

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ  
СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВЧЕНА РАДА К50.07.02

На правах рукопису  
УДК 539.1.074 + 621.383.52 + 620.179.1

**МАЗІН МИХАЙЛО ОЛЕКСАНДРОВИЧ**

**ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ СЦІНТИЛЯТОР  
НАПІВПРОВІДНИКОВИЙ ФОТОПРИЙМАЧ ТА  
РОЗРОБКА ДЕТЕКТОРІВ ІОНІЗУЮЧОГО  
ВИПРОМІНЮВАННЯ**

(05.27.03 - технологія, обладнання та виробництво  
матеріалів і приладів електронної техніки)

**А в т о р е ф е р а т**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

КИЇВ - 1997

38  
Дисертацією є рукопис  
Робота виконана в  
НАН України, м. Київ

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00760965 (X)

**Науковий керівник:**

доктор фізико-математичних  
наук

Комащенко Валерій Миколайович

**Науковий консультант:** доктор фізико-математичних  
наук

Прокопенко Ігор Васильович

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор

Синьков Михайло Вікторович

Лауреат Державної премії України  
кандидат технічних наук

Ільїн Ігор Юр'євич

**Провідна організація:** Харківський державний  
політехнічний університет

Захист відбудеться "21" лютого 1997 р. о 14<sup>15</sup> на засіданні  
Спеціалізованої вченої ради К50.07.02 при Інституті фізики  
напівпровідників НАН України за адресою: 252650 Київ-28,  
проспект Науки, 45.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту  
фізики напівпровідників.

Відгуки на автореферат у двох примірниках, засвідчені  
печаткою, прохання надсилати за вказаною адресою на ім'я  
вченого секретаря Спеціалізованої ради.

Автореферат розіслано "20" січня 1997 р.

Вчений секретар Спеціалізованої ради  
кандидат фізико-математичних наук

РУДЬКО Г.Ю.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В наукових дослідженнях і практичній діяльності широко використовуються іонізуючі випромінювання. Їх реєстрація потребує створення відповідної елементної бази, зокрема, високонадійних, ефективних і стійких до радіації детекторів різних типів. Найбільш поширеними серед них є сцинтиляційні та газонаповнені.

Розвиток фізики і технології напівпровідників дозволив в останні роки запропонувати комбіновані детектори (КД). Складаються КД із сцинтилятора та напівпровідникового кремнієвого (Si) фотодіоду, що перебувають в оптичному контакті. Такі детектори мають ряд переваг перед існуючими і знаходять все більше практичне застосування: в радіометрії та спектроскопії ядерних випромінювань, в приладах технічної діагностики і неруйнівного контролю промислових виробів, митного та прикордонного контролю і т.п. Особливо перспективним виявилось використання КД для розробки багатоелементних систем детектування, зокрема сучасних рентгенівських комп'ютерних томографів.

Разом з цим вадами вказаних КД є низька радіаційна стійкість та недостатня чутливість промислових Si-фотодіодів в короткохвильовій ділянці спектру. Це спричиняє недостатню надійність КД в екстремальних умовах експлуатації і обмежує вибір спектрально узгоджених сучасних сцинтиляторів. Крім того, в нашій країні намітилось суттєве відставання, порівняно з світовим рівнем, по створенню і промислому випуску не лише КД, а й інших сенсорів іонізуючої радіації.

Вибір об'єктів дослідження В. Стефанюк широкогозонних кристалів  $CdI_2(Mn)$ ,  $CdBr_2(Mn)$ ,  $CsI(Tl)$ ,  $CdWO_4$ , BGO,  $ZnSe(Te)$  та тонкоплівкових полікристалічних гетероструктур типу халькогені-

міді-халькогенід кадмію, - обумовлений перспективністю для розробки на їх основі відповідно ефективних сцинтиляторів та фотоперетворювачів короткохвильового випромінювання, придатних для експлуатації в екстремальних умовах.

В зв'язку з висловленим вище метою роботи було:

1. Комплексне дослідження системи сцинтилятор-напівпровідниковий фотоперетворювач для пошуку оптимальних складових пари з точки зору спектрального узгодження, чутливості, кінетики, радіаційної стійкості.

2. Розробка ефективних комбінованих детекторів іонізуючого випромінювання широкого спектрального діапазону, зокрема, багатоеlementних, придатних для використання в рентгенівській комп'ютерній томографії.

Для досягнення поставленої мети потрібно було вирішити такі основні задачі :

1. Відпрацювати технологію отримання на основі тонкоплівкових гетероструктур фотоперетворювачів короткохвильового випромінювання.
2. Вивчити фізичні властивості розроблених фотоперетворювачів та сцинтиляторів нових типів.
3. Створити та дослідити властивості комбінованих детекторів.
4. Проаналізувати та обґрунтувати вимоги до КД, призначених для використання в комп'ютерних томографах.

Вирішення цих задач вимагало розробки комплексу експериментальних методів дослідження, в числі яких:

- створення вимірювальної імпульсної рентгенівської установки для дослідження кінетики сцинтиляторів та КД;
- створення автоматизованих вимірювальних стендів для експресдіагностики великих масивів зразків.

## Наукова новизна

1. Розроблені та комплексно досліджені властивості нових типів фотоперетворювачів і сцинтиляторів на основі широкозонних сполук, що дозволило оптимізувати технологію їх виготовлення та створити ефективні комбіновані детектори іонізуючої радіації.
2. Досліджено кінетику рентгенолюмінесценції в широкозонних шаруватих кристалах галогенідів кадмію та визначено механізм рентгенолюмінесценції.
3. Розроблені фізико-технологічні засади відтворюваної технології виготовлення КД для рентгенівських комп'ютерних томографів. Як фотоперетворювачі використані гетероструктури  $p\text{-Cu}_{1,8}\text{S}/n\text{-Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Se}$  з варизонними базовими плівками, як сцинтилятори - промислові монокристали  $\text{CsI}(\text{Tl})$ .
4. Розроблені детектори іонізуючих випромінювань на основі широкозонних сполук  $\text{A}^2\text{B}^6$ , що містять в межах одного напівпровідникового кристалу інтегрально виконані сцинтилятор та фотоперетворювач.

## Практична цінність

1. Створено автоматизовану вимірювальну багатофункціональну імпульсну рентгенівську систему та розроблено методики вимірювання експлуатаційних параметрів великих масивів зразків КД.
2. Розроблені нові типи КД іонізуючого випромінювання широкого енергетичного діапазону.
3. Розроблено та впроваджено у виробництво експонетричний рентгенівський датчик ДРМ-2.
4. Створено універсальний фоторентгеноприймач.

### Положення, які виносяться на захист:

1. Системи сцинтилятор-фотоперетворювач на основі широкозонних сполук  $A^2B^7$  та  $A^2B^6$  придатні для створення ефективних КД іонізуючої радіації. Нові типи КД, а саме  $CdI_2(Mn) + p-Cu_{1-\beta}S / n-CdSe_xTe_{1-x}$ ,  $CdWO_4 + p-Cu_{1-\beta}S / n-Zn_xCd_{1-x}Se$  та  $ZnSe(Te) + p-Cu_{1-\beta}S/n-Zn_xCd_{1-x}Se$ , за своїми експлуатаційними параметрами конкурентноспроможні з відомими аналогами, а за рівнем радіаційної стійкості значно їх перевершують.
2. Тонкоплівкові полікристалічні фотоперетворювачі з гетероструктурою на основі твердих розчинів в системі  $Zn_xCd_{1-x}Se$  ( $0 \leq x \leq 1$ ). Використання в гетероструктурах тонких приповерхневих варизонних прошарків забезпечує підвищену чутливість фотоперетворювачів в короткохвильовому діапазоні спектру, а також суттєво покращує інші експлуатаційні характеристики, зокрема, радіаційну стійкість. Висока радіаційна стійкість обумовлюється малою протяжністю робочої області, наявністю вбудованих квазіелектричних полів та природних стоків для радіаційних дефектів.
3. Модифіковані шаруваті монокристали  $CdI_2(Mn)$  з великим світловиходом. Мономолекулярний механізм рентенолюмінесценції в цих кристалах.
4. Перша вітчизняна 304-елементна лінійка детекторів для медичного комп'ютерного томографа.

