

Қўлёзма ҳуқуқида
УДК 621.376.234

САЙМБЕТОВ АХМЕТ КУАНЫШБАЕВИЧ

Ҳажмий заряд соҳасининг узунлиги ва бўлиниш чегарасининг
детекторли структуралар электрофизик характеристикаларига
таъсирининг ўзига хослиги

01.04.10 – Яримўтказгичлар физикаси

Физика-математика фанлари номзоди илмий
даражасини олиш учун ёзилган диссертация

АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент – 2010

Диссертация иши ЎзР ФА С.А.Азимов номидаги «Физика-Қуёш» ИИЧБ
С.В.Стародубцев номидаги Физика-техника институтида бажарилди.

Илмий раҳбар: физика-математика фанлари доктори, проф. академик
Муминов Рамизулла Абдуллаевич

Расмий оппонентлар: физика-математика фанлари доктори, профессор
Баҳадырханов Мухаммадкабир Саидхонович
физика-математика фанлари номзоди, к.и.х.
Дадамухаммедов Суннатулла

Етакчи ташкилот: Тошкент ахборот технологиялари университети

Диссертация ҳимояси ЎзР ФА Физика-техника институти “Физика-Қуёш”
ИИЧБсида 2010 йил «_____» _____ куни соат_____да Д.015.08.01 Ихтисослашган
кенгашнинг йиғилишида бўлиб ўтади.

Манзил: 100084, Тошкент, Бодомзор йўли, 2“б” - уй
Тел: (8-10-99871)-235-12-71. Факс: (8-10-99871)-223-42-91.
E-mail: karimov@uzsci.net

Диссертация иши билан ЎзР ФА “Физика-Қуёш” ИИЧБ сининг Физика-техника
институти кутубхонасида танишиш мумкин.

Автореферат 2010 йилнинг «_____» _____да тарқатилди.

Авторефератга тақризлар муҳр билан тасдиқланган икки нусхада шу манзилга
Ихтисослашган Кенгаш илмий котиби номига юборилиши сўралади.

Ихтисослашган кенгаш
илмий котиби, ф.-м.ф.д, проф.

Каримов А.В.

1. ДИССЕРТАЦИЯНИНГ УМУМИЙ ТАВСИФИ

Мавзунинг долзарблиги. Маълумки, ҳозирги пайтда яримўтказгичли ядровий нурланиш детекторлари ядро-физик илмий тадқиқотларида кенг миқёсда тадбиқ этилиб қолмасдан, балки инсонлар фаолиятининг турли соҳаларида қўлланилиш ўрнини топмоқда, жумладан: геология, тиббиёт, энергетика, археология, атроф-муҳитни муҳофаза қилиш, фазовий асбоб-ускуналар, криминалистика ва ҳ.к. Шу билан бир вақтда турли хилдаги радиацион (ионлаштирувчи) нурланишларни қайд қилиш техника ва замонавий илм-фан тараққиётининг алоҳида масаласи бўлиб қолишда давом этмоқда, жумладан, уларнинг амалий тадбиқи ҳам. Уларнинг орасида юқори энергетик ва позицион нуқталар тўплами, турли хилдаги ионлаштирувчи зарралар учун кенг диапазондаги энергияли чизиқли сигналга эга яримўтказгичли ядровий нурланиш детекторларини (ЯЎД) ишлