

**ФИЗИКА-ТЕХНИКА ИНСТИТУТИ, ИОН-ПЛАЗМА ВА ЛАЗЕР  
ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ ИНСТИТУТИ, САМАРҚАНД ДАВЛАТ  
УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
DSc.27.06.2017.FM/T.34.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ФИЗИКА-ТЕХНИКА ИНСТИТУТИ**

**ТОШМУРОДОВ ЁРҚИН ҚАХРАМОНОВИЧ**

**КРЕМНИЙ АСОСИДА КАТТА ЎЛЧАМЛИ ИОНЛОВЧИ  
НУРЛАНИШЛИ ЯРИМЎТКАЗГИЧЛИ КООРДИНАТ-СЕЗУВЧАНЛИ  
ДЕТЕКТОРЛАР ИШЛАБ ЧИҚИШ ВА ТАЙЁРЛАШ**

**01.04.10 – Яримўтказгичлар физикаси**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)  
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**ТОШКЕНТ-2018**

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)  
диссертация автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации  
доктора философии (PhD) по техническим наукам**

**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD) on  
technical sciences**

**Тошмуродов Ёркин Қахрамонович**

Кремний асосида катта ўлчамли ионловчи нурланишли  
яримўтказгичли координат-сезувчанли детекторлар ишлаб  
чиқиш ва тайёрлаш..... 3

**Тошмуродов Ёркин Қахрамонович**

Разработка и изготовление полупроводниковых координатно-  
чувствительных детекторов ионизирующего излучения больших  
размеров на основе кремния..... 17

**Toshmurodov Yorkin Kaxramonovich**

Development and production of semiconductor coordinate-  
sensitive detectors of ionizing radiation based on  
silicon..... 31

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ  
List of published works..... 35

**ФИЗИКА-ТЕХНИКА ИНСТИТУТИ, ИОН-ПЛАЗМА ВА ЛАЗЕР  
ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ ИНСТИТУТИ, САМАРҚАНД ДАВЛАТ  
УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
DSc.27.06.2017.FM/T.34.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ФИЗИКА-ТЕХНИКА ИНСТИТУТИ**

**ТОШМУРОДОВ ЁРҚИН ҚАХРАМОНОВИЧ**

**КРЕМНИЙ АСОСИДА КАТТА ЎЛЧАМЛИ ИОНЛОВЧИ  
НУРЛАНИШЛИ ЯРИМЎТКАЗГИЧЛИ КООРДИНАТ-СЕЗУВЧАНЛИ  
ДЕТЕКТОРЛАР ИШЛАБ ЧИҚИШ ВА ТАЙЁРЛАШ**

**01.04.10 – Яримўтказгичлар физикаси**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)  
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**ТОШКЕНТ-2018**

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2017.1.PhD/T21 рақам билан рўйхатга олинган.**

Диссертация ЎзР. ФА «Физика-Қуёш» ИИЧБ Физика-техника институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)). Илмий кенгаш веб-саҳифасида (fti.uz) ва «ZiyoNet» Ахборот-таълим порталида (www.ziyo.net.uz) жойлаштирилган.

**Илмий маслаҳатчи:** **Раджапов Сали Аширович**  
физика-математика фанлари доктори

**Расмий оппонентлар:** **Абдуқодиров Муҳиддин Абдурашидович**  
техника фанлари доктори, профессор

**Насриддинов Сайфилло Саидович**  
техника фанлари доктори, доцент

**Етакчи ташкилот:** **Фарғона политехника институти**

Диссертация ҳимояси Физика-техника институти DSc.27.06.2017.FM/T.34.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2018 йил «\_\_\_» \_\_\_\_\_ кунини соат \_\_\_ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100084, Тошкент шаҳри, Бодомзор йўли кўчаси, 26-уй. Тел./факс: (99871) 235-42-91, e-mail: info.fti@uzsci.net Физика-техника институти мажлислар зали).

Докторлик диссертацияси билан Физика-техника институти Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин ( \_\_\_ рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 100084, Тошкент шаҳри, Бодомзор йўли кўчаси, 26-уй, Физика-техника институти. Тел./факс: (99871) 235-30-41.

Диссертация автореферати 2018 йил « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ кунини тарқатилди.  
(2018 йил « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ даги \_\_\_\_\_ рақамли реестр баённомаси)

**С.Л. Лутпуллаев**

Илмий даражалар берувчи бир марталик  
илмий кенгаш раиси ф.-м.ф.д., профессор

**А.В. Каримов**

Илмий даражалар берувчи бир марталик  
илмий кенгаш илмий котиби, ф.-м.ф.д.,  
профессор

**И.Г. Атабаев**

Илмий даражалар берувчи бир марталик  
илмий кенгаш қошидаги илмий семинар  
раиси, ф.-м.ф.д., профессор

## **КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)**

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Ҳозирги кунда жаҳон амалиётида яримўтказгичлар физикаси соҳасида истиқболли йўналишлардан бири альфа- ва бета-заррачаларини, рентген ва гамма-нурларининг энергиясини ўлчаш, нейтрон, протон ва бошқаларнинг ўзаро таъсири жараёнларини аниқлаш учун хизмат қилувчи ядро детекторларини янги турларини ишлаб чиқишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Бу борада яримўтказгичли координат-сезувчанли детекторларнинг функционал параметрларини оптималлаштириш мақсадида уларда содир бўлаётган физик жараёнларни ва функционал характеристикаларининг шаклланиш жараёнларини аниқлаш муҳим вазифалардан бири бўлиб ҳисобланади.

Республикамизда илм-фан соҳасида устувор йўналишда, жумладан рентген нурланишли яримўтказгичли координат-сезувчан детекторлар ишлаб чиқиш, уларнинг параметрларини янги ёндошувлар орқали яхшилаш, ядро реакторлари ва божхона хизматида мўлжалланган турларини ишлаб чиқиш бўйича сезиларли натижалар олинди. Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясига кўра «принципиал жиҳатдан янги маҳсулот ва технология турларини ўзлаштириш, шу асосда ички ва ташқи бозорларда миллий товарларнинг рақобатбардошлигини таъминлаш» муҳим ҳисобланади. Бу жиҳатдан асбоб-созлик, яримўтказгичли детекторларни ишлаб чиқиш асосида миллий хафсизлик ҳамда радиациянинг зарарли таъсирларидан ҳозирги ва келажак авлодни ҳимоялаш муаммоларини ечиш муҳим аҳамиятга эга.

Ҳозирги кунда дунёда медицина диагностика тизимида қўллаш учун катта ўлчамли яримўтказгичли координат-сезувчан детекторларга алоҳида эътибор берилмоқда. Бу борада, мақсадли илмий тадқиқотларни жумладан, қуйидаги йўналишлардаги илмий изланишларни амалга ошириш муҳим вазифалардан ҳисобланади: катта диаметрли ( $\varnothing > 100 \div 120$  мм) координат-сезувчанли детекторлар функционал характеристикаларини кенгайтириш имконларини аниқлаш; монокристал кремний асосида ионловчи нурланишли яримўтказгичли координат-сезувчан детекторларининг технологик жараёнларини мукамаллаштириш усулларини ишлаб чиқиш; кремнийли p-i-n-структур асосида катта ўлчамли координат-сезувчан детекторлар параметрларини яхшилаш йўллари аниқлаш, гетеротизим асосидаги яримўтказгичли координат-сезувчанли детектор ишлаб чиқиш ва уларнинг спектрометрик характеристикаларини оптималлаштириш.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сонли «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони, 2017 йил 13 февралдаги ПҚ-2772 -сон «2017–2021 йилларда электротехника саноатини ривожлантиришнинг устувор йўналишлари тўғрисида»ги ва 2017 йил 17 февралдаги ПҚ-2789-сон «Фанлар академияси фаолияти, илмий тадқиқот ишларини ташкил этиш, бошқариш ва молиялаштиришни янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисидаги» ги Қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга

тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялар ривожланиши устувор йўналишларига мослиги.** Мазкур тадқиқот иши Ўзбекистон Республика фан ва технологиялар ривожланишининг II. «Энергетика, энерго-ва ресурстежамкорлиги» устувор йўналишига мувофиқ бажарилган.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** В.Н. Мурашев, Ю.К. Акимов, Д.С. Ильин, Г. Вебер, Н.К. Гусев, Г.И. Айзенштан ва бошқа олимлар томонидан яримўтказгичли координат-сезувчанли детекторлар ишлаб чиқишган ва турли ўлчамли детекторлар ва технологик жараёнлар кўриб чиқилган.

Ҳозирги кунгача академик Р.А. Муминов мактаби томонидан яримўтказгичли детекторлар технологиясини ривожлантиришга маълум ҳисса қўшилган: детекторларнинг мақсад ва вазифаларига оид ҳар хил технологик аспектлар С.А.Раджапов, Д.Хасанов сингари олимлар томонидан ишлаб чиқилган. Ўзбекистонлик олимлар томонидан катта ўлчамли ядровий нурланишли яримўтказгичли детекторлар, шунингдек,  $a\text{Si-Si(Li)}$  гетеро-структура ва  $\text{Si(Li)}$  p-i-n-структур асосида катта ўлчамли яримўтказгичли детекторлар ишлаб чиқилган.

Яримўтказгичли детекторларнинг кўплаб қўлланишига қарамасдан, уларнинг параметрларини технологик жараёнлар орқали яхшилаш муаммолари эътиборсиз қоляпти. Шу билан бир қаторда катта диаметрли (100÷120 мм) кристаллар асосида ионловчи нурланишлар яримўтказгичли координат-сезувчанли детекторлари ишлаб чиқилмаган.

**Диссертация мавзусининг диссертация бажарилаётган илмий-тадқиқот муассасаси илмий-тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги.** Диссертация иши Физика-техника институти илмий-тадқиқот ишлари режасининг АЗ-ФА-0-13221 «Тиббий-томографик тизимлар учун катта ҳажмдаги кремний-литийли детекторлар ишлаб чиқиш ва тайёрлаш» (2012–2014 йй.) ва ЁА-ФА-Ф004 «Катта диаметрли монокристалл кремний асосида икки координатли-сезгир детекторни шакллантириш ва тайёрлаш технологиясини ишлаб чиқиш» (2016–2017 йй.) лойиҳалари доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** катта диаметрли кремний монокристаллари асосида ионловчи нурланишли яримўтказгичли координат-сезувчанли детекторларни ишлаб чиқиш технологиясини ва уларнинг функционал характеристикалари хусусиятларини аниқлашдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

диаметр  $\varnothing > 100 \div 120$  мм бўлган координат-сезувчанли детекторлар тайёрлаш учун химик-технологик жараёнларни ишлаб чиқиш;

монокристал кремний асосида ионловчи нурланишли яримўтказгичли координат-сезувчан детекторларни технологик маршрутини ишлаб чиқиш;

$\text{Si(Li)}$  p-i-n-структур асосида катта ўлчамли термосовутгич қурилмали яримўтказгичли координат-сезувчанли детекторлар ишлаб чиқиш ва уларнинг электрофизик характеристикаларини аниқлаш;

Al-aGe-pSi-Au гетероўтишли структура асосида яримўтказгичли координат-сезувчанли детекторлар ишлаб чиқиш ва уларнинг электрофизик характеристикасини аниқлаш;

**Тадқиқотнинг объекти** Si(Li) p-i-n асосида координат-сезувчан детекторлар, Al-aGe-pSi-Au гетероўтишли структуралардан иборат.

**Тадқиқотнинг предмети** Si(Li) p-i-n детекторли ва Al-aGe-pSi-Au гетероўтишли структураларда содир бўлаётган жараёнлардан, ток шаклланиш механизмларидан иборат.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Автоматик ўлчаш қурилмасида детекторли структурани вольт-ампер ва вольт-сиғим катталикларини, детекторли структурада юқори частотали вольт-сиғим катталигини аниқлаш усуллари қўлланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

катта диаметрли дастлабки кремний материални механик ва кимёвий ишлов беришнинг технологик усуллари ишлаб чиқилган;

катта ўлчамли координат - сезувчанли детекторлар тайёрлаш учун кремний структураларида вақтини икки марта камайтириш имконини берувчи икки томонлама диффузия усули ишлаб чиқилган;

Si(Li) p-i-n структура асосида 8, 16 ва 32 тасмали яримўтказгичли координат-сезувчанли детекторлар тайёрлаш учун технологик маршрут картаси ишлаб чиқилган;

Al-aGe-pSi-Au-гетероўтиш асосида аналогларидан сезгирлиги 20 % устун бўлган 8 тасмали яримўтказгичли координат-сезувчанли детектор яратилган;

Al-aGe-pSi-Au - гетероўтиш асосидаги 8 тасмали яримўтказгичли координат-сезувчанли фронтал омик контактли ва таг томони контакти эса жипслашган термик совутувчи Пельтье элементли, сирқиш токни икки марта камайтириш имконини берувчи, детекторнинг тажриба намунаси яратилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат: Si(Li) p-i-n-структура асосида 8, 16 ва 32 тасмали ва Al-aGe-pSi-Au гетероўтишли структура асосида эса 8 тасмали катта ўлчамли ионловчи нурланишли яримўтказгичли координат-сезувчанли детекторлар ишлаб чиқилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги** олинган илмий натижаларнинг бошқа тажриба натижалари билан мос тушиши, тадқиқотнинг замонавий ёндашув асосида олиб борилганлиги, ўлчов натижаларининг такрорий қайта ишланганлиги билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти катта ўлчамли ионловчи нурланишли қайд қилувчи яримўтказгичли координат-сезувчанли детекторлар тасаввурини кенгайтириш имконинини беради.

Тадқиқотнинг амалий аҳамияти олинган илмий натижалар асосида ишлаб чиқилган ҳар хил яримўтказгичли қурилмаларни амалиётда қўллаш муҳим аҳамият касб этиши билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** катта диаметрли кремний монокристаллари асосида ионловчи нурланишли яримўтказгичли координат-сезувчанли детекторлар ишлаб чиқиш технологиясининг ва уларнинг функционал характеристикаларини хусусиятларини аниқлаш асосида:

яримўтказгичли координат-сезувчанли детекторлар ишлаб чиқиш асосида Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлигининг фойдали моделга патенти олинган (FAP 01248; 27.09.2017 й.). Ишлаб чиқилган детектор аналогга нисбатан сирқиш токини икки марта камайтириш имконини берган;

яримўтказгичли координат-сезувчанли детекторларнинг икки томонлама диффузия ўтказиш технологияси 3205/ГФ4 рақамли «Қуёш элементларини яратишда фронтал контаксиз нанотехнологияларда кремний қатламли қоплашни илмий асосини ишлаб чиқиш» (2015–2017) фундаментал лойиҳасида симметрик бўлган киришмалар жойлашишини ҳосил қилишда қўлланилган (Қозоғистон Миллий университети Миллий нанотехнология лабораториясининг 2017 йил 12 октябрдаги 12/10/К-102-сон маълумотномаси). Илмий натижалардан фойдаланиш диффузия жараёни вақтини икки марта камайтириш имконини берган;

кремний асосида саккиз тасмали координат-сезувчанли детектор ишлаб чиқилган (Ёшларнинг «Инновацион ғоялари» Республика кўрик танлови ғолиби, сертификат, Тошкент, 2016 й.). Ишлаб чиқилган детектор ўхшаш намуналарга нисбатан ядровий заррачаларни қайд қилиш сезгирлигини 20 фоизга ошириш имконини берган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Мазкур тадқиқотнинг асосий натижалари 8 та халқаро ва 2 та республика илмий-амалий анжуманларда муҳокамадан ўтказилган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги.** Диссертация мавзуси бўйича асосий илмий натижалар жами 19 та илмий иш чоп этилган, шулардан Ўзбекистон Республикаси Олий Аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 8 та мақола ва 1 та фойдали моделига патент олинган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган абадиётлар рўйхатидан иборат. Диссертация ҳажми 128 бетни ташкил қилади.



## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

**Кириш** қисмида ўтказилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари, объект ва предметлари тавсифланган, республика фан ва технологиялар ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

**«Ионловчи нурланишли яримўтказгичли координат-сезувчанли детекторлар ишлаб чиқаришнинг муаммолари»** деб номланган биринчи бобида келтирилган адабиётлар шарҳи, координат-сезувчанли детекторлар учун асосий яримўтказгичли материаллар тавсифланган. Ҳар хил турдаги яримўтказгичли координат-сезувчан детекторлар ва уларнинг олиниш методлари кўрсатилган. Шунингдек, катта диаметрли кремний хоссалари ва детекторларнинг ишлаш жараёни кўрсатилган. Мавжуд детекторларни таққослаш натижалари келтирилган.

**«Катта ўлчамли ионловчи нурланишли яримўтказгичли координат-сезувчанли детекторларни ишлаб чиқиш технологияси»** деб номланган иккинчи бобида катта ҳажмли Si(Li) детекторларни босқичма-босқич тайёрланиш технологияси кўрсатилган (қирқиш, сайқаллаш, кимёвий ишлов бериш, силлиқлаш, кристални литий ионларини диффузияси учун ташёрлаш), тайёрлашнинг маршрут картаси 1-расмда келтириб ўтилган. Кремний кристаллида литий ионларини диффузия ва дрейф жараёнлари келтирилган. Ҳар хил ҳарорат вақт режимларида литий ионларининг диффузия жараёнлари аниқланган.

Ҳар хил заррачалар ва нурланишларни аниқлашда асосий асбоблардан бири ҳозирги вақтда p-i-n структура асосидаги яримўтказгичли детекторлар ҳисобланади. Аммо ядровий нурланишларни тайёрлаш ва ишлаб чиқишда бир қатор технологик муаммоларни ҳал қилиш зарур.

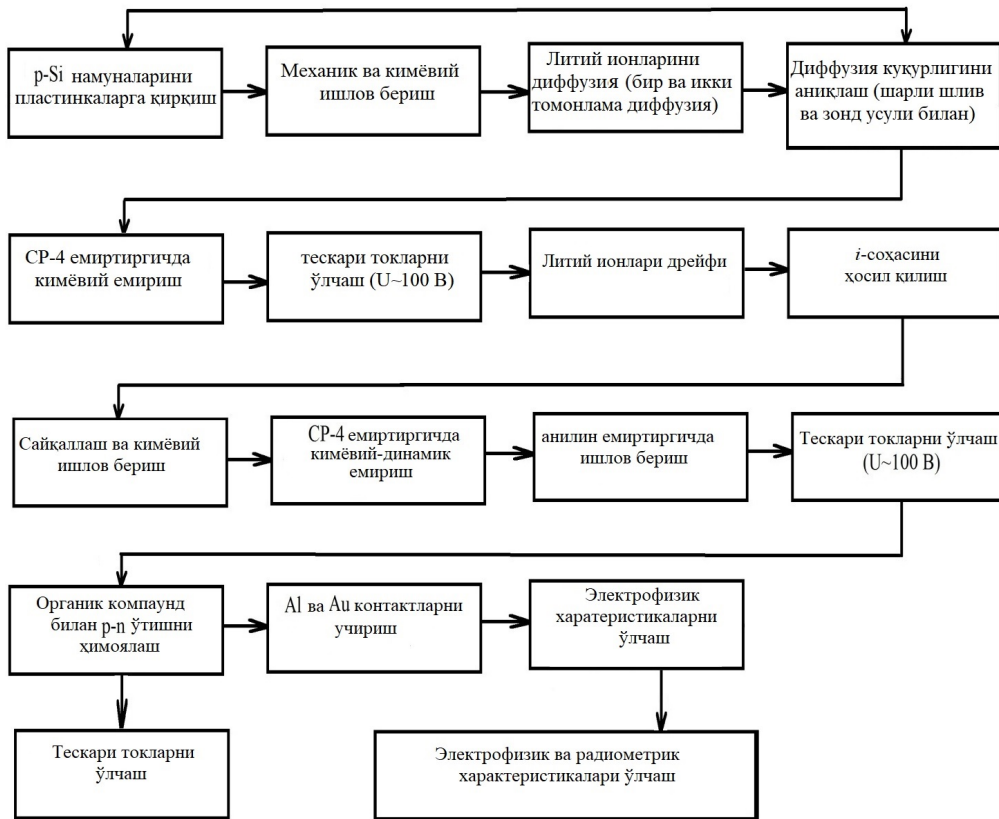
Яримўтказгичли координат-сезувчанли детекторлар (ЯЎКСД) ишлаб чиқишда механик ва кимёвий ишлов бериш бир неча жараёнларни талаб қилади, жумладан, кремнийни пластина кўринишида қирқиш; керакли диаметрчага пластинани сайқаллаш; пластинани сайқаллаш ва ювиш; кремний пластинасини кимёвий емириш.

Технологик белгиларга асосан бошланғич сайқаллашни (нисбатан каттароқ кукунлар М-14 билан) ва охири сайқаллашни (анча кичик кукун М-5 билан) амалга оширилади. Намунани сайқаллашда карбид бор В<sub>4</sub>С ва карбид кремний SiC микрокукуни фойдаланилди. Бунинг учун пластинанинг ҳар бир томонидан 50 мкм дан кам бўлмаган қатлам олиб ташланади.

Кремний пластинасини силлиқлашда фторопласт материалдан тайёрланилган ваннада кимёвий емирилиш амалга оширилди ва фторли водород (HF) азот (HNO<sub>3</sub>) ва уксус (CH<sub>3</sub>COOH) кислоталаридан фойдаланилди. Кимёвий емирилиш 15÷20 дақиқа оралиғида электродвигатель қурилмасидан

фойдаланилган ҳолда амалга оширилди. Кимёвий емирилиш назорати режими махсус ишлаб чиқилган технологик регламентда амалга оширилди.

Диффузия жараёни  $10^{-5}$  мм.см.ус. босимда 60 с давомида  $300\div 500$  °C ҳароратда вакуум камерасида ўтказилди.



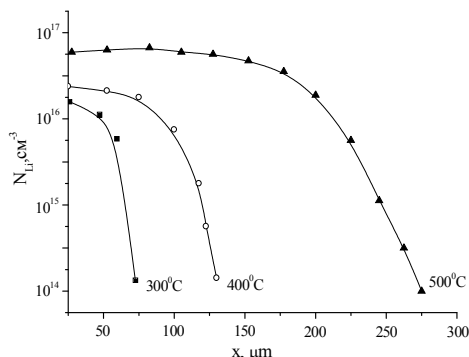
1-расм. Si(Li) детекторларини тайёрлашнинг технологик маршрут харитаси

Диффузия ҳарорати бошланғич материал қаршилигига боғлиқ ҳолда қуйидаги шарт асосида танландики, бунда кристаллнинг юза қисмидаги литий концентрацияси кремнийдаги бошланғич акцепторлар концентрацияси  $N_A$  дан бир оз катта бўлиши зарур, яъни  $N_{Li} \gg N_A$  (икки тартибдан кам бўлмаган).

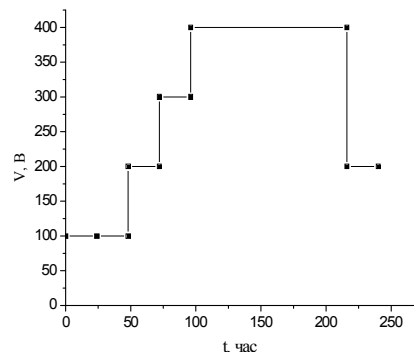
Катта юзада литий концентрациясини олиш учун юқори ҳарорат зарур. 2-расмда тигелсиз зона эритиш усули билан олинган кремний намуналарида диффузион профили тасвирланган. Литий диффузияси вакуумда ( $\approx 10^{-5}$  мм.см.уст.),  $T = 500$  °C,  $T = 400$  °C ва  $T = 300$  °C да  $t = 60$  с давомида олиб борилди.

Дрейф нисбатан юқори ҳароратларда олиб борилиб, бунда детекторларнинг тескари токи етарли даражада юқори ва генерация токи диффузия токига қараганда кўпроқдир. Литий ионларини текис тақсимланишини амалга оширувчи импульсли электр майдонининг таъсири тадқиқ қилинган ва режимлари тақлиф қилинди (3-расм). Кўришиб турибдики, кичик қаршиликли кремнийда текис тақсимланишни таъминловчи дрейф самарадорлиги нисбатан юқори ҳисобланади. Кўпчилик ҳолларда  $\rho \sim 10$  Ом.см,  $\tau \sim 50$  мкс материалдан тайёрланган Si(Li)

детекторлари учун текисловчи дрейф ўтказилганидан сўнг ( $T = 60^\circ\text{C}$ ,  $U = 100\text{ В}$ ,  $\tau = 24$  соат) да силжишнинг ишчи кучланиши ( $V_{\text{ишчи}}$ ) 100 В дан 15 В гача камаяди, бу вақтда (худди шундай геометрик ўлчамли)  $\rho = 4\text{ кОм}\cdot\text{см}$ ,  $\tau = 500\text{ мкм}$  ли кремнийдан тайёрланган бошқа детекторлар учун  $V_{\text{ишчи}}$  нинг камайиши 100 В дан 60 В гача содир бўлади.



**2-расм. Тигелсиз зонали эритиш усули билан ўстирилган кремнийда литий диффузия профили**



**3-расм. Дрейф вақти бўйича тескари силжиш кучланишининг вақтинчалик ўзгариши**

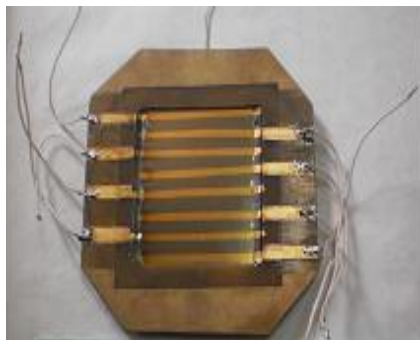
Дрейф жараёнида мавжуд структурага  $100\div 200^\circ\text{C}$  ҳароратда тескари йўналишда силжиш кучланиши берилади. Литий ионлари р-соҳага кўчиб акцепторларнинг ҳажмий зарядини мувозанатлаб, электр майдонининг қайта тақсимланишига олиб келади. Акцепторлар ва литий ионлари концентрациясининг юзага келаётган тенглиги бу соҳада электр майдон катталигининг камайишига олиб келади, лекин қўйилган ташқи кучланиш қанчалик доимий бўлиб қолса, литий ионлари р-соҳа ичкарасига қараб киришни шунча давом эттиради. Бу ЯЎКСДларнинг сезувчан соҳасининг тўлиқ компенсацияланишига олиб келади. Таъкидлаб ўтиш керакки, дрейф жараёнида р-п ўтишнинг тескари токини ҳосил қилишда орқа контактдан инъекция ва сирқиш тоқлари катта ҳисса қўшади. Бунда сирқиш тоқларини минимумга келтириш учун вақтинчалик дрейф жараёни тўхтатилиб, қўшимча кимёвий емириш амалга оширилади.

Намунага контактлар учуриш учун энг оддий ва қулай ўзлаштирилган вакуумли термик буғлантириш усули танланди. Тайёр Si(Li)пластинасига контактларни учуриш технологияси термик буғлантириш вакуум қурилмаси УВН-71П-3 да олиб борилди. Молибден ва вольфрам материалидан махсус буғлантиргич тайёрланиб, дастлаб уни спиртда ювилди, сўнгра вакуумда 10 – 15 мин. давомида қиздирилди. Молибденнинг узунлиги 40 мм ни, кремний пластиналари ва буғлантиргич орасидаги масофа 80 мм ни ташкил этади.

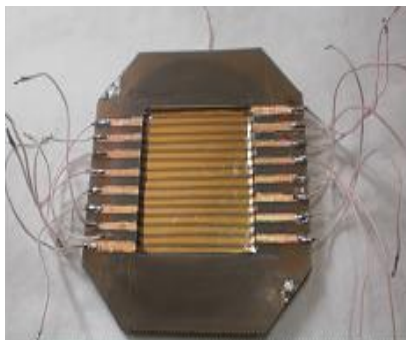
Тайёр кремний намуналари корпусга жойлаштирилди. Сўнгра  $5\times 10^{-5}$  мм.сим.уст. вакуумда термик учуриш усули билан пластинага Al материали (0,1 мкм) контакт сифатида киритилди. Фронтал томонидан Au ( $\sim 0,02$  мкм) тасмали махсус маскадан фойдаланилди (фаол тасмаларнинг геометрик ўлчамлари  $0,5\times 50$  мм ни ташкил этади, фаол бўлмаган тасмалар, яъни тасмалар орасидаги ораликлар умумий майдоннинг 1% ни ташкил этади).

Шундай қилиб, технологик жараёнларни ўтқазिश ва тадқиқотлар натижасида термосовутиш мосламасига эга Si (Li) *p-i-n* структураси асосида 4-расмда келтирилган, яримўтказгичли координат-сезувчанли детекторларни шакллантириш технологияси оптималлаштирилди.

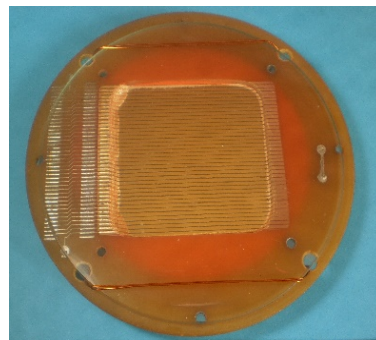
Олиб борилган тадқиқотларнинг натижасида ЯЎКСДнинг электрофизик ва радиометрик характеристикаларини яхшиланди. Технологик ишларни олиб бориш ва тадқиқотлар натижасида катта ўлчамли Si(Li) *p-i-n* структура асосида 8, 16 ва 32 тасмали яримўтказгичли координат-сезувчанли детекторларнинг тайёрлаш усули ишлаб чиқилди.



а) 8 тасмали



б) 16 тасмали

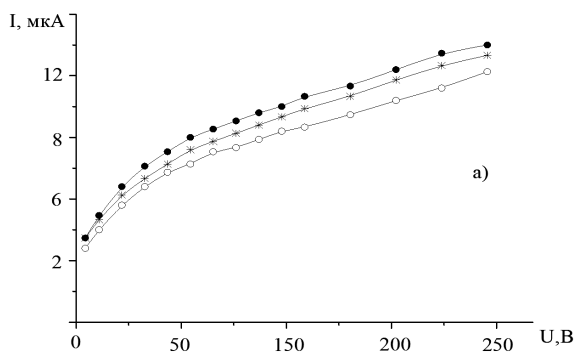


в) 32 тасмали

**4-расм. Si(Li) *p-i-n* структура асосидаги яримўтказгичли координата-сезувчанли детекторларнинг умумий кўриниши**

«Катта ўлчамли координат-сезувчанли детекторларнинг электрофизик ва спектрометрик характеристикаларини тадқиқ қилиш» деб номланган учинчи бобида координат-сезгирли детекторларнинг сиғимли ва ток характеристикаларининг тадқиқ қилиш натижалари келтирилган, уларнинг шовқинли спектрометрик характеристикаларини ва детекторларни синовдан ўтқазिश стенди макетининг таърифи келтирилган.

Катта юзали детекторларнинг функционал параметрларини тадқиқ қилиш учун вольт-ампер, вольт-сиғимли ва вольт-шовқин характеристикаларини ГОСТ 26222-86 стандартига биноан ўлчаш қурилмаси йиғилди. Нолдан то 250 вольтгача оралиқда токнинг тескари кучланишга боғлиқлиги тўйиниш характериға эға (5-расм), қайсики диффузион ток ўтишнинг устунлиги билан тушунтириш мумкин. Т-кўринишдаги кесимға эға 8 тасмали детекторлар минимал ва максимал  $I_{ут}$  қийматға эға бўлиб 8 тасмали детекторларда  $I_{обр}$  қийматли ўртамедианда жойлашган. Битта тасманинг майдони  $50 \times 0,5$  мм<sup>2</sup> га эға.  $I_{об}$ . Тескари ток қиймати-нинг полосалар бўйича ёйилиб кетиши жуда кам, бу эса бутун полосада бир хил кимёвий ишлов берилгани ҳақида далолат беради. Бир вақтда  $I_{ут}$  абсолют қиймати юқоридир.

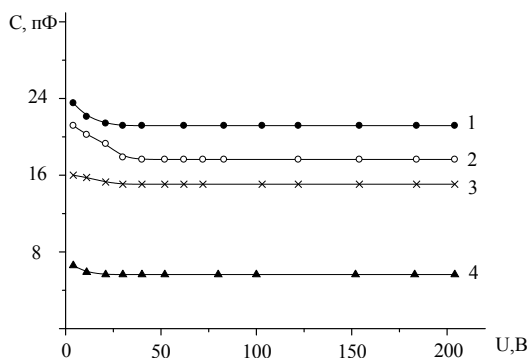


8- тасмалидетектор учун: --o--  $I_{\text{yT}}$  – кичик қийматли тасмалар учун; --●--  $I_{\text{yT}}$  – энг катта қийматли тасмалар учун; --\*-- – ҳамма полосанинг  $I_{\text{yT}}$  ўрта қиймати;

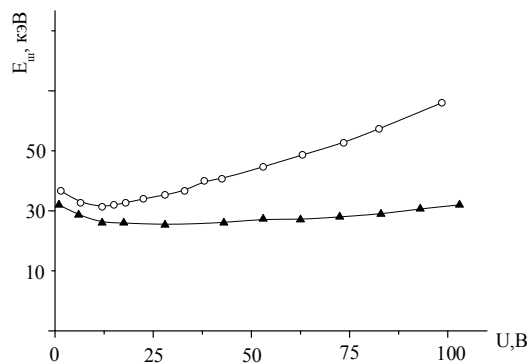
**5-расм. Кўп полосали дискрет координатали – сезгир детекторларда сирқиш токлари**

Детекторларнинг бу тури  $\sim 150$  мкм ўлчамда тақсимловчи соҳалар кенглигига эга ва бундай ариқча кенглигида кейинги емириш кесиш жараёнида ҳосил бўлган бузилишлар тўлиқ йўқолади. Шунинг учун ҳамма тасмаларнинг ВАХси орқали ток сирқишлари ташкил этган генерацияни топиш мумкин. Тасмалар кенглигини 400 мкм га катталаштириш (диаметри 330 мкм ли ўтказгич) орқали биз 200 В гача бўлган 4-эгри чизик ВАХсини кескин яхшилаш имконини берди.

Детекторларнинг ҳамма турларида тасмаларнинг вольтсиғим характеристикалари 20-25 В тескари кучланишда ясси текисликка чиқади, қайсики Si(Li) p-i-n структуранинг n-контакти яқинида p-n-ўтишнинг етарли кескинлиги ва сийраклашган соҳанинг кичик давомийлигидан далолат беради. Тескари силжиш кучланиши 25 В бўлганда база соҳаси ёпилувчи ўтишдаги хажмий заряд билан батамом эгалланади ва ажралувчи ташувчиларнинг исрофланишини камайишини таъминлайди.



а)



б)

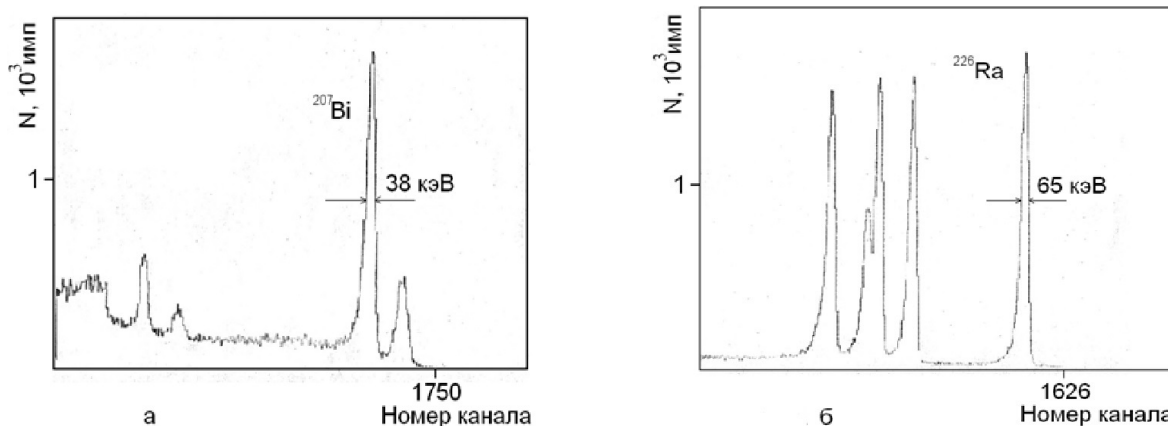
**6-расм. (а) 8 лик ва 16 лик полосали детекторларнинг вольт-сиғим характеристикаси ва (б) 8 лик ва 16 лик полосали детекторларнинг вольт-шовқин характеристикаси**

6 (а)-расмда электрик сиғимнинг қўйилган силжиш кучланишига боғлиқлиги учун келтирилган: 1 ва 2 чизиклар 8-полосали детекторнинг энг кичик ва энг катта қийматлари, 3 ва 4 чизиклар 16-полосали детекторларнинг энг кичик ва энг катта қийматларига тегишли. 6 (б)-расмда ҳар хил тақсимловчи оралиқлар кенглигига эга энергетик шовқин ўртача квадратик қийматининг силжиш кучланишига боғлиқлик графиги келтирилган. Тескари силжиш кучланиши ортиши билан  $\sim 150$  мкм тасма кенглигида шовқин ҳам ортади, бу стрип туридаги детекторлар учун сирқиш токининг генерацион

ташкил этилиши билан боғлиқ. Етарли даражада «емирлган» детектор учун (тасма кенглиги  $\sim 400$  мкм)  $E_{ш} = f(U)$  боғлиқлик амалиётда доимийдир ва  $U = 100$  В қийматгача шовқин катталиги ортмайди.

Хона ҳароратида бу намуналарнинг радиометрик характеристикалари ҳам ўрганилди.  $^{226}\text{Ra}$   $\alpha$  зарралари ва  $^{207}\text{Bi}$   $\beta$  зарралари манбалари ёрдамида уларнинг энергетик ҳал қилиш имконияти ўлчанди. Амплитудали спектрларни қайд этиш оддий спектрометрик йўналиши ёрдамида олиб борилди.

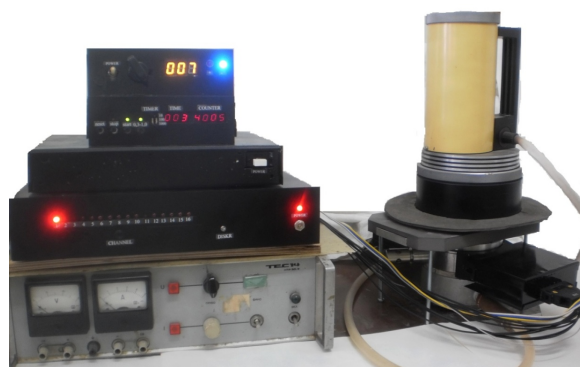
7 (а, б)-расмда  $^{207}\text{Bi}$  ( $E_{\beta} \sim 1$  МэВ)  $R_{\beta} = 38$  кэВ ички электрон ўзгариши  $\beta$  зарралари ва  $^{226}\text{Ra}$  ( $E_{\alpha} = 7,65$  МэВ)  $R_{\alpha} = 65$  кэВ  $\alpha$ -зарралари бўйича детекторнинг энергетик спектри кўрсатилган.



а)  $^{207}\text{Bi}$  ( $E_{\beta} \sim 1$  МэВ)  $\beta$ -зарралари бўйича      б)  $^{226}\text{Ra}$  ( $E_{\alpha} = 7,65$  МэВ)  $\alpha$ -зарралари бўйича  
7-расм. Детекторнинг энергетик спектрлари

Тайёрланган ЯЎКСДда  $T = 25^{\circ}\text{C}$  ҳарорат,  $U_{\text{теск.}} = (200-600$  В) ишчи кучланишда қоронғуликдаги токи  $I = 1,5-4,5$  мкА, сиғими 150 пФ, шовқин эса  $E_{ш} = 22-28$  кэВ ни ташкил этади. Ишчи кучланиши  $U_{\text{обр}} = 300$  В да, энергетик ҳал қилиш имконияти  $^{226}\text{Ra}_{\alpha} = 33-46$  кэВ (1 элемент) қоронғулик токи  $I = 0,2-0,6$  мкА, сиғими  $C = 40$  пФ, шовқини  $E_{ш} = 9-12$  кэВ,  $E_{\alpha} = 7,65$  МэВ энергетик ҳал қилиш имкониятига эга  $^{226}\text{Ra}_{\alpha} = 14-18$  кэВни ташкил этади (7-расм).

Координатали-сезувчан объектларни сканерлаш визуализациясини намойиш қилишига мўлжалланган детекторларни синаш учун стенд макети тайёрланди, “чақнайдиған” ионловчи нурланиш манбаси ёрдамида объектларни сканерлаш визуализациясини намойиши учун яратилган (8-расм). Бу хатоликларни текислаш амплитуда дискриминация тугунида амалга ошириш кўзда тутилган. Конструктив тугун ҳар бирида 8 тадан кучайтиргич бўлган 2 та корпусдан ташкил топган. Кучайтиргичлар ҳар бир корпуснинг ички қисмида икки қаватли бўлмада жойлашади. Бу детектордан локал усилителга уланган ўтказгичларнинг узунлигини минимал ҳолатга келтириш учун қилинган.

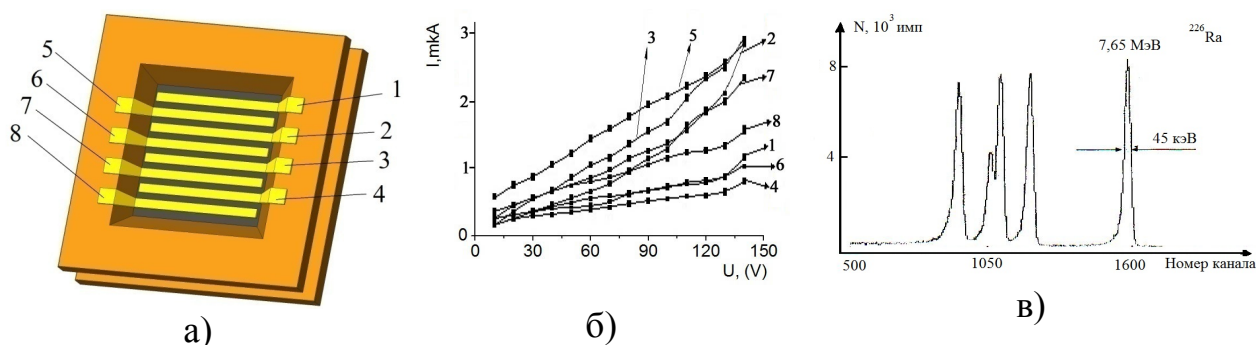


8-расм. Координат-сезувчан детекторлар стенди макетининг умумий кўриниши

«Al-aGe-pSi-Au гетероўтиш структура асосидаги ядровий нурланишли координат-сезувчанли детекторларнинг хусусийлиги» деб номланган тўртинчи бобида Al-aGe-pSi-Au структура асосида гетероўтишли яримўтказгич координат-сезувчанли детекторларни тайёрлаш ва ишлаб чиқиш учун технологик босқичларнинг ўзига хос тадқиқотларига бағишланган натижалар келтирилган. Уларнинг электрофизик ва радиометрик характеристикалари тадқиқ қилинган.

Намуна пластиналарида кимёвий емирилишлар ўтказилганидан сўнг уларга контактлар учирилди. Пластиналарнинг бир томонига туташ тўғри тўртбурчакли германий (қалинлиги 500 Å) учирилди, сўнгра корпусга гетинакс ўрнатилганидан сўнг (қалинлиги 1000 Å) алюминий контакт учирилди. Кичик қаршиликли контактлар олиш учун пластиналарнинг фронтал томонига юпқа полоса шаклида тешиклари бўлган махсус маска орқали олтин (қалинлиги 200 Å) учирилди.

Шундай қилиб, Al-aGe-pSi-Au структура асосида яримўтказгичли координат-сезгир детекторларни тайёрлашнинг технологияси оптималлаштирилиб 8 полосали (9(а)-расм) ЯЎКСД энг яхши электрофизик характе-



9-расм. (а) Координатли-сезувчан детекторнинг умумий кўриниши; (б) 8 тасмали дискрет ЯЎКСД сирқиш токининг кучланишга боғлиқлиги; в)  $^{226}\text{Ra}$  ( $E_\alpha=7.65$  МэВ)  $\alpha$ - зарралари учун Al-aGe-pSi-Au структурали детекторнинг энергетик спектрлари

ридикаларга эга детекторлар ишлаб чиқилган (9 (б)- расм). 9 (б)-расмга мувофиқ 140 В кучланишда сирқиш тоқларининг қиймати 0.5–3 мкА интервалида ётади. Бу намуналарда (диаметри 50 мм, қалинлиги 4 мм) литий ионлари кремний ҳажмида бир жинсли компенсация ҳолатига эришилганлигини англатади. Бу маълумотлар яримўтказгичли детекторлар учун энг яхши натижалар ҳисобланади.

9 (в)-расмда Al-aGe-pSi-Au-структура асосида координатли-сезгир детекторларнинг турли энергетик спектрлари тасвирланган. 9 (в)-расмга биноан ҳар хил полосаларнинг энергетик спектрлари бир-биридан кам фарк қилади ва полосаларнинг мос келган радиометрик характеристикалари билан ўзаро боғлиқдир.

## ХУЛОСА

Катта диаметри кремний монокристаллари асосида ионловчи нурланишли яримўтказгичли координат-сезувчанли детекторлар ишлаб чиқиш технологиясининг ва уларнинг функционал характеристикалари хусусиятларини аниқлаш асосида қуйидаги хулосалар қилинди:

1. Ишчи кучланиши 100Вдан то 15Вга камайиши режимида литийни дрейфлаш ва диффузия жараёнлари, диаметри катта бўлган пластиналарни киркишни таъминловчи ҳамда импульсли электр майдони таъсирида киришмаларнинг бир текислигини таъминловчи ядровий нурланишли координат-сезувчанли детекторлар тайёрлаш учун технологик маршрут картаси ишлаб чиқилган.

2. Кремний асосида катта ўлчамли координат-сезувчанли детекторлар тайёрлаш учун икки томонлама диффузия усули ишлаб чиқилган.

3. Медицина томография тизими учун мўлжалланган 8, 16 ва 32 тасмали  $^{207}\text{Bi}$  ( $E_{\beta}\sim 1$  МэВ)  $\beta$  зарралари учун ички электрон ўзгариши  $R_{\beta}=38$  кэВ ва  $\alpha$ -зарралари учун  $^{226}\text{Ra}$  ( $E_{\alpha}=7,65$  МэВ)  $R_{\alpha}=65$  кэВ энергетик спектрли координат-сезувчан катта диаметри детекторлар тайёрланган.

4. Тиббиёт ва бошқа соҳаларга мўлжалланган зарядланган заррачаларни қайд қилувчи, юзасида тилладан 8, 16 ва 32 тасмали омик контактили, остки қисмида эса сирқиш токини икки марта камайтирувчи совитувчи Пельтье элементи контактлаштириладиган бир текис алюминий қатламли p-i-n-структурадан иборат яримўтказгичли координат-сезувчан детекторнинг тажриба намунаси яратилган.

5. Al-aGe-pSi-Au-гетероўтишли энергетик ечими 45 кэВ, яъни кремний-литийли детекторга нисбатан (65 кэВ) икки баробар яхши ва сирқиш токи уч марта кам бўлган 8 тасмали яримўтказгичли координат-сезувчан детектор тайёрлашнинг физик-технологик ёндошишлари ишлаб чиқилган.

6. Ионизациялашган нурлар манбаи билан “ёритилувчи” объектларни сканланишини кўрсатишга мўлжалланган координат-сезувчан детекторларни синовдан ўтказиш стендининг макети яратилган.



**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.27.06.2017.FM./Т.34.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ,  
ИНСТИТУТЕ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ И ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ,  
САМАРКАНДСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

---

**ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

**ТОШМУРОДОВ ЁРКИН КАХРАМОНОВИЧ**

**РАЗРАБОТКА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ  
КООРДИНАТНО-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ДЕТЕКТОРОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО  
ИЗЛУЧЕНИЯ БОЛЬШИХ РАЗМЕРОВ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЯ**

**01.04.10 – Физика полупроводников**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)  
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

**ТАШКЕНТ-2018**

**Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № В2017.1.PhD/T21.**

Диссертация выполнена в Физико-техническом институте НПО «Физика-Солнце» АН РУз.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета по адресу [fti.uz](http://fti.uz) и Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» по адресу [www.ziyo.net/uz](http://www.ziyo.net/uz)

**Научный руководитель:** **Раджапов Сали Аширович,**  
доктор физико-математических наук

**Официальные оппоненты:** **Абдукодиров Мухиддин Абдурашидович,**  
доктор технических наук, профессор

**Насриддинов Сайфилло Саидович,**  
доктор технических наук, доцент

**Ведущая организация:** **Ферганский политехнический институт**

Защита состоится «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г. в \_\_\_ часов на заседании Научного совета 14.07.2016.FM/T.12.01 при Физико-техническом институте, по адресу: 100084, г.Ташкент, ул. Бодомзор йули – 2б. Тел./Факс: (+99871) 235-42-91, e-mail: [info.fti@uzsci.net](mailto:info.fti@uzsci.net).

С диссертацией (PhD) можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Физико-технического института (зарегистрирована за №\_\_\_), по адресу: 100084, г.Ташкент, ул. Бодомзор йули – 2б. Тел./Факс: (+99871) 235-30-41.

Автореферат диссертации разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 года  
(протокол рассылки \_\_\_ от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.).

**С.Л. Лутпуллаев**

Председатель одnorазового научного совета по присуждению учёных степеней, д.ф.-м.н., профессор

**А.В. Каримов**

Учёный секретарь одnorазового научного совета по присуждению учёных степеней, д.ф.-м.н., профессор

**И.Г. Атабаев**

Председатель одnorазового научного семинара при Научном совете по присуждению учёных степеней, д.ф.-м.н., профессор

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В настоящее время в мировой практике в области физики полупроводников уделяется особое внимание одному из перспективных направлений измерению энергии альфа и бета частиц, гамма и рентгеновского излучений, определению процессов взаимодействия протон, нейтрон других частиц служащих для разработки новых типов ядерных детекторов. В этом аспекте одной из важных задач является определение процессов формирования функциональных характеристик и физических процессов протекающих в них для оптимизации функциональных параметров полупроводниковых координатно-чувствительных детекторов.

В Республике в перспективном направлении науки, в частности в разработке координатно-чувствительных детекторов. В улучшении их параметров новым подходом, по разработке предназначенных для использования в таможенных службах и ядерных реакторах, получены значительные результаты. В соответствии со Стратегией действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан является важным освоение принципиально новых видов продукции и технологий, обеспечение на этой основе конкурентоспособности отечественных товаров на внешних и внутренних рынках. В этом аспекте обеспечение защиты будущего поколения и национальную безопасность от воздействия радиации путем разработки полупроводниковых детекторов, приборостроения имеет важное значение.

На сегодня в мире особое внимание уделяется координатно-чувствительным детектором большого диаметра для медицинской диагностики. В этом направлении проведение целевых научных исследований в приведенных направлениях является важным: определение возможностей расширения функциональных характеристик координатно-чувствительных детекторов большого диаметра; разработка методов усовершенствования технологических процессов полупроводниковых детекторов ядерного излучения на основе монокристалла кремния; поиск путей улучшения параметров координатно-чувствительных детекторов большого размера на основе кремниевых p-i-n-структур; разработка на основе гетеросистем координатно-чувствительных полупроводниковых детекторов и оптимизация их спектрометрических характеристик.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных предусмотренных в Постановлении Президента Республики Узбекистан № ПП-1442 «О приоритетных направлениях развития индустрии Республики Узбекистан на 2011-2015 гг.» от 15 декабря 2015 года и № ПП-2789 «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности Академии Наук, организаций, управления и финансирования научно-исследовательской деятельности» от 17 февраля 2017 года, а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Диссертационная работа выполнена в рамках приоритетных направлений развития науки и технологий Республики Узбекистан: III. «Энергетика, энергоресурсосбережение, транспорт, машино- и приборостроение, развитие современной электроники, микроэлектроники, фотоники, электронного приборостроения».

**Степень изученность проблемы.** В.Н.Мурашевым, Г.Вебером, Ю.С.Акимивым, Д.С. Ильином, Н.К.Гусевым, Г.И.Айзенштаном и другими учеными разработаны полупроводниковые координатно-чувствительные детекторы малых размеров.

До сегодняшнего дня школой академика Муминова Р.А. внесен определенный вклад в развитие технологии полупроводниковых детекторов: учеными С.А. Раджаповым, Д. Хасановым разработаны технологические аспекты различного назначения полупроводниковых детекторов на основе aSi-Si(Li) гетероструктур и Si(Li) p-i-n-структур.

Однако несмотря на широкое использование детекторов ядерного излучения остаются нерешенными проблемы улучшения их параметров технологическими процессами. В том числе не разработаны координатно-чувствительные детекторы ионизирующего излучения большого диаметра на основе монокристаллического кремния.

**Связь темы диссертации с научными исследованиями научно-исследовательской организации, где выполнена диссертационная работа.** Диссертационное исследование выполнено в Физико-техническом институте НПО «Физика-Солнце» АН РУз по проекту: АЗ-ФА-0-13221 «Разработка и изготовление кремний-литиевых детекторов больших объемов для медицинских томографических систем» (2012–2014) и молодежному проекту: ЁА-ФА-Ф004 «Разработка технологии формирования и изготовления двухкоординатно-чувствительных детекторов на основе монокристаллического кремния большого диаметра» (2016–2017).

**Целью исследования является** выявление особенностей технологии изготовления полупроводниковых координатно-чувствительных детекторов ионизирующего излучения на основе монокристалла кремния больших диаметров и их функциональных характеристик.

В соответствии с поставленной целью необходимо было решить следующие задачи:

изучить особенности физических свойств исходных кремниевых пластин больших диаметров и толщин ( $\varnothing > 100-120$  мм,  $d \geq 1,5$  мм), исследовать физические и технологические особенности процесса диффузии и дрейфа ионов лития в кремниевые пластины больших диаметров и толщин;

разработать технологию формирования полупроводниковых координатно-чувствительных детекторов ионизирующего излучения на монокристаллическом кремнии;

разработать полупроводниковые координатно-чувствительные детекторы больших размеров на основе Si(Li) p-i-n-структур с термоохлаждающим устройством и исследование их электрофизических характеристик;

разработать технологию формирования полупроводниковых координатно-чувствительных детекторов больших размеров на основе гетеропереходных структур Al-aGe-pSi-Au, исследование их электрофизических и радиометрических характеристик.

**Объектом исследования** являются координатно-чувствительный детектор на основе Si(Li) *p-i-n* и гетеропереходные Al-aGe-pSi-Au-структуры.

**Предметом исследования** является формирование детекторных Si(Li) *p-i-n*-структур и гетеропереходных Al-aGe-pSi-Au-структур, исследование их электрофизических и радиометрических характеристик.

**Методы исследования:** измерение вольтамперных и вольт-фарадных характеристик детекторных структур; измерение исследования высокочастотных вольт-фарадных характеристик детекторных структур.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

разработаны методы механических и химических обработок кристаллов кремния большого диаметра;

разработан способ двухсторонней диффузии, обеспечивающий в два раза меньшее время процесса диффузии в кремниевых структурах большого диаметра;

разработан технологический маршрут изготовления координатно-чувствительных 8, 16 и 32 полосных детекторов больших размеров на основе Si(Li) *p-i-n*-структур;

на основе Al-aGe-pSi-Au-гетероперехода созданы не уступающие аналогам на 20% высокой чувствительностью 8 полосные координатно-чувствительные детекторы;

создан полупроводниковый координатно-чувствительный 8-ми полосный полупроводниковый детектор на основе гетероперехода Al-aGe-pSi-Au с фронтальным омическим контактом и тыльным контактом со скрепленным охлаждающим элементом Пельтье, обеспечивающим уменьшение токов утечки в два раза.

**Практические результаты исследования:** разработаны и изготовлены полупроводниковые координатно-чувствительные детекторы на базе монокристаллического кремния большого диаметра и толщин, ионизирующих излучения на основе Si(Li) *p-i-n*-структур с 8, 16 и 32 полосами и гетеропереходных Al-aGe-pSi-Au-структур с 8 полосами.

**Достоверность результатов исследования** основывается на совпадении расчетных результатов с экспериментальными данными, которые также коррелируют с другими литературными данными зарубежных ученых.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.**

В диссертационной работе рассмотрены новые технологические процессы для формирования и изготовления полупроводниковых координатно-чувствительных детекторов, ионизирующих излучения больших размеров на основе Si(Li) *p-i-n*-структур, гетеропереходных Al-aGe-pSi-Au-структур и исследованы их электрофизические, радиометрические характеристики. Эти результаты имеют важные научные значения для понимания технологических процессов создания различных полупроводниковых приборов

больших размеров и практические значения совершенствования их характеристик.

**Внедрение результатов научных исследований.** На основе выявления особенностей технологии изготовления полупроводниковых координатно-чувствительных детекторов ионизирующего излучения на основе монокристалла кремния больших диаметров и их функциональных характеристик:

на основе разработки полупроводникового координатно-чувствительного детектора получен патент на полезную модель Агентства интеллектуальной собственности Республики Узбекистан (FAP 01248; 27.09.2017 г). Использование разработанного детектора позволило уменьшить токи утечки в два раза по сравнению с аналогом;

технология проведения двухсторонней диффузии к полупроводниковым координатно-чувствительным детекторам использована при выполнении фундаментального проекта 3205/ГФ4 “Разработка научных основ создания эффективного солнечного элемента с обволакивающим слоем кремниевых нанонитей без фронтальных контактов” (2015-2017гг.) для изготовления полупроводниковых фотопреобразователей (Справка 12/10/К-102 от 12 октября 2017 года Национальная лаборатория нанотехнологии Казахского национального университета). Применение научных результатов позволило уменьшить в два раза время диффузионного процесса;

на основе кремния создан 8 полосный координатно-чувствительный детектор (номинант Выставки конкурса Молодежи «Инновационные идеи», сертификат, Ташкент, 2016г.). Использование разработанного детектора позволило по сравнению с аналогом регистрировать ядерные излучения на 20% большей чувствительностью.

**Апробация результатов исследования.** Основные результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на 8 международных и 2 республиканских научно-практических конференциях.

**Публикации результатов исследования.** По теме диссертации опубликованы 19 научных работ, из них 8 статей в журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертационных работ, один патент на полезную модель.

**Структура и объём диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной литературы. Текст диссертации изложен на 128 страницах.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы, определены цели и задачи исследования, показана научная новизна и практическая ценность результатов работы.

В первой главе «Состояние проблемы разработки полупроводниковых координатно-чувствительных детекторов ядерного излучения» проведен обзор литературных данных по разновидностям полупроводниковых координатно-чувствительных детекторов и их назначение, принципы действия, особенности кремниевых детекторов ядерного излучения с большой площадью, приведены сравнительные характеристики существующих детекторов.

Вторая глава «Технология изготовления полупроводниковых координатно-чувствительных детекторов ядерного излучения больших размеров» посвящена технологическим этапам получения Si(Li) детекторов больших размеров, технологической маршрутной карте (резка, шлифовка, химическая обработка, полировка, подготовка кристаллов для диффузии лития), особенностям резки пластин, дрейфу лития и выравниванию распределения примесей в базе, получению контактных областей, встраиванию термоохлаждающего устройства.

Полупроводниковые детекторы (ПВД) на основе р-і-п-структур в настоящее время являются одним из основных инструментов исследования различных частиц и излучений. Однако при разработке и изготовлении детекторов ядерного излучения необходимо решить ряд технологических проблем, особенно для больших размеров, технологическая карта которого приведена на рис. 1.

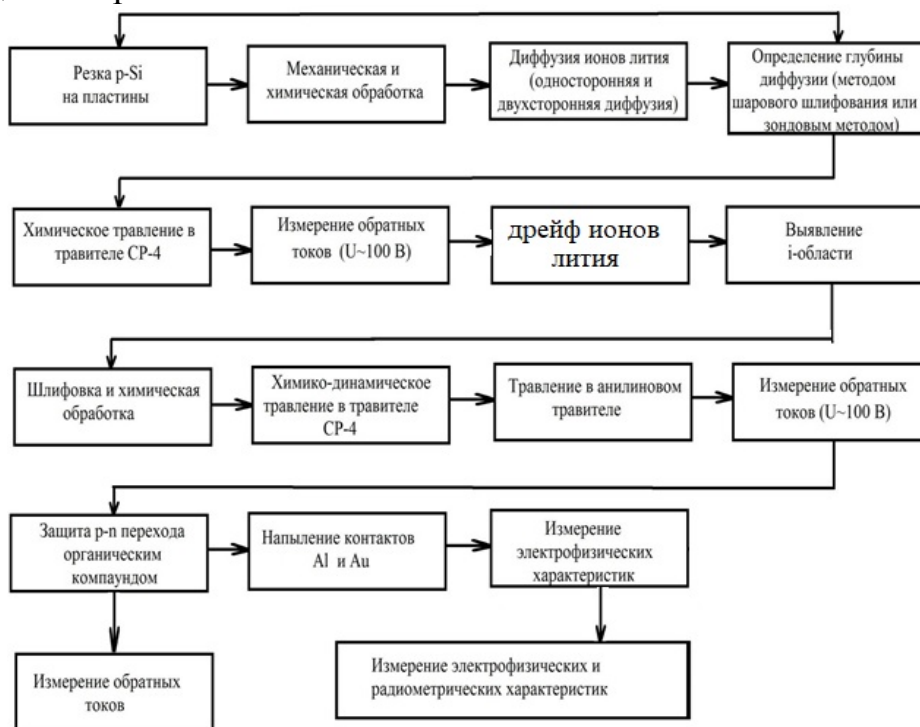


Рис. 1. Технологическая маршрутная карта изготовления Si(Li) детекторов

Для механической и химической обработки требуется усовершенствовать некоторые процессы применительно к детекторам большой площади, в частности: резка пластин кремния; шлифовка слитка до нужных размеров; промывка пластин и шлифовка; химическое травление пластин кремния.

