

ДОДАТОК А

Форма відомості кваліфікаційної роботи магістра

[illegible]

ДОДАТОК Б

Кафедра мікроелектроніки, мікроелектронних
приладів та пристроїв

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

ЗАСТОСУВАННЯ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ДЕТЕКТОРІВ
НА ОСНОВІ CDZnTE В СИСТЕМАХ МЕДИЧНОЇ
ДІАГНОСТИКИ

Керівник:
Грицунов О. В.

Виконав:
ст. гр. МНПМ-20-1
Виплавін І. Л.

Харків 2021

Вступ

Медична радіологія є важливою складовою сучасної медицини. Завдяки їй продовжено життя багатьох пацієнтів, добуто нові важливі дані про функціонування людського організму, механізми зародження та розвитку злоякісних пухлин, можливі методи боротьби з ними тощо.

Незважаючи на велику кількість новітніх досліджень в області розробки та виробництва обладнання для радіаційного моніторингу, залишається не повністю вирішеним завдання виготовлення надійних, високочутливих та малогабаритних детекторів, які можуть точно визначати експозиційну дозу штучних радіаційних джерел медичного призначення в широкому діапазоні інтенсивностей та енергій частинок іонізуючого випромінювання.



Розроб.	Виплавін І. Л.			Застосування напівпровідникових детекторів на основі CdZnTe в системах медичної діагностики	
Перев.	Грицунов О. В.				
Н. контр.	Шевченко Н. Є.				
					Аркуш
Затв.	Бондаренко І.М.			ХНУРЕ, каф. МЕЕПП	Аркушів

Основна інформація про CdZnTe

Телурид кадмію-цинку (CdZnTe) є сполукою кадмію, цинку та телуру або, точніше, сплавом телуриду кадмію та телуриду цинку. Як напівпровідник, він використовується в різних областях науки і техніки, наприклад, детекторах випромінювання напівпровідникових решіток, електрооптичних модуляторах, сонячних батареях, генераторах та детекторах електромагнітних хвиль терагерцового діапазону та ін.

Детектори іонізуючого випромінювання, що використовують кристали CdZnTe, можуть працювати у фотопровідному режимі при кімнатній температурі, на відміну від інших напівпровідникових матеріалів (наприклад, германію), що потребують охолодження рідким азотом. Їх переваги включають високу чутливість до рентгенівських і гамма-променів через високі атомні номери Cd і Te, а також більшу енергетичну роздільну здатність порівняно з сцинтиляційними детекторами.



Переваги використання детекторів на основі CdZnTe

- Детектори телуриду цинку-кадмію були розроблені спеціально для використання в рентгенівській спектроскопії та гамма-спектроскопії. Висока щільність цих матеріалів означає, що вони можуть ефективно перетворювати рентгенівські та гамма-промені з енергією понад 20 кеВ, які традиційні кремнієві датчики не в змозі виявити.
- На рисунку знаходяться зображення, отримані в результаті сканування сцинтиляційним детектором (зліва), та напівпровідниковим детектором на основі CdZnTe (зправа). Стрілкою позначено новоутворення, яке видно тільки на зображенні, отриманому за допомогою CdZnTe-детектору.

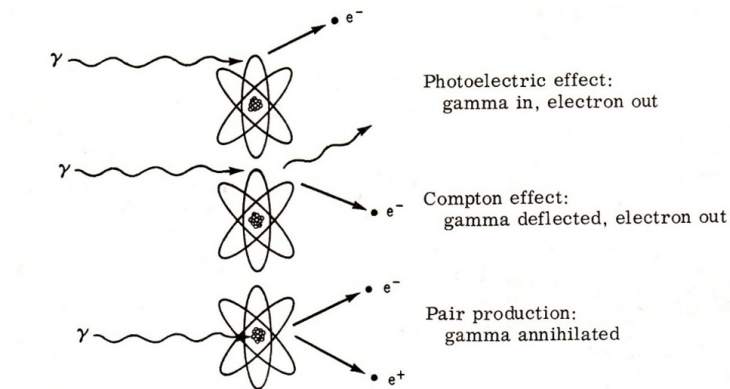


Розроб.	Виплавін І. Л.			Застосування напівпровідникових детекторів на основі CdZnTe в системах медичної діагностики	
Перев.	Грицунов О. В.				
Н. контр.	Шевченко Н. Є.				
					Аркуш
Затв.	Бондаренко І.М.			ХНУРЕ, каф. МЕЕПП	Аркушів