**Апробація роботи.** Основні матеріали роботи доповідались та обговорювались на 15 конференціях, нарадах, симпозиумах, серед яких найбільш представницькими були : Всесоюзна науково-технічна конференція "Электрофизические проблемы создания диагностической и медицинской аппаратуры" (Москва, 1982); IX Всесоюзна конференція "Состояние и перспективы использования сцинтилляторов и сцинтилляционных детекторов в XII пятилетке".

(Харків, 1986); XI Всесоюзна науково-технічна конференція з неруйнівних фізичних методів та засобів контролю (Москва, 1987); IV Науково-технічна конференція "Электронные датчики." - "СЕНСОР-91" (Ленінград, 1991); Міждержавна конференція "Сцинтилляторы-93" (Харків, 1993); Міжнародна осіння школа "Solid State Physics: Fundamental and Applications" (Ужгород, 1995).

Результати дисертації були використані: - при виконанні Республіканської цільової програми "Здоровье";

- в СКТБ ІФН НАН У - при малосерійному виготовленні датчиків рентгенівського випромінювання ДРМ-2 для експонетрів промислових рентгенівських дефектоскопів (м.Актюбинськ, Казахстан);

- в НВО "Атомкотломаш" (м.Ростов н/Д, Росія) в реєстраторах потужності дози рентгенівського оптимізатора з автоматичним регулюванням "РОДАР-2";

- при рентгенофізичному контролі сталевих виробів на підприємствах Міненергомаш'у СРСР: ВО "Іжорський завод", Чеховський та Білгородський заводи;

- в Інституті атомної енергії ім. І.В.Курчатова РАН (м. Москва) в експериментах по програмі лазерного термоядерного синтезу.

Публікації. Основні результати дисертації опубліковані у 19 роботах, перелік яких наведений у кінці автореферату. Всі вони виконані у співавторстві. Особистий науковий внесок дисертанта полягає в розробці методик дослідження, створенні автоматизованої вимірювальної рентгенівської системи, розробці технології та дослідженні зразків, обробці результатів експериментів. Дисертант приймав участь у обговоренні та науковому узагальненні всіх отриманих результатів.

## Об'єм і структура дисертації

Дисертація складається з вступу, п'яти глав, заключення та двох додатків. Вона містить 154 сторінки тексту, 29 малюнків, 15 таблиць і список літератури з 105 назв.

У вступі обґрунтована актуальність роботи, сформульовані її мета та задачі.

Перша глава знайомить з сучасним станом досліджень системи скінтілятор-фотоприймач. В ній проаналізовано фізико-технічні аспекти розробок КД, в тому числі багатоеlementних, та тенденції розвитку цього типу детекторів іонізуючих випромінювань. Детальний огляд літературних даних засвідчує необхідність пошуку нових компонентів пари для створення ефективних КД. Зокрема в напрямку підвищення одного з найважливіших параметрів — коефіцієнта спектрального узгодження ( $\alpha_c$ ).

У другій главі розглянуто використані експериментальні методи та зразки для досліджень, проаналізовані вимоги до детекторів рентгенівських комп'ютерних томографів.

Кінетика досліджуваних зразків вивчалася за допомогою розробленої вимірювальної системи. До її складу входили:

- оригінальна високостабільна рентгенівська імпульсна установка з керуючим пристроєм. Вона дозволяла генерувати імпульси регульованої тривалості в діапазоні 1 мс+1 мкс інтенсивністю до  $5 \cdot 10^7$  квант/см<sup>2</sup> та ефективною енергією ~50 кеВ;

- прилади керування;

- ЕВМ типу IBM PC, яка забезпечувала керування експериментом, обчислення та аналіз одержаних результатів.

