

**ВІДГУК
ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА**

**на дисертаційну роботу Знаменщикова Ярослава Володимировича
«Структурні, електрофізичні та оптичні властивості плівок CdZnTe
та приладові структури на їх основі», подану на здобуття
наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук
зі спеціальності 01.04.01 – «фізика приладів, елементів і систем»**

Дисертаційна робота Знаменщикова Я.В. присвячена декільком важливим проблемам фізики приладів, елементів і систем, а саме: дослідженню впливу хімічного складу плівок твердих розчинів CdZnTe на їх характеристики з точки зору використання в електронних приладах; вивченню властивостей полікристалічних плівок CdZnTe як матеріалу детекторів радіаційного випромінювання та фотодетекторів; визначенню характеристик, що впливають на якість приладових структур на основі шарів CdZnTe.

Актуальність теми дисертації.

Одержання матеріалів, які можуть бути використані для виготовлення детекторів чутливих до випромінювання різних енергій, є важливою задачею сучасного матеріалознавства. При цьому особлива увага приділяється дослідженню матеріалів придатних для створення напівпровідникових детекторів рентгенівського та гамма випромінювання, оскільки до них висувається ряд жорстких вимог, пов'язаних зі специфікою експлуатації приладів.

У теперішній час широкого використання набули детектори радіаційного випромінювання на основі монокристалів SiC, GaN, CdTe:Cl та CdZnTe. Проте технологія виготовлення якісних монокристалічних матеріалів є складною та високовартісною, в той час як для виготовлення панельних детекторів з великою площею потрібен дешевий детекторний матеріал з високою кристалічною якістю та оптимальними робочими характеристиками. Одним з таких матеріалів є товсті полікристалічні плівки твердого розчину CdZnTe, що вивчались у дисертаційній роботі. Відомо, що фізичні характеристики CdZnTe



значною мірою залежать від вмісту цинку в твердому розчині. Саме тому з метою встановлення експлуатаційних можливостей полікристалічних плівок CdZnTe з різною концентрацією як детекторного матеріалу необхідно провести комплексне дослідження їх структурних, електрофізичних та оптичних характеристик.

Актуальність дисертаційної роботи підтверджується також тим, що дана дисертаційна робота виконувалася у рамках кількох держбюджетних тем.

Новизна і наукова цінність результатів.

У дисертаційній роботі отримано ряд нових наукових результатів, що сприяють подальшому розвитку матеріалознавства в галузі напівпровідникових плівкових детекторів радіаційного випромінювання. Так, автором було проведено комплексне дослідження впливу вмісту цинку на морфологію поверхні, кристалічну структуру, фазовий склад, оптичні та електрофізичні властивості товстих плівок твердих розчинів CdZnTe; визначено фізико-технологічні умови одержання шарів с високою структурною та оптичною якістю для використання у приладах електроніки; виготовлено прототипи чутливих до радіаційного випромінювання детекторів на основі товстих полікристалічних плівок CdZnTe.

Відзначаю **найбільш важливі**, з моєї точки зору, наукові результати, одержані в дисертаційній роботі:

1. Запропоновано технологічний підхід щодо методу вакуумного термічного випаровування в квазізамкненому об'ємі, який дозволяє одержувати гомогенні плівки твердого розчину на основі Cd, Zn і Te із заданою концентрацією цинку шляхом регулювання складу вихідного матеріалу.

2. Розроблено модель процесу рекомбінації нерівноважних носіїв заряду в детекторних структурах при опроміненні збуджуючим світловим випромінюванням, з використанням якої було визначено параметри основних пасткових центрів в матеріалі, які впливають на проходження електричного струму в матеріалі.

3. Розроблено експериментальну методику оцінювання детекторних властивостей полікристалічних плівок CZT з використанням збуджуючого світлового випромінювання видимого діапазону.

Достовірність результатів та ступінь обґрунтованості наукових положень.

Достовірність результатів, одержаних у роботі, зумовлена використанням сучасних методів дослідження матеріалів, таких як енергодисперсійна рентгенівська спектроскопія, скануюча електронна мікроскопія, рентгенівська дифрактометрія, раманівська спектроскопія, низькотемпературна фотолюмінесценція тощо.

Вивчення структурних, оптичних та електрофізичних властивостей зразків проводилось кількома методами, які доповнювали один одного, що дозволило збільшити точність та надійність одержаних результатів.