Принцип роботи напівпровідникових детекторів

- Всі напівпровідникові детектори працюють як твердотільні іонізаційні камери. При попаданні кванту іонізуючого випромінювання в кристал напівпровідника, в кристалі утворюються носії заряду. В детекторі на кристал подається велика напруга, і при утворенні носіїв заряду, вони миттєво проводять електричний струм, і за кількістю носіїв можна визначити, яку енергію квант передав кристалу.
- Квант іонізуючого випромінювання може взаємодіяти з речовиною кристала за трьома різними ефектами:
 - фотоелектричний ефект, при якому фотон передає всю свою енергію електрону;
 - ефект Комптона, при якому фотон передає частину своєї енергії електрону, в результаті чого утворюється фотон з остатком енергії;
 - Генерація пар, яка може трапитися тільки після 1.022 MeV (дві маси спокою електрона), і при якій утворюється електрон-позитронна пара.
- Вірогідність кожного ефекту залежить від енергії кванта, який взаємодіє з речовиною. Так, в діапазоні до 200 кеВ найчастіше відбувається фотоелектричний ефект, від 200 кеВ до кількох MeV – ефект Комптона, і після 6 MeV – генерація пар.

Види взаємодії гамма-кванту з речовиною.



Розроб.	Виплавін І. Л.			Застосування напівпровідникових детекторів на основі CdZnTe в системах медичної діагностики	
Перев.	Грицунов О. В.				
Н. контр.	Шевченко Н. Є.				
					Аркуш
Затв.	Бондаренко І.М.			ХНУРЕ, каф. МЕЕПП	Аркушів

Основні характеристики детектора

- Одним за найважливіших параметрів, що визначає якість детектора, є енергетична роздільна здатність. Вона відображає точність, з якою визначається енергія кожного іонізуючого кванту, що потрапляє в кристал детектора. Оскільки це статистична величина, вона зазвичай визначається як напівширина піку на вихідній енергетичній діаграмі детектора.
- Роздільна здатність детектора змінюється в залежності від енергії, тому для порівняння детекторів зазвичай використовують напівширину на деяких постійних енергіях, наприклад пік випромінювання амерцію-241 на 59.4 кеВ, кобальту-57 на 122 кеВ, цезію-137 на 662 кеВ, талію-208 на 2.6 МеВ

- Ефективність поглинання випромінювання відображає, наскільки висока вірогідність взаємодії з кристалом детектора кванту іонізуючого випромінювання, що проходить крізь кристал. Ця величина зростає зі збільшенням геометричних розмірів кристалу, а також зі збільшенням його атомного номера. Таким чином, кристали з матеріалів з високим атомним номером потребують менших розмірів, ніж кристали з низьким для досягнення аналогічного рівня ефективності.
- Також важливим параметром є частота дискретизації сигналу, особливо для застосувань при високих рівнях радіації. Якщо декілька квантів іонізуючого випромінювання потраплять в детектор протягом одного імпульсу, детектор зареєструє їх сумарну енергію замість енергії кожного кванту. Ця величина обмежується геометричними розмірами кристала детектора і рухливістю носіїв заряду, а також будовою електронного пристрою детектора.

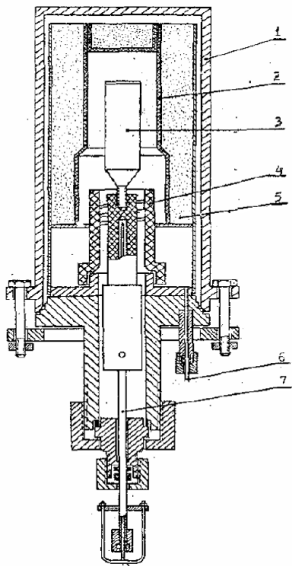
Розроб.	Вишлавін І. Л.			Застосування напівпровідникових детекторів на основі CdZnTe в системах медичної діагностики	
Перев.	Грицунов О. В.				
Н. контр.	Шевченко Н. Є.				
					Аркуш
Затв.	Бондаренко І.М.			ХНУРЕ, каф. МЕЕПП	Аркушів

Вирощування кристалів CdZnTe методом Бріджмена

- Метод Бріджмена – це метод вирощування кристалів з розплаву. Цей метод забезпечує досить високу якість та чистоту кристалів, досить великі розміри, і при цьому дозволяє вирощувати кристали досить швидко (зазвичай, декілька діб).
- В процесі вирощування кристалів, температура розплаву досягає 1160 С. Вирощування проходить в декілька етапів.
 - Шихту випікають в атмосфері інертного газу протягом 4 годин. Після випікання шихту подрібнюють і засипають в ростовий тигель.
 - В процесі вирощування тигель з шихтою переміщується вертикально механізмом переміщення тигля вертикально зі швидкістю 0.5-5 мм/год крізь нагрівач.
 - Після проходження зони максимальної температури нагрівача, розплав кристалізується в зоні температурного градієнта який задають в діапазоні 30-100 град/см.