Показано, що основними параметрами КД, призначених для використання в сучасних комп'ютерних томографах, виявляються наступні:

- коефіцієнт шуму  $K_{ш}$ , що характеризує відносні флуктуації сигналу детектора в порівнянні з відносними флуктуаціями числа квантів, обумовлених статистичною природою випромінювання, та визначається співвідношенням  $K_{ш} = \frac{1}{N} \left(\frac{Q}{\sigma Q}\right)^2$ , де  $\sigma Q$  - середньоквадратичне відхилення величини заряду  $Q$ , який знімається з детектора за серією вимірів,  $N$  - число квантів, які падають на детектор за час одного виміру;

- диференційна нелінійність  $\eta_d = 1 - \frac{Q_1^{(2)}Q_2^{(1)}}{Q_1^{(1)}Q_2^{(2)}}$ , де  $Q_1^{(1)}$  та  $Q_2^{(1)}$  - заряди, що знімаються з будь якої заданої пари детекторів при опроміненні їх потоком  $W_1$ , а  $Q_2^{(1)}$  та  $Q_2^{(2)}$  - потоком  $W_2$ ;

- інерційність (постійна часу)  $\tau$ , що характеризує здатність детектора відпрацьовувати зміну густини досліджуваного об'єкту;

- післясвічення (що визначається величиною сигналу через 20 мс після закінчення збуджуючого імпульсу) - %/20 мс.

Третя глава присвячена опису технології виготовлення тонкоплівкових полікристалічних фотоперетворювачів з гетероструктурою. В ній приведені також результати вивчення властивостей розроблених фотоперетворювачів.

Розроблена технологія включала наступні елементи: 1) виготовлення базових плівок гетеропереходів на основі сполук  $A^2B^6$  та їх твердих розчинів методом термічного випаровування в квазізамкнутому об'ємі; 2) формування гетеропереходів та виготовлення зразків для досліджень.

Принциповою новизною розроблених фотоприймачів є: 1) підвищена радіаційна стійкість та стабільність за рахунок використання багатошарових гетероструктур з проміжними варизонними прошарками; 2) технологічна можливість одержання напередзаданої ділянки спектральної чутливості шляхом зміни базового матеріалу гетероструктури (сполуки  $A^2B^6$  та їх тверді розчини -  $CdS_xSe_{1-x}$ ,  $Zn_xCd_{1-x}Se$ ,  $CdSe_xTe_{1-x}$  та інші). Деякі експлуатаційні па-

раметри фотоприймачів: керований діапазон спектральної чутливості - 200-900 нм; струмова монохроматична чутливість на довжинах хвиль 350, 650 і 850 нм, відповідно, А/Вт — 0,1; 0,35 і 0,4; постійна часу - 1 мкс; нелінійність люкс-амперної характеристики в діапазоні  $10^{-10^4}$  лк, %  $\leq 10$ .

В четвертій главі наведені результати досліджень системи, що складається з шаруватих скінтіляторів на основі сполук  $A^2B^7$  та розроблених тонкоплівкових полікристалічних фотоперетворювачів.

Проведені дослідження при  $T = 300$  К світловиходу, спектрального розподілу рентгенолюмінесценції, кінетики при різних інтенсивностях збудження, коефіцієнту спектрального узгодження дозволили зробити вибір оптимальних скінтіляторів для практичного використання - модифікованих, спеціально легованих кристалів  $CdI_2(Mn)$ . Так, їх світловихід по відношенню до еталонного скінтілятору  $CsI(Tl)$  (виміряний з допомогою Si — фотодіоду) становить 200-300%, постійна часу затухання рентгенолюмінесценції  $\tau_d = 0,45$  мс. Незалежність  $\tau_d$  в кристалах  $CdI_2(Mn)$  і  $CdBr_2(Mn)$  від інтенсивності збудження свідчить про мономолекулярний механізм рентгенолюмінесценції. Розрахований з експериментальних досліджень коефіцієнт спектрального узгодження  $\alpha_c$  для системи  $CdI_2(Mn)$ -р- $Cu_{1,8}S/n$ - $CdSe_xTe_{1-x}$  становив 0,94, що є близьким до гранично-можливого і свідчить про їх перспективність для створення комбінованих детекторів.