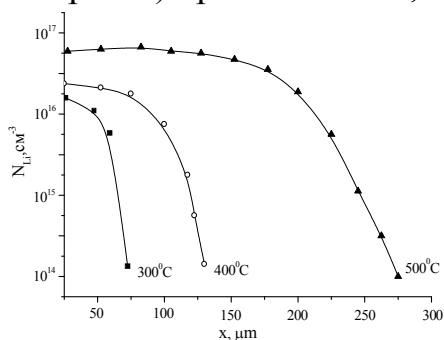
По технологическим признакам шлифовку подразделяют на предварительную (с более крупным порошком М-14) и окончательную (с более мелким порошком М-5). В качестве абразива используют микропорошки карбида бора  $B_4C$  и карбида кремния  $SiC$ , при этом, с каждой стороны удаляются слои толщиной не менее 50 мкм.

Полировка кремниевых пластин осуществлялась путем травления в ваннах, изготовленных из материала фторопласта с использованием следующих кислот: плавиковая ( $HF$ ), азотная ( $HNO_3$ ) и уксусная ( $CH_3COOH$ ). Термическое травление проводилось в течение 15÷20 минут с использованием электронагревательного прибора. Регулирование режима травления осуществлялось по специально разработанным технологическим регламентам.

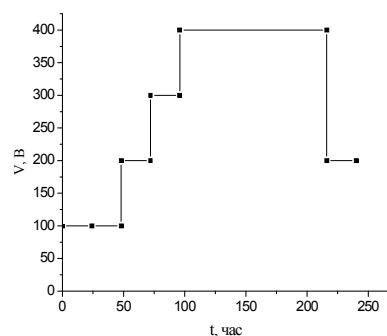
После проведения химико-технологических работ, процесс диффузии проводили в вакуумной камере, при давлении  $10^{-5}$  тор в течение  $t = 60$  сек при температуре 300-500 °С, что выше, чем для обычных детекторов.

Температура диффузии выбиралась в зависимости от сопротивления исходного материала при условии, что концентрация лития на поверхностной части кристалла должна быть намного больше концентрации исходных акцепторов в кремнии  $N_A$ , т.е.  $N_{Li} \gg N_A$  (не менее двух порядков).

Для получения значительной поверхностной концентрации лития необходима определенная высокая температура. На рис. 2. представлены диффузионные профили в образцах кремния, полученных методами бестигельной зонной плавки. Диффузия лития проводилась в вакууме ( $\approx 10^{-5}$  мм.рт.ст.) при  $T = 500$  °С,  $T = 400$  °С и  $T = 300$  °С в течение  $t = 60$  сек.



**Рис. 2. Диффузионный профиль лития в кремнии, выращенного по методу бестигельной зонной плавки**



**Рис. 3. Временное изменение напряжения обратного смещения во времени дрейфа.**

Дрейф проводился при относительно повышенных температурах, обратный ток детектора достаточно высокий и генерационный ток выше, чем диффузионный. Нами предложены режимы и проведены исследования влияния импульсного электрического поля на выравнивающий дрейф (ВД) ионов лития, рис. 3. Эффективность выравнивающего дрейфа относительно высока в низкоомном кремнии. В частности, для  $Si(Li)$  детекторов,

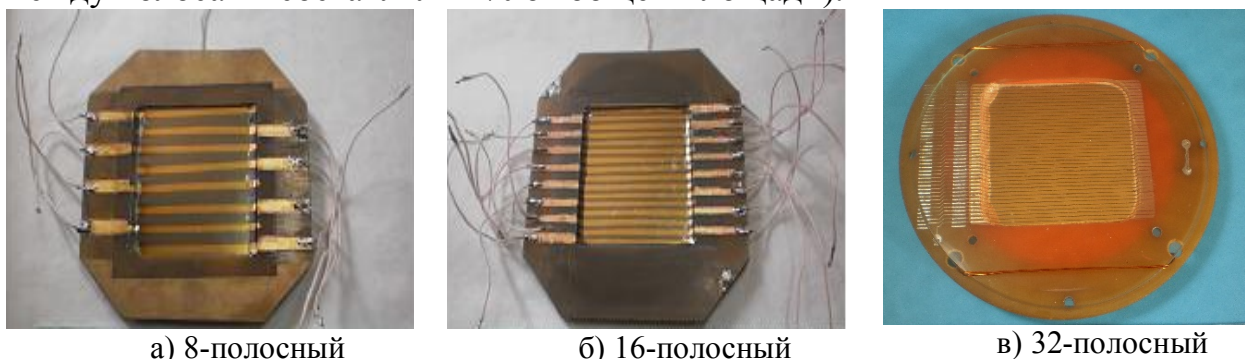


изготовленных из материала с  $\rho \sim 10 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ ,  $\tau \sim 50 \text{ мкс}$  после проведения выравнивающего дрейфа (при  $T = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $U = 100 \text{ В}$ ,  $\tau = 24 \text{ час}$ ) рабочее напряжение смещения ( $V_{\text{раб}}$ ) уменьшается с 100 В до 15 В, в то время как для других детекторов (с такими же геометрическими размерами) из кремния с  $\rho = 4 \text{ кОм}\cdot\text{см}$ ,  $\tau = 500 \text{ мкм}$  уменьшение  $V_{\text{раб}}$  происходит с 100 В лишь до 60 В.

В процессе дрейфа на имеющуюся структуру подавалось смещение в обратном направлении при температуре  $100 \div 200 \text{ }^\circ\text{C}$ . Ионы лития, перемещаясь в р-область, компенсирует объемный заряд акцепторов, что приводит к перераспределению электрического поля. Возникающее равенство концентрации ионов лития и акцепторов приводит к уменьшению величины электрического поля в этой области, но поскольку приложенное внешнее напряжение остается постоянным, ионы лития продолжают проникать вглубь р-области – это должно привести к полной компенсации чувствительной области ППД. Следует отметить, что в процессе дрейфа большой вклад в обратные токи р-п-перехода вносят токи утечки и инжекции с тылового контакта. При этом токи утечки могут быть сведены к минимуму дополнительным травлением, временно прекращая при этом процесс дрейфа.

Для напыления контактов был выбран метод вакуумного термического испарения, как наиболее простой и наиболее освоенный. Процесс напыления контактов на готовые Si(Li) пластины проводился на вакуумной установке термического испарения УВН-71П-3. Из молибдена и вольфрама были изготовлены испарители специальной конструкции, которые промывались в спирте и затем отжигались в вакууме в течение 10-15 мин. Длина молибдена составляет 40 мм, расстояние между испарителем и кремниевыми пластинами составляет 80 мм.

Готовые кремниевые изделия помещали в корпус. Затем методом вакуумного напыления при давлении  $5 \times 10^{-5} \text{ мм.рт.ст.}$  на пластину наносили контакты из Al (0,1 мкм). С фронтальной стороны использована специальная маска с полосами Au ( $\sim 0,02 \text{ мкм}$ ) – контакты (геометрические размеры активной полосы составляли  $0,5 \times 50 \text{ мм}$ , неактивные полосы, т.е. зазоры между полосами составляли 1% от общей площади).



а) 8-полосный

б) 16-полосный

в) 32-полосный

**Рис. 4. Общий вид полупроводниковых позиционно-чувствительных детекторов на основе Si(Li) p-i-n-структур**

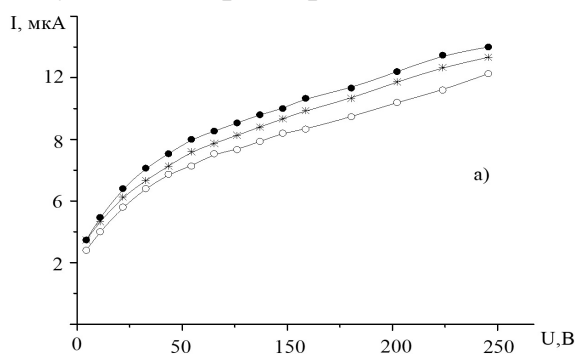
Таким образом, после отработки технологических режимов были изготовлены полупроводниковые координатно-чувствительные детекторы боль-

ших размеров на основе Si (Li) p-i-n-структур с термоохлаждающим устройством, которые приведены на рис.4.

В результате проведенных исследований и проведения оптимизированных технологических работ нами реализованы способы изготовления полупроводниковых координатно-чувствительных детекторов больших размеров на основе Si(Li) p-i-n-структур с 8, 16 и 32 полосами, улучшены их электрофизические и радиометрические характеристики.

В третьей главе диссертации «Исследование электрофизических и спектрометрических характеристик координатно-чувствительных детекторов больших размеров» приведены результаты исследования токовых и емкостных характеристики координатно-чувствительных детекторов, их шумовые спектрометрические характеристики и описание макета стенда для испытания детекторов.

Для проведения исследований функциональных параметров детекторов большой площади собраны установки измерения вольтамперных, емкостных и шумовых характеристик согласно ГОСТа 26222-86.



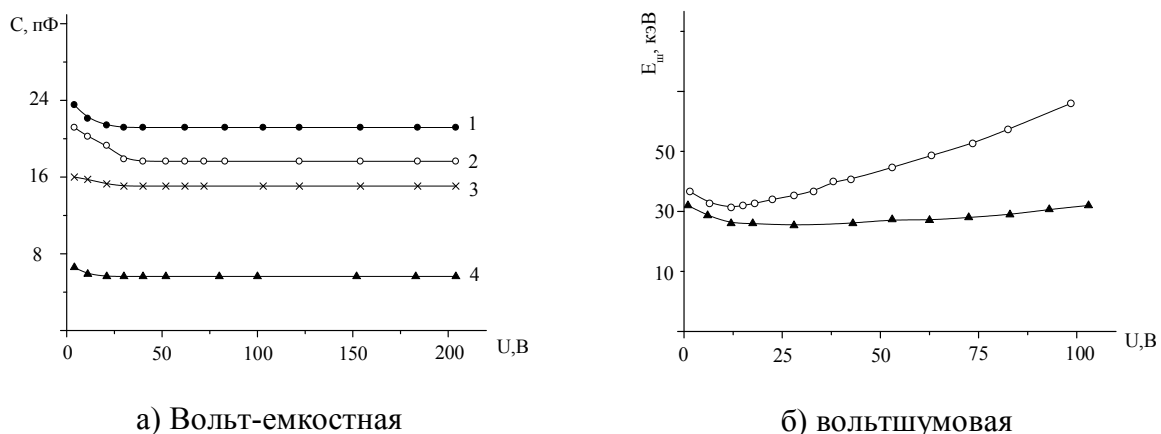
8-ми полосный для: --o-- полосы с наименьшими значениями  $I_{ут}$ ; --●-- полосы с наибольшими значениями  $I_{ут}$ ; --\*-- средне медианные значения  $I_{ут}$  всех полос.

**Рис. 5. Токи утечки многополосных дискретных координатно-чувствительных детекторов**

уует об одинаковой химической обработке всех полос. Однако абсолютные значения  $I_{ут}$  велики. Эти типы детекторов имели ширину разделительных участков  $\sim 150$  мкм и последующее их травление при такой ширине канавки позволило полностью удалить внесенные в процессе резки нарушения. Поэтому ВАХ всех полос обнаруживают генерационную составляющую токов утечки. Увеличение ширины полосы до 400 мкм (проволока диаметром 330 мкм) позволило резко улучшить ВАХ.

