 06/11 від 20 лютого 2008 р. з Інститутом ядерних досліджень НАН України, м. Київ;

3) НТР «Очистка зразків ізотопно-збагаченого кадмію до високого ступеня чистоти». Виконана за договором № 08/11 від 20 лютого 2008 р. з Інститутом ядерних досліджень НАН України, м. Київ;

4) НТР «Розробка способу отримання високочистого свинцю». Виконана за договором № 14/11 від 09 квітня 2008 р. з Інститутом ядерних досліджень НАН України, м. Київ;

5) НТР «Розробка процесу отримання і виготовлення дослідної партії високочистого археологічного свинцю». Виконана за договором № 11/11-2010 від 29 жовтня 2010 р. з Інститутом ядерних досліджень НАН України, м. Київ;

6) НТР «Очистка археологічного Pb для отримання кристалів $PbWO_4$ ». Виконана на замовлення Національного інституту ядерної фізики (Рим, Італія) №7346 від 25 вересня 2017 року;

7) НДР «Розробка технології отримання монокристалів CdZnTe спектрометричної якості та детекторів на їх основі для діагностики та контролю процесів і обладнання АЕС». Робота виконувалась спільно з Інститутом монокристалів НАН України в період 2016-2018 рр., згідно з програмою НАНУ «Наукове забезпечення розвитку ядерно-енергетичного комплексу та перспективних ядерних технологій». Шифр – «ГЕТТЕР», № держреєстрації 0116U001772.

2. Ступінь обґрунтованості і достовірності наукових положень, висновків та рекомендацій.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі Солопіхіна Д.О. є дуже високою. Вона базується на досконалому аналізі багатьох використаних джерел за даною проблемою, точній постановці мети і задач дослідження, використанні комплексу сучасних, добре апробованих методів дослідження фізики твердого тіла та атестації зразків, серед яких рафінування дистиляцією у вакуумі, мас-спектрометрія, оптична мікроскопія, вивчення механічних,

акустичних та інших властивостей матеріалів. Дисертаційна робота містить розумне співставлення результатів, критичний аналіз отриманих результатів у порівнянні з результатами інших дослідників, якісне формулювання отриманих висновків та являє собою закінчений труд. Він поєднує вагомий огляд літератури з оригінальними розрахунково-експериментальними знахідками і результатами, які дали змогу отримати високочисті Cd, ^{106}Cd , ^{116}Cd і Pb, придатні для створення низькофононих сцинтиляторів, які наразі використовуються в підземній Національній лабораторії Гран Сассо. Згідно з вищевикладеним обґрунтованість наукових положень і висновків дисертаційної роботи та достовірність отриманих результатів, не підлягають сумніву.

3. Основні наукові результати дисертації, їх новизна.

Основні нові наукові результати дисертант виклав у п'яти пунктах. Серед них на мою думку найяскравішими є такі.

1) Результати теоретичних розробок (розділ 3 вважаю наріжним в роботі) та експериментальних досліджень процесів глибокого рафінування Cd, ^{106}Cd , ^{116}Cd , $^{\text{арх}}\text{Pb}$. Вони дозволили винайти комплексний підхід, що поєднує прогрів, фільтрацію і дистиляцію, в тому числі дистиляцію через гетерний фільтр та у рідку фазу, та як наслідок вперше отримати надчисті (> 99,999 мас.%) зразки Cd, ^{106}Cd , ^{116}Cd , $^{\text{арх}}\text{Pb}$. Зокрема вперше показано, що рафінування ^{106}Cd , ^{116}Cd дистиляцією з гетерним фільтром дозволяє знизити практично на порядок вміст домішок проникнення (азот, кисень, вуглець) і ряду металевих домішок, в порівнянні з дистиляцією без фільтру;

2) Вперше встановлено, що при пластичній деформації високочистого Cd при кімнатній температурі спостерігається аномальний ефект зростання зерен, який різко збільшується із підвищенням чистоти кадмію й зменшенням швидкості деформації. В високочистих ізотопно-збагачених ^{106}Cd , ^{116}Cd виявлені ізотопічні ефекти першого та другого порядку в швидкості

поширення та загасання повздовжніх ультразвукових хвиль при низьких температурах (77 - 300 K);

3) Показано, що вперше отримані з високочистих компонентів ^{106}Cd , ^{116}Cd , $^{\text{арх}}\text{Pb}$ високоякісні низькофонові сцинтиляційні кристали мають високе світлопропускання й енергетичну роздільну здатність детектора, які відповідають вимогам чутливих експериментів по дослідженню рідкісних ядерних подій в астрофізиці.