Експлуатаційні параметри КД, створених на основі вище вказаної системи, становлять: рентгеночутливість (при  $E_{ef} = 50$  кеВ) - 50-80 нА/см<sup>2</sup>Р/хв; постійна часу — 450 мкс; післясвічення <0,1%/20 мс; оптимальний енергетичний діапазон 10-200 кеВ; диференційний опір  $> 10^6$  Ом; ємність  $\sim 15$  нФ/см<sup>2</sup>.

Порівняння параметрів розроблених КД з закордонними ана-

логами (наприклад, фірми "Siemens", Німеччина) свідчить про їх конкурентоздатність і перспективність використання.

Фізико-технологічні принципи створення комбінованих детекторів для медичних рентгенівських комп'ютерних томографів, а також детекторів нового покоління в інтегральному виконанні викладені у п'ятій главі.

З використанням результатів попередніх глав були проаналізовані та обгрунтовані вимоги до КД. Показано, що експлуатаційні параметри комбінованих детекторів повинні відповідати таким вимогам:  $K_{ш} \geq 0,8$ ;  $\eta_A \leq 2\%$ ;  $\tau \leq 10^{-4}$  с, час післясвічення  $\sim 0,1\%/20$  мс; динамічний діапазон  $\geq 10^3$  при ефективності поглинання випромінювання  $\geq 90\%$ .

Компонентами багатоеlementної системи КД були промислові спінтілятори CsI(Tl) та розроблені тонкоплівкові фотоперетворювачі типу  $p\text{-Cu}_{1,8}\text{S}/n\text{-Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Se}$  з наперед заданою областю спектральної чутливості, що дозволило одержати високий коефіцієнт спектрального узгодження  $\alpha_c = 0,92$ .

Параметри створених КД слідує: енергетичний діапазон 20-150 кеВ; рентгеночутливість (при  $E_{эф} = 80$  кеВ)  $\sim 6$  мкА.см<sup>2</sup>Р/с;  $K_{ш} \sim 0,8$ ;  $\eta_A < 2\%$ ;  $\tau \sim 10^{-4}$  с; час післясвічення 0,1 - 0,5 %/20 мс. Рентген-амперна характеристика лінійна при квантовому потоці в діапазоні  $3 \cdot 10^8 - 3 \cdot 10^{11}$  квант/см<sup>2</sup>с<sup>-1</sup>.

Вказані КД були використані при виготовленні на основі модульного принципу першої вітчизняної 304-elementної лінійки детекторів для медичного комп'ютерного томографа.

Проведені в ведучих організаціях України та Росії випробування детекторів та аналіз одержаних результатів свідчать, що розроблена багатоеlementна система придатна для використання в медичних комп'ютерних томографах, а КД за експлуатаційними параметрами конкурентоспроможні з відомими аналогами

(наприклад, німецьких фірм "Heinemann", "Siemens"), та значно перевершують їх за рівнем радіаційної стійкості.

Для реєстрації жорсткого іонізуючого випромінювання ( $E_{\text{еф}} = 300 - 5000 \text{ кеВ}$ ) в технічних комп'ютерних томографах запропоновані КД на основі нових систем:  $\text{CdWO}_4 + p\text{-Cu}_{1,8}\text{S}/n\text{-Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Se}$  та  $\text{ZnSe}(\text{Te}) + p\text{-Cu}_{1,8}\text{S}/n\text{-Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Se}$ , експлуатаційні параметри яких знаходяться на рівні аналогів фірми "Disco", США.

Показана принципова можливість створення приладів нового покоління - комбінованих детекторів, які являють собою рентгеночутливу структуру — напівпровідниковий сцинтилятор - фотоперетворювач з *p-n*-переходом, виконану інтегрально в межах одного напівпровідникового монокристалу сполук типу  $A^2B^6$ . Інтегральне виконання детекторів зумовлює їх підвищену надійність, та забезпечує розширення енергетичного діапазону іонізуючого випромінювання, що ефективно реєструється.