Більшість результатів та висновків, які наведені у роботі є достатньо повними та обґрунтованими. Одержані дані добре корелюють між собою та з результатами, навереними в інших роботах.

Практичне значення.

Одержані у роботі результати можуть бути використані при розробці та виготовленні детекторів радіаційного випромінювання та фотодетекторів на основі полікристалічних плівок CdZnTe. Розрахунки параметрів пасткових центрів, які впливають на фізичні процеси рекомбінації нерівноважних носіїв заряду в матеріалі, дозволяють провести оцінку його електричних властивостей, що в подальшому може бути використане для оптимізації характеристик напівпровідникового матеріалу. Створена лабораторна установка для вимірювання фотовідклику детекторних структур на основі напівпровідникових плівок може служити для тестування придатності їх використання в приладових структурах.

Апробація результатів дисертації. Публікації. Основні результати роботи відображені у 22-х публікаціях, середі яких 6 статей у фахових виданнях (з них 5 - в іноземних виданнях, що обліковуються наукометричними

базами Scopus та Web of Science). Основні наукові результати роботи достатньо широко доповідалися і представлялися на міжнародних та всеукраїнських конференціях та семінарах.

Зауваження з дисертаційної роботи та автореферату.

1. В роботі не наведено фізичного механізму чому морфологія поверхні та структурні особливості плівок CZT суттєво залежали від вмісту цинку. Чому при його збільшенні до $x \sim 0,5$ відбувалося зниження структурної якості плівок – зменшення розміру зерен та утворення кристалітів неоднорідної форми, а при подальшому підвищенні x до значення $x \sim 1$ спостерігалось деяке поліпшення якості шарів, вирощених шляхом випаровування суміші шихти CdTe та ZnTe.

2. В роботі відсутнє пояснення чому плівки CZT, одержані шляхом випаровування суміші шихти CdTe та ZnTe, мали кращу кристалічну якість порівняно з плівками, одержаними шляхом співвипаровування шихти CdTe та ZnTe з двох випарників.

3. Дослідження спектрів низькотемпературної фотолюмінесценції було проведено лише для серії зразків, нанесених шляхом співвипаровування шихти CdTe та ZnTe з двох випарників. Проте дослідження фотолюмінесценції для другої серії зразків, що були нанесені шляхом випаровування суміші шихти CdTe та ZnTe з одного випарника, не було проведено.

4. В розділі 5 висловлюється припущення щодо виникнення гетеропереходу pCdZnTe/nITO, проте його вплив не враховується в моделі перенесення нерівноважних носіїв заряду, що була запропонована дисертантом.

5. Для підтвердження припущення про вплив двох основних типів рекомбінаційних центрів на проходження струму в детекторних структурах на основі плівок CdZnTe варто було провести додаткові електровимірювання для дослідження пасток, наприклад, із застосуванням методів вимірювання залежностей температура-провідність, thermal admittance spectroscopy, deep level transient spectroscopy, тощо.

Однак наведені вище зауваження не мають принципового характеру та не знижують цінності одержаних у дисертації результатів, їх практичного

значення, та не ставлять під сумнів достовірність і обґрунтованість основних положень, що виносяться на захист.

Оформлення дисертаційної роботи відповідає встановленим вимогам. Автореферат повністю відображає зміст дисертаційної роботи.

В цілому, дисертаційна робота Знаменщикова Я.В. являє собою завершене експериментальне і теоретичне дослідження, що виконане на високому науковому рівні та представляє як науковий, так і практичний інтерес. За своїм змістом дисертаційна робота повністю відповідає спеціальності 01.04.01 – «фізика приладів, елементів і систем».

На підставі вищенаведеного вважаю, що дисертаційна робота Знаменщикова Ярослава Володимировича «Структурні, електрофізичні та оптичні властивості плівок CdZnTe та приладові структури на їх основі» є заведеною науковою працею, яка виконана на високому науковому рівні, і за актуальністю, науковою новизною та практичним значенням відповідає вимогам пп. 9, 11, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р. щодо кандидатських дисертацій, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.01 – «фізика приладів, елементів і систем».

Офіційний опонент –
проректор з науково-педагогічної діяльності
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»
доктор технічних наук, професор



Г.С. Хрипунов