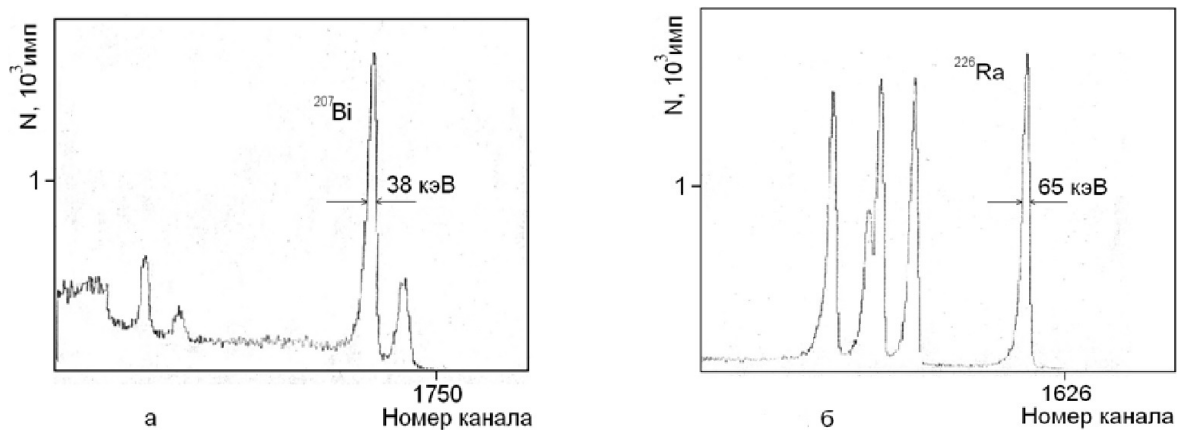
Вольт-емкостные характеристики полос всех типов детекторов (рис. 6а) выходят на плато уже при напряжении обратного смещения  $20 \div 25$  В, что свидетельствует о достаточно резком p-n переходе и малой протяженности области перекомпенсации вблизи n-контакта Si(Li) p-i-n-структуры. Соответственно базовые области при напряжениях порядка 25В полностью охватываются объемным зарядом запираемоно перехода, что обеспечивает снижение потерь разделенных носителей.

Зависимости тока от запирающего напряжения в интервале от нуля до 250 вольт носят насыщающийся характер (рис. 5), что можно объяснить преобладанием диффузионного механизма в токопереносе. Значения токов утечки от напряжения с минимальным и максимальным значением  $I_{ут}$  8-ми полосного детектора с T-образным сечением, между которыми расположены средне медианные значения  $I_{обр}$  для всех 8-ми полос. Площадь одной полосы  $40 \times 1,5$  мм<sup>2</sup>. Разброс значений  $I_{об}$  по полосам незначителен, что свидетельст-



а) Вольт-емкостная  
б) вольтшумовая  
**Рис. 6. Зависимости емкостной и шумовой характеристики от напряжения для 8-ми и 16-ти полосного детекторов**

На рис. 6 (а) представлены зависимости электрической емкости от приложенного смещения для: 1 и 2-полос с наименьшими и наибольшими значениями 8-ми полосного детектора, 3 и 4-полос с наименьшими и наибольшими значениями 16-ти полосного детектора. На рисунке 6 (б) представлены зависимости среднеквадратичного значения энергетического шума от напряжения смещения для детекторов с различной шириной разделительных промежутков. При ширине канавки  $\sim 150$  мкм шумы растут с увеличением напряжения обратного смещения (кривая 1), что связано с генерационной составляющей в токе утечки для этого типа стрипового детектора. Для достаточно «протравленного» детектора (ширина канавки  $\sim 400$  мкм) зависимость  $E_{ш} = f(U)$  практически постоянна и шумы не растут вплоть до значений  $U = 100$  В.

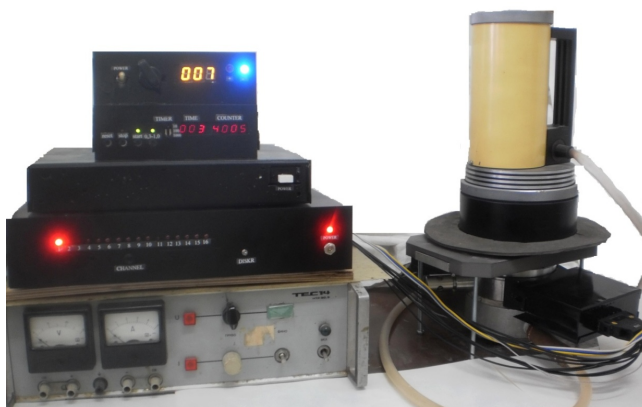


а) по  $\beta$ -частиц  $^{207}\text{Bi}$  ( $E_{\beta} \sim 1$  МэВ);  
б) по  $\alpha$ -частиц  $^{226}\text{Ra}$  ( $E_{\alpha} = 7,65$  МэВ)  
**Рис. 7. Энергетические спектры детектора**

На этих же образцах проведены исследования радиометрических характеристик при комнатной температуре. Энергетическое разрешение измерялось с помощью источника  $\alpha$  частиц  $^{226}\text{Ra}$  и  $\beta$  частиц  $^{207}\text{Bi}$ . Регистрация амплитудных спектров проводилась с помощью обычного спектрометрического тракта.

На рис. 7 (а, б) показан энергетический спектр детектора по  $\beta$ -частицам электрон внутренней конверсии  $^{207}\text{Bi}$  ( $E_{\beta} \sim 1$  МэВ)  $R_{\beta} = 38$  кэВ и по  $\alpha$ -частицами  $^{226}\text{Ra}$  ( $E_{\alpha} = 7,65$  МэВ)  $R_{\alpha} = 65$  кэВ, что находится на уровне заводских аналогов (ООО «Западприбор» [www.zapadpribor.com](http://www.zapadpribor.com)).

Изготовленные ППКЧД при температуре  $T = 25$  °С и рабочем напряжении  $U_{\text{обр}} = 200-600$  имеют темновой ток  $I = 1,5-4,5$  мкА, емкость  $C = 150$  пФ, шумы  $E_{\text{ш}} = 22-28$  кэВ. Энергетические разрешения по  $^{226}\text{Ra}_{\alpha} = 33-46$  кэВ (1 элемент) при рабочем напряжении  $U_{\text{обр}} = 300$ В имеют темновой ток  $I = 0,2-0,6$  мкА, емкость  $C = 40$  пФ, шумы  $E_{\text{ш}} = 9-12$  кэВ, энергетическое разрешение по  $^{226}\text{Ra}_{\alpha} = 14-18$  кэВ с энергии  $E_{\alpha} = 7,65$  МэВ составляют  $(0,2-0,4)\%$  (рис. 7) и свидетельствуют о достижении высоких параметров.



**Рис. 8. Общий вид макета стенда координатно-чувствительных детекторов.**

Изготовлен макет стенда для испытания координатно-чувствительных детекторов предназначенный для демонстрации визуализации сканирования объекта, «просвечиваемого» источником ионизирующего излучения (рис. 8). Выравнивание этой погрешности предполагалось осуществить в узле амплитудной дискриминации. Конструктивно узел состоит из двух корпусов, в каждом из которых по 8 предусилителей. Внутри каждого корпуса усилители располагаются в двухэтажном отсеке. Это сделано для того, чтобы минимизировать разброс длин проводников от детектора к локальному усилителю.

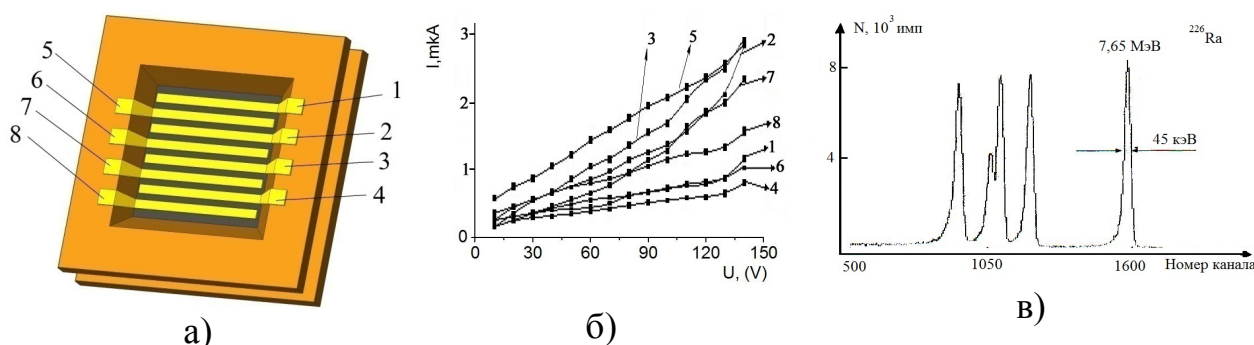
В четвертой главе «**Особенности полупроводниковых координатно-чувствительных детекторов ядерного излучения на основе гетеропереходных структур Al-aGe-pSi-Au**» приведены краткие сведения о путях модернизации основных детекторных материалов кремния и германия, особенности технологических этапов изготовления гетеропереходных полупроводниковых координатно-чувствительных детекторов на основе Al-aGe-pSi-Au-структур. Исследованы их токовые и спектрометрические характеристики.

Последние достижения в модификации полупроводникового кремния и германия связаны с процессами их легирования изовалентными примесями. В частности, кремний легированный германием отличается низкой плотностью макродефектов и стабильностью параметров, а гидроге-

незирванный германий превосходит кремний по скорости движения электронов в десять раз и в пять раз, чем в монокристаллическом германии. Эти обстоятельства послужили основой для создания детекторов ядерного излучения на основе гетероперехода аморфный германий – кремний.

Исходные гетероструктуры аморфный германий-кремний получены напылением в вакууме германия на подложку из кремния р-типа проводимости толщиной 400 мкм. Далее их поверхности подвергались химическому травлению, после чего формировались контактные области. На поверхность структуры со стороны кремния чекрех окна в маске сформированы в виде полосок контактные площадки из золота (толщиной 200 Å), а на другую поверхность аморфного германия напылен сплошной слой алюминия (толщиной 1000 Å). Для получения низкоомных контактов на фронтальную сторону пластины через специальную маску с отверстиями в форме тонких полос напылялось золото (толщиной 200 Å).

Таким образом, изготовлен лабораторный образец 8-полосного ППКЧД детектора с гетеропереходом в системе кремний-германий, вид с поверхности которого приведен на рис. 9а.



**Рис. 9. Общий вид координатно-чувствительного детектора:**

- (а) зависимость тока утечки восьми полосного дискретного ППКЧД от напряжения;**  
**(б) энергетические спектры детектора на основе Al-aGe-pSi-Au-структур**  
**для  $\alpha$ -частиц  $^{226}\text{Ra}$  ( $E_\alpha=7.65$  МэВ) (в)**

Обратные токи в интервале напряжений от нуля до 140 В увеличиваются близко клинейному с максимальным значением тока 3 мкА (рис. 9б). Эти значения в три раза меньше по сравнению, чем в кремний-литиевых Si(Li) - p-i-n-структурах. Энергетические спектры Al-aGe-pSi-Au-гетероструктурных детекторов с разрешением 45 кэВ, то есть в два раза лучше, чем в кремний-литиевых детекторах (65 кэВ).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе исследования особенностей технологии изготовления полупроводниковых координатно-чувствительных детекторов ионизирующего излучения на основе монокристалла кремния больших диаметров (~100 мм) и их функциональных характеристик сделаны следующие выводы:

1. Разработан технологический маршрут, в котором обеспечена резка пластин большого диаметра, процесс диффузии и дрейфа лития в режиме уменьшения рабочего напряжения со 100В до 15В, а также равномерность примесей под воздействием ступенчатого импульсного электрического поля.

2. Разработан метод двухсторонней диффузии в кремниевых структурах для изготовления координатно-чувствительных детекторов больших размеров, позволяющий в два раза уменьшить время диффузии.

3. Изготовлены большого диаметра 8-ми полосные и 16-ти полосные детекторы с возможностями использования для томографических систем с энергетическим спектром по  $\beta$ -частицам электрон внутренней конверсией  $^{207}\text{Bi}$  ( $E_{\beta} \sim 1$  МэВ)  $R_{\beta} = 38$  кэВ и по  $\alpha$ -частицам  $^{226}\text{Ra}$  ( $E_{\alpha} = 7,65$  МэВ)  $R_{\alpha} = 65$  кэВ, что находится на уровне заводских.

4. Разработан полупроводниковый координатно-чувствительный детектор, предназначенный для регистрации заряженных частиц в медицине и т.д. включающий p-i-n-структуру фронтальными омическими контактами из золота в виде восьми, шестнадцати и тридцати двух полос, тыльным сплошным контактом из алюминия, который контактирует с термоохлаждающим элементом Пельтье, позволяющее уменьшить токи утечки в два раза.

5. Выявлены технико-технологические аспекты создания координатно-чувствительных детекторов на основе гетеропереходных Al-aGe-pSi-Au структур с энергетическим разрешением 45 кэВ, то есть в два раза лучшими, чем в кремний-литиевых детекторах (65 кэВ) и в три раза меньшими токами утечки.