Перший додаток присвячений питанню створення сенсорного елемента ДРМ-2 для експонетрів промислових дефектоскопів. Принциповою особливістю такого елемента є тотожність його енергетичної характеристики та чутливості рентгенівської плівки в робочому енергетичному інтервалі. Останнє було досягнуто вибором відповідного напівпровідникового матеріалу елемента та варіацією його товщини. Розробка та впровадження у виробництво напівпровідникового експонетричного датчика ДРМ-2 дало змогу автоматизувати роботу промислових дефектоскопів, оптимізувати якість рентгенограм та отримати значний економічний ефект.

У другому додатку описані властивості створеного універсального фотоприймача на основі полікристалічних рекристалізованих шарів  $\text{CdTe}$ . Експлуатаційні параметри цього приладу перевершують своїх аналогів по ряду основних показників. Розроблений фоторентгеноприймач був успішно використаний в ІАЕ ім.

І.В.Курчатова РАН (м. Москва) для реєстрації потужних потоків лазерних променів та рентгенівського випромінювання високотемпературної плазми в установці термоядерного синтезу "Мишень-1".

### Основні результати і висновки

1. Комплексні фізичні дослідження електричних, фотоелектричних, люмінесцентних властивостей в широкому діапазоні змін зовнішніх впливів (температури, напруги, інтенсивності та енергії іонізуючих випромінювань в умовах стаціонарного та імпульсного збудження) сучасних кристалічних скінтіляторів та спектрально узгоджених з ними фотоприймачів на основі широкозонних сполук  $A^2B^6$  дозволили запропонувати деякі технічні рішення, що мають принципову новизну, характеризуються високою ефективністю, перспективні для практичного використання, частина з яких була впроваджена у виробництво. До них відносяться, наприклад:

- напівпровідниковий датчик ДРМ-2 для промислової рентгенівської експонетрії та клінічної дозиметрії;
- швидкодіючий універсальний фоторентгеноприймач, який захищено авторським свідоцтвом СРСР №1005613;
- інтегральний детектор іонізуючих випромінювань, виготовлений за авторським свідоцтвом СРСР №1060035;
- монокристалічний скінтілятор  $CdI_2(Mn)$  з великим світловиходом, який захищено авторським свідоцтвом СРСР №1642863;
- нові типи КД, що за своїми експлуатаційними параметрами конкурентоспроможні з відомими аналогами, а за рівнем радіаційної стійкості значно їх перевершують.

2. Розроблено фізико-технологічні засади відтвореної технології виготовлення високочутливих у короткохвильовому діапазоні тонкоплівкових полікристалічних фотоперетворювачів з ге-

тероструктурою на основі твердих розчинів  $Zn_xCd_{1-x}Se$  ( $0 \leq x \leq 1$ ). Використання у вказаних структурах приповерхневих варизонних прошарків забезпечує підвищену ефективність фотоперетворення при низьких рівнях сигналів та кращу швидкодію (за рахунок зменшення струмів насичення та бар'єрної ємності відповідно).

3. Розроблені та досліджені багатоелементні комбіновані детектори іонізуючого випромінювання, перспективні для використання в рентгенівській комп'ютерній томографії, промисловій дефектоскопії, інших приладах радіаційної діагностики та моніторингу.

#### Основні результати дисертації опубліковані в таких наукових працях

1. Полупроводниковый датчик ДРМ-2 для промышленной рентгеновской экспонетрии /В.Д.Фурсенко, Н.М.Карпман, М.А.Мазин, Г.А.Федорус // Дефектоскопия.-1978.-№8.-С.68-70.
2. Комащенко В.Н., Мазин М.А., Фурсенко В.Д. Свойства оптронных преобразователей с гетерофотоэлементами  $pCu_2S(Se)-nCdS(Se)$  при возбуждении сцинтиллятора рентгеновским излучением//Дефектоскопия.-1979.-№4.-С.110-111.
3. Полупроводниковый датчик ДРМ-2 в клинической радиометрии / В.В.Драник, Г.Н.Коваль, М.А.Мазин, В.Д.Фурсенко // Медицинская радиология.-1981.-№12.-С.52-54.
4. О возможности создания многоканальной системы комбинированных детекторов  $CsI(Tl) + pCu_2Se(S) - nCdSe(S)$  для вычислительной рентгеновской томографии /С.М.Игнатов, А.И.Лейченко, М.А.Мазин и др. // Дефектоскопия.-1984.-№2.-С.10-14.
5. Фотоприемник широкого спектрального диапазона на основе поликристаллического теллурида кадмия / М.А.Мазин, А.М.Павелец, С.А.Сыпко, В.Д.Фурсенко // Полупроводниковая

техника и микроэлектроника.-1985.-№8.-С.93-95.