Схема ростової установки



1. Корпус
2. Тепловий екран
3. Тигель
4. Нагрівач
5. Теплоізоляція
6. Токопідводи
7. Шток



Розроб.	Виплавін І. Л.			Застосування напівпровідникових детекторів на основі CdZnTe в системах медичної діагностики	
Перев.	Грицунов О. В.				
Н. контр.	Шевченко Н. Є.				
					Аркуш
Затв.	Бондаренко І.М.			ХНУРЕ, каф. МЕЕПП	Аркушів

Зовнішній вигляд ростової установки



Критерії до ростової установки для вирощування кристалів CdZnTe за методом Бріджмена

- Для забезпечення якісного вирощування напівпровідникових кристалів за методом Бріджмена основні вузли ростової печі повинні відповідати таким вимогам:
 - камера ростової печі повинна мати високу надійність при температурі нагрівача близько 1300 С;
 - механізм переміщення тигля має забезпечувати рівномірний рух тигля із заданою швидкістю;
 - нагрівач має забезпечувати оптимальні умови для розплавлення шихти, кристалізації розплаву і охолодження кристалу з мінімальними напруженнями.



Розроб.	Вишлавін І. Л.			Застосування напівпровідникових детекторів на основі CdZnTe в системах медичної діагностики	
Перев.	Грицунов О. В.				
Н. контр.	Шевченко Н. Є.				
					Аркуш
Затв.	Бондаренко І.М.			ХНУРЕ, каф. МЕЕПП	Аркушів

Вплив включень телуру на властивості CdZnTe-детекторів

- Включення телуру в матеріал детектора CdZnTe можуть мати вирішальне значення для продуктивності товстих детекторів, що обмежує розмір і ефективність таких детекторів, доступних для користувачів.
- Збільшення концентрації включень телуру в кристал CdZnTe погіршує енергетичну роздільну здатність детектора, і величина цього ефекту сильно залежить від їх розміру і концентрації.
- Включення діаметру, меншого за 1 мкм, по суті, поводяться як звичайні пастки, пов'язані з точковими дефектами у матеріалі. Такі дефекти захоплюють електрони, але не вносять коливань у зібрані сигнали заряду.



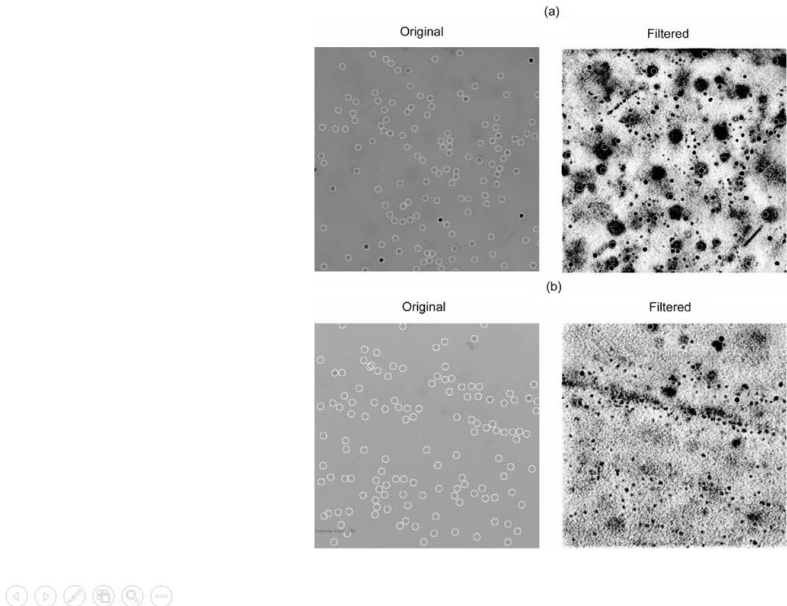
Використання ІЧ-мікроскопії для визначення розміру та положення включень телуру в кристалі детектора

- Розміри і положення включень в кристалі отримуються шляхом ІЧ-мікроскопії. Кристали CdZnTe прозорі для інфрачервоного світла; однак використання довгохвильового світла обмежує роздільну здатність зображення:
 - На ІЧ-зображеннях включення Te більше 10 мкм виглядають як відносно різкі об'єкти трикутної або ромбовидної форми залежно від орієнтації кристала та освітлення.
 - Невеликі розміри включення, нижче 5 мкм, як правило, виглядають як розмиті об'єкти з навколишніми ореолами.