6. Изготовлен макет стенда для испытания координатно-чувствительных детекторов предназначенный для демонстрации визуализации сканирования объекта, «просвечиваемого» источником ионизирующего излучения.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES  
DSC.27.06.2017.FM/T.34.01 PHYSICAL-TECHNICAL INSTITUTE,  
INSTITUTE OF ION-PLASMA AND LASER TECHNOLOGIES,  
SAMARKAND STATE UNIVERSITY**

---

**PHYSICAL-TECHNICAL INSTITUTE**

**TOSHMURODOV YORKIN KAXRAMONOVICH**

**DEVELOPMENT AND PRODUCTION OF SEMICONDUCTOR  
COORDINATE-SENSITIVE DETECTORS OF IONIZING RADIATION  
BASED ON SILICON**

**01.04.10 – Physics of semiconductors**

**ABSTRACT OF DISSERTATION OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD) ON  
TECHNICAL SCIENCES**

**TASHKENT – 2018**

**The theme of dissertation of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered by the Supreme Attestation Commission of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2017.1.PhD/T21.**

Dissertation has been carried out at the Physical-Technical Institute.

The abstract of the dissertation is posted in three (Uzbek, Russian, English) languages on the website of the Scientific Council at [fti.uz](http://fti.uz) and on the website of «ZiyoNet» information-educational portal at [www.ziyo.net](http://www.ziyo.net).

**Scientific consultant:** **Radzhapov Sali Ashirivich**  
doctor of sciences in physics and mathematics

**Official opponents:** **Abdukadirov Muhiddin Abdurashidovich**  
doctor of Technical Sciences, professor

**Nasriddinov Sayfullo Saidovich**  
doctor of Technical Sciences, dosent

**Leading organization:** **Fergana Polytechnic Institute**

The defence of the dissertation will be held on «\_\_» \_\_\_\_\_ 2018, at \_\_\_ at the meeting of the Scientific Council number DSc.27.06.2017.FM/T.34.01 Physical-technical institute, (Address: 2B Bodomzor str., 100084, Tashkent, Uzbekistan. Tel.: (+99871) 235-42-91; e-mail: [info.fti@uzsci.net](mailto:info.fti@uzsci.net)).

The doctoral dissertation has been registered in the Information Resource Centre of the Physico technical Institute (registered under No. \_\_). Address: 2B Bodomzor str., 100084, Tashkent, Uzbekistan. Phone/Fax: (+99871) 235-42-91.

The abstract of dissertation was distributed on «\_\_» \_\_\_\_\_ 2018.  
(Registry record No \_\_\_\_ dated «\_\_» \_\_\_\_\_ 2018).

**S.L. Lutpullayev**

Chairman of scientific council on award of scientific degree, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

**A.B. Karimov**

Scientific secretary of scientific council on award of scientific degree, Doctor of Physical and Mathematical Sciences Professor

**I.G. Atabaev**

Chairman of the scientific seminar under scientific council on award of scientific degrees, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor



## INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

**The aim of the research thesis** is revealing peculiarities of the technology of manufacturing semiconductor coordinate-sensitive detectors of ionizing radiation based on single-crystalline silicon wafers of large diameter as well as investigating their functional characteristics.

**The object of the research thesis** is a coordinate-sensitive detector based on Si (Li) *p-i-n* heterojunction structures of Al-aGe-pSi-Au.

**Scientific novelty of the research thesis:** The scientific novelty of the study is as follows:

A technique of mechanical and chemical processing of the original wafer of large diameters has been developed in order to ensure high flatness;

A two-side diffusion technique has been developed, which decreases the time of diffusion two times in large-diameter silicon structures;

A technological map for manufacturing of large-size coordinate-sensitive detectors based on Si (Li) *p-i-n* structures with 8, 16 and 32 bands has been developed;

8-band semiconductor coordinate-sensitive detector has been developed on the basis of Al-aGe-pSi-Au heterojunction structures with 20% advanced sensitiveness compare to analogues;

A semiconductor coordinate-sensitive 8-band semiconductor detector based on the Al-aGe-pSi-Au heterojunction with a front-ohmic contact and a rear contact with a Peltier cooling element, which reduces the leakage current by half, is created.

### **Implementation of the research results:**

On the basis of the results of study of features of the technology for manufacturing semiconductor coordinate-sensitive detectors of ionizing radiation based on a large-diameter single-crystalline silicon wafers and their functional characteristics:

A patent was obtained for the developed coordinate-sensitive detectors of ionizing radiation of large dimensions granted by the Intellectual Property Agency titled «Semiconductor Coordinate Sensitive Detector» (Bulletin No. 01248 of October 31, 2017). Application of the developed detector allowed reducing leakage currents twice as compared to the analogues;

technology for carrying out two-side diffusion of semiconductor coordinate-sensitive detectors was used in the implementation of the fundamental project 3205 /GF4 «Development of the scientific foundations for the creation of an effective solar cell with covering layer of silicon nanowires without front contacts» (2015-2017) for semiconductor photo-converters (Ref. Kazakh National University of Al-Farabi on October 12<sup>th</sup>, 2017). The application of scientific results has made it possible to reduce the time of the diffusion process two times;

A certificate for the Youth Contest «Innovative Ideas» for technology within the «IX Republican Fair of Innovative Ideas, Technologies and Projects» organized by the Ministry of Higher Education Exhibition was granted.

**The structure and volume of the thesis.** The PhD thesis consists of an introduction, four chapters, conclusion, reference literature. The content of the work is outlined on 128 pages, contains 54 figures and 5 tables. References include 78 titles including foreign literature.

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I бўлим (I часть; I part)**

1. Toshmurodov Yo.K. Position-Sensitive Detectors of Nuclear Radiation and a Study of their Current–Voltage Characteristic // Instruments and Experimental Techniques - New York 2017, Vol. 60, No. 4, PP. 605–607. (№ 11 Springer, IF: 0,437)

2. Muminov R.A., Radzhapov S.A., Toshmurodov Yo.K., Radzhapov B.S. Coordinate-sensitive detectors of ionizing radiation on the basis of the Si (Li) *p-i-n* large-dimension structures // «Computational nanotechnology», 2017, № 3. С. 29-32. (01.00.00 № 7)

3. Раджапов С.А., Тошмуродов Ё.К., Раджапов Б.С., Рисалиева Ш. Координатно-чувствительные детекторы ядерного излучения с термоохлаждающим устройством // Uzbek journal of Physics, 2016, том 18, № 6, С. 403-406. (01.00.00 № 5)

4. Muminov R.A., Radzhapov S.A., Toshmuradov Yo.K., Risaliev Sh., Bekbaev S., Kurmantaev A. Development and Optimization of the Production Technology of Large Size Position Sensitive Detectors // Instruments and Experimental Techniques - New York, 2014, Vol. 57, No. 5, PP. 564–565. (№ 11 Springer, IF: 0,437)

5. Муминов Р.А., Раджапов С.А., Тошмуродов Ё.К. Электрофизические характеристики разных типов кремниевых детекторов ядерного излучения с большой поверхностью чувствительной области // Uzbek journal of Physics, 2014/16, № 3. С. 234-237. (01.00.00 № 5)

6. Muminov R.A. Saymbetov A.R., Toshmurodov Yo.K. Special Features of Formation of High-Performance Semiconductor Detectors Based on  $\alpha$ Si-Si(Li) Heterostructures // Instruments and Experimental Techniques - New York, 2013, № 1, PP. 32-33. (№ 11 Springer, IF: 0,437)

7. Муминов Р.А., Раджапов С.А., Тошмуродов Ё.К. Влияние неоднородности кристаллической решетки на свойства детектора томографической системы на основе Si(Li) *p-i-n* структур больших размеров // Доклады Академии Наук Республика Узбекистан, 2013, № 2, С. 24-26. (01.00.00 № 7)

8. Muminov R.A. Saymbetov A.R., Toshmurodov Yo.K. Electrophysical characteristics of large-size  $\alpha$ Si-Si(Li) detector heterostructures // Semiconductor physics, quantum electronics and optoelectronics. Ukraine-2012, V.15, № 3, PP. 285-287. (01.00.00 № 7)

**II бўлим (II часть; II part)**

9. Муминов Р.А., Раджапов С.А., Тошмуродов Ё.К., Раджапов Б.С., Рисалиева Ш. Полупроводниковый координатно-чувствительный детектор Патент РУз № FAP 01248 от 27.09.2017.

10. Тошмуродов Ё.К., Раджапов Б.С., Тураев С. Координатно-

чувствительные детекторы ядерного излучения // XIII международная научная конференция «Физика твердого тела», посвященная 20-летию ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, 26-28 апреля 2016, С. 113.

11. Муминов Р.А., Раджапов С.А., Тошмуродов Ё.К., Рысалиева Ш., Вахобов К.И., Бекбаев С. Полупроводниковые детекторы ядерного излучения на основе гетерепереходных структур Al- $\alpha$ Ge-pSi-Au // «Фундаментальные и прикладные вопросы современной физики» Сборник тезисов докладов международной конференции. Ташкент-2015, С. 106-107.

12. Муминов Р.А., Раджапов С.А., Тошмуродов Ё.К., Раджапов Б.С., Бекбаев С., Курмантаев А., Саймбетов А.К. Технология изготовления координатно-чувствительных детекторов больших размеров для томографических систем // XII международная научная конференция «Физика твердого тела» 25-27 июня, 2014, Астана, Казахстан, С. 194-195.

13. Муминов Р.А., Раджапов С.А., Тошмуродов Ё.К., Раджапов Б.С., Вахобов К.И. Координатно-чувствительные детекторы рентгеновского излучения // III Международная научная конференция «Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниковых микро-наноструктурах», Фергана, 14-15 ноября 2014, С. 259-260.

14. Тошмуродов Ё.К. Разработка и оптимизация технологии позиционно-чувствительных детекторов больших размеров // Республика ёш олимлар илмий-амалий конференцияси. Ташкент-2013. 26 декабря, С. 137.

15. Муминов Р.А., Раджапов С.А., Тошмуродов Ё.К., Рисалиева Ш. Полупроводниковые позиционно-чувствительные детекторы больших размеров на основе Si(Li) p-i-n структур // «Яримўтказгичлар физикаси ва курилмалар ҳамда уларни ўқитишнинг муаммолари» Худудий илмий анжуман. Наманган – 2013, С. 91-92.

16. Муминов Р.А., Раджапов С.А. Тошмуродов Ё.К., Рисалиева Ш., Бекбаев С. Полупроводниковые позиционно-чувствительные детекторы больших размеров с термоохлаждающим устройством // 9-я Международная конференция ядерная и радиационная физика, 24-27 сентября 2013 года, Алматы, Республика Казахстан, С. 214-215.

17. Муминов Р.А., Раджапов С.А., Тошмуродов Ё.К., Бекбаев С., Курмантаев А., Саймбетов А.К. Разработка и изготовления позиционно-чувствительных детекторов больших размеров // 8-я Международная научная конференция «Современные достижения физики и фундаментальное физическое образование» Казахстан, Алматы, 9-11 октября 2013, С. 186-187.

18. Muminov R.A., Radjarov S.A., Pindyurin Yu.S., Toshmurodov Yo.K., Risaliev Sh. Discrete semiconductor coordinator sensitive detector with large-size of working layer // Международной конференции “Nuclear Science and its Application”, Самарканд, 25-28 сентября 2012, С. 319-321.

19. Муминов Р.А., Раджапов С.А., Тошмуродов Ё.К., Рысалиева Ш., Вахобов К.И., Бекбаев С. Полупроводниковые детекторы ядерного излучения на основе гетерепереходных структур Al- $\alpha$ Ge-pSi-Au // «Фундаментальные и прикладные вопросы современной физики», сборник тезисов докладов международной конференции. С. 300-302.

Авторефератнинг ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги нусхалари  
«Тил ва адабиёт таълими» журнали таҳририясида таҳрирдан ўтказилди  
(10.01.2017 йил).

Босишга рухсат этилди: \_\_\_\_\_ 2018 йил  
Бичими 60x44 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>, «Times New Roman»  
гарнитурда рақамли босма усулида босилди.  
Шартли босма табағи 2,4. Адади: 100. Буюртма: № \_\_\_\_\_.

Ўзбекистон Республикаси ИИВ Академияси,  
100197, Тошкент, Интизор кўчаси, 68.

«АКАДЕМИЯ НОШИРЛИК МАРКАЗИ»  
Давлат унитар корхонасида чоп этилди.