6. Полупроводниковая система сцинтиллятор  $ZnSe(Te)$  - гетерофотоприемник  $pCu_2S/nZn_xCd_{1-x}Se$  для регистрации ионизирующего излучения /О.П.Вербицкий, В.Н.Комашенко, М.А.Мазин и др. // Сб. научн. тр."Синтез и исследование оптических материалов".-1987.-№19.-С.29-33.
7. Рентгеночувствительные гетероструктуры на основе соединений  $A^2V^6$ /А.Ю.Аветиков, П.П.Горбик, М.А.Мазин // Электронная техника, сер. 6. Материалы.-1989.-Вып.1.-С.37-38.
8. Линейка детекторов для вычислительного рентгеновского томографа / В.Н.Комашенко, Е.Б.Круликовская, М.А.Мазин и др. // Техн. диагн. и неразр. контроль.-1990.-№4.-С.85-87.
9. Физико-химические исследования поликристаллических твердых растворов  $Zn_xCd_{1-x}Se$  / Л.Д.Буденная, И.В.Дубровин, М.А.Мазин и др.// Изв. АН СССР. Неорг. материалы.-1990.-Т.26, №6.-С.1177-1180.
10. Комбинированные детекторы ионизирующего излучения на основе широкозонных слоистых кристаллов и кремниевых фотодиодов / А.Б.Лыскович, Б.А.Беликович, М.А.Мазин и др. // Техн. диагн. и неразр. контроль.-1990.-№2.-С.34-39.
11. Исследование свойств системы кристаллофосфор  $CdBr_2(Mn)$  - полупроводниковый фотоприемник с гетероструктурой  $n-CdSe-CdSe_xTe_{1-x}/p-Cu_{1-\beta}S$  / А.Б.Лыскович, В.А.Беликович, М.А.Мазин и др.//Оптоэлектроника и полупроводниковая техника.-1992.-Вып.24.-С.45-48.
12. Преобразование бета-излучения тонкопленочными гетероструктурами /П.П.Голокоз, А.В.Коваленко, М.А.Мазин и др.// Оптоэлектроника и полупроводниковая техника.-1995.-Вып.30.-С.58-63.
13. Prokopenko I.V., Mazin M.A., Lytvyn P.M. Analysis of planar structural inhomogeneity in semiconductor single crystals by X-rays

- diffractometry. // Proc. of the Intern. Autumn School-Conf. for Young Scientists "Solid State Physics: Fundamentals & Applications" (SSPFA'95), -Uzhgorod, 1995.-P.L51-L58.
14. А.С. СССР №100567, кл Н 01h 31/18. Способ получения поликристаллических рекристаллизованных фотопроводящих слоев на основе соединений типа  $A^2B^6$  /С.А.Сышко, А.М.Павелец, М.А.Мазин и др.// 1983.
15. А.С. СССР №1060035, кл G 01 T 1/20.0. Устройство для регистрации ионизирующих излучений / В.Н.Комащенко, Е.Б.Круликовская, М.А.Мазин и др. // 1983.
16. А.С. СССР №1642863, кл. G 01T 1/202. Сцинтиллятор / А.Б.Лыскович, Б.А.Беликович, М.А.Мазин и др. // 1990.
17. Анализ свойств комбинированных детекторов для рентгеновской вычислительной томографии / В.Н.Комащенко, Е.Б.Круликовская, М.А.Мазин и др. // Тез. докл. III Всес. симп. по вычислительной томографии.-Киев, 1987.-С.14-15.
18. Полупроводниковые приемники УФ-диапазона /Ю.Н. Бобренко, К.В.Колежук, М.А.Мазин и др.//Матер.IV Всес. конф. "Электронные датчики — СЕНСОР-91".-Л.-Д.-1991.- с.95.
19. Комбинированные детекторы ионизирующего излучения на основе широкозонных слоистых кристаллов и тонкопленочных гетерофотопреобразователей / В.Н.Комащенко, К.В.Колежук, М.А.Мазин и др. // Тез. докл. Межгосударств. конф. "Сцинтилляторы-93". ч.2.-Харьков, 1993.-С.19-20.