4. Практична значимість результатів для науки і використання.

Отримані результати є дуже цінними для науково-практичного застосування. Розроблений процес глибокого рафінування (Пат. № 94547, № 131214) був застосований, для одержання високочистих (> 99,999 мас.%) гранульованих зразків ^{106}Cd , ^{116}Cd , $^{\text{арх}}\text{Pb}$, необхідних для створення низькофонових сцинтиляторів і світловодів на основі вольфраматів (Cd , ^{106}Cd , ^{116}Cd , $^{\text{арх}}\text{Pb}$) WO_4 . Ці сцинтилятори сьогодні використовуються в підземній Національній лабораторії Гран Сассо (Італія), для пошуку 2β -розпаду ядра ^{106}Cd , з використанням кристала $^{\text{арх}}\text{PbWO}_4$ в якості світловода. Розроблений процес виготовлення та пристрій для гранулювання легкоплавких металів також застосовувались і для отримання напівпровідникових (CdZnTe) та сцинтиляційних (Zn^{82}Se) монокристалів при виконанні спільних робіт з Інститутом монокристалів НАН України та Інститутом сцинтиляційних матеріалів НАН України і Національним інститутом ядерної фізики (Італія) відповідно. Отримані результати досліджень фізико-механічних властивостей високочистих кадмію та його ізотопів дають змогу розширити знання про ці матеріали у галузі фізики твердого тіла.

5. Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Основні положення та результати роботи в повному обсязі опубліковані у 31 науковій праці, у тому числі 11 статтях у наукових фахових

українських та іноземних виданнях, 2 патентах України, 16 матеріалах та тезах доповідей на міжнародних та національних наукових конференціях. 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.

6. Зауваження до тексту та змісту дисертації..

Робота в цілому справляє добре враження, але не позбавлена низки недоліків. Наведу деякі з них:

1. Зауваження методичного характеру до якості формулювання. В тексті дисертаційної роботи наводиться термін «ізоотно-збагачений ^{106}Cd і ^{116}Cd ». На мою думку, правильне формулювання цього терміну «Cd збагачений 106 і 116 ізотопом» відповідно.

2. В дисертаційній роботі визначення чистоти отриманих зразків відбувається за допомогою двох методів мас-спектрометрії, де можна спостерігати добру кореляцію результатів. Не погано було б для отриманих високочистих зразків визначити величину відношення опору при кімнатній та гелієвій температурах, яка також є характеристикою чистоти матеріалу.

3. На рис.3.1 та 3.2 наведені залежності в чорно-білій передачі, а краще було б їх позначити 1, 2, 3 .., а не підписувати через позначення елементів. Особливо це стосується рис.3.2б.

4. З тексту дисертації не зрозуміло як було використано матеріали першої публікації для виконання поставленої в роботі мети.

5. Хотілось би знати, але пояснень нема, чому після гранулювання відбувається збільшення вмісту окремих елементів.

Усі висловлені зауваження не носять принципового характеру, не

торкаються загальної високої оцінки дисертації та не можуть вплинути на загальне позитивне враження від отриманих у роботі нових і важливих експериментальних і фундаментальних результатів.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Солопихіна Дмитра Олексійовича «Високочисті метали для низькофонових скінтіляторів» за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 01.04.07 – фізика твердого тіла. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка дозволила отримати надчисті ^{106}Cd , ^{116}Cd , $^{\text{арх}}\text{Pb}$ з певними характеристиками, відповідними для створення скінтіляційних і напівпровідникових детекторів та визначити фундаментальні фізичні властивості цих матеріалів.

Дисертаційна робота відповідає всім вимогам пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів» щодо кандидатських дисертацій, а здобувач Солопихін Дмитро Олексійович 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  Сергій . МАЛИХІН

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

ЗАСВІДЧУЮ

Вчений секретар Національного технічного університету

«Харківський політехнічний інститут»

 Олександр ЗАКОВОРОТНИЙ