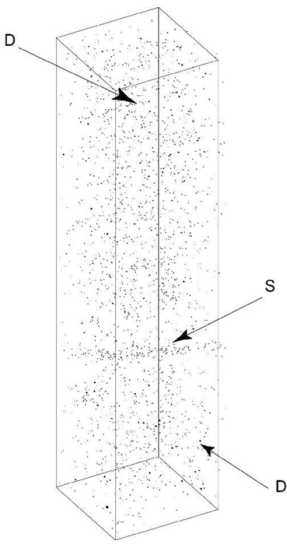
Розроб.	Виплавін І. Л.			Застосування напівпровідникових детекторів на основі CdZnTe в системах медичної діагностики	
Перев.	Грицунов О. В.				
Н. контр.	Шевченко Н. Є.				
					Аркуш
Затв.	Бондаренко І.М.			ХНУРЕ, каф. МЕЕПП	Аркушів

Зображення двох зразків кристалу CdZnTe, отримані за допомогою ІЧ-мікроскопії



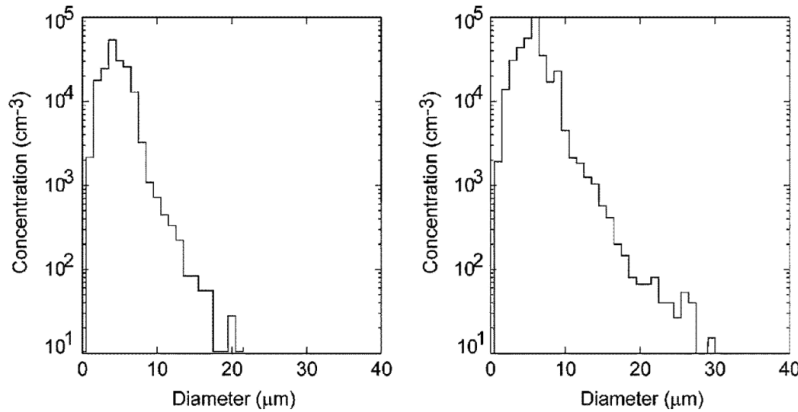
Використання ІЧ-мікроскопії для визначення розміру та положення включень телуру в кристалі детектора

- В результаті зняття великої кількості таких зображень, формується 3D-модель розподілу включень в зразку кристала.
- На зображеній моделі можна спостерігати закономірностями дислокації, що призводить до локальних варіацій розподілу включень телуру в кристалі на субміліметровому масштабі.



Розроб.	Виплавін І. Л.			Застосування напівпровідникових детекторів на основі CdZnTe в системах медичної діагностики	
Перев.	Грицунов О. В.				
Н. контр.	Шевченко Н. Є.				
					Аркуш
Затв.	Бондаренко І.М.			ХНУРЕ, каф. МЕЕПП	Аркушів

Графік розподілу включень в зразку за розміром зерна



Висновки

- У процесі виконання кваліфікаційної роботи проведено огляд літературних джерел, структурувано дані щодо теми роботи, обрано напрямки досліджень та результати, що необхідно отримати.
- Розглянуто принципи роботи та будову напівпровідникових детекторів іонізуючого випромінювання. Серед таких детекторів одними з найбільш ефективних та перспективних є датчики на основі телуриду кадмію і цинку (CdZnTe). Вони, зокрема, не потребують охолодження до криогенних температур.
- Детально розглянуто метод вирощування кристалів CdZnTe за технологією Бріджмена, а також вплив включень телуру на ефективність детекторів на основі цих кристалів. Наведено графіки розподілу концентрацій включень в зразках кристалу, визначений час життя електронів в кристалі CdZnTe з даною концентрацією включень телуру.



Розроб.	Виплавін І. Л.			Застосування напівпровідникових детекторів на основі CdZnTe в системах медичної діагностики	
Перев.	Грицунов О. В.				
Н. контр.	Шевченко Н. Є.				
					Аркуш
Затв.	Бондаренко І.М.			ХНУРЕ, каф. МЕЕПП	Аркушів