#### SUMMARY

Mazin M.A. Study of a scintillator - semiconductor photodetector system and development of ionizing radiation detectors (manuscript).

The technical sciences candidate (Ph.D.) thesis on speciality 05.27.03 - Technology, Equipment and Production of Materials and

Devices for Electronic Engineering. Institute of Semiconductor Physics, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 1997.

Both experimental and theoretical investigations of the system components scintillation, kinetic and photoelectrical properties enabled us to formulate reasons for choosing optimum pairs to design combined detectors.

Specifically developed thin-film photoconverters served as photodetectors. They involved copper chalcogenide - wide-band-gap II - VI compound heterostructures with graded-band-gap base regions. Their radically novel features included high radiation stability, as well as a predetermined spectral characteristic region which could be technologically controlled. Cadmium halogenide layered crystals (such as  $CdI_2(Mn)$  - see Author's Certificate USSR (SU) 1642813, CWO, BGO,  $ZnSe(Te)$ ) served as scintillators. The developed combined detectors are competitive in parameters with foreign analogs (e.g., those produced by Siemens, Germany).

Both physico-technological and metrological basics of combined detectors production for tomographs were developed. Starting from commercial  $CsI(Tl)$  scintillators and thin-film photodetectors, we have fabricated the first home-made detector strip for a medical x-ray computer tomograph.

The reasons were formulated for choosing semiconductor materials to be used in a sensor element of a x-ray exposure meter. A ДРМ-2 sensor has been designed, studied and applied in the exposure meters of commercial flaw detectors.

## АННОТАЦИЯ

МАЗИН М.А. "Исследование системы сцинтиллятор - полупроводниковый фотоприемник и разработка детекторов ионизирующей радиации" (рукопись).

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.03. - технология, оборудование и производство материалов и приборов электронной техники. Институт физики полупроводников НАН Украины, Киев, 1997.

Экспериментальные и теоретические исследования сцинтилляционных, кинетических и фотоэлектрических свойств компонентов системы позволили обосновать выбор оптимальных пар для создания комбинированных детекторов (КД).

Фотоприемником служили специально разработанные тонкопленочные фотопреобразователи с гетероструктурой типа халькогенид меди - широкозонные соединения  $A^2B^6$  с варизонной базовой областью. Они обладали принципиальной новизной - технологически управляемой, заранее заданной областью спектральной характеристики и высокой радиационной стойкостью. Сцинтилляторами были слоистые кристаллы галогенида кадмия (в т.ч.  $CdI_2(Mn)$  по а/с СССР 1642813),  $CWO$ ,  $BGO$ ,  $ZnSe_{x}Te_{1-x}$ ). Созданные КД по параметрам оказались конкурентноспособными по отношению к зарубежным образцам (например, фирмы "Сименс").

Разработаны физико-технологические и метрологические основы создания КД для томографов. На основе промышленных сцинтилляторов  $CsI(Tl)$  и тонкопленочных фотоприемников создана первая отечественная линейка детекторов для медицинского рентгеновского компьютерного томографа.

Разработан, исследован и внедрен в промышленной рентгеновской экспонетрии и клинической диагностике полупроводниковый датчик ДРМ-2.

**Ключеві слова:** сцинтилятор, напівпровідниковий фотоприймач, комбінований детектор, іонізуюче випромінювання, комп'ютерний томограф, рентгенівський експонетр.

"Інтас" 1997 р. Зам. 8-100.

440525

AB 36.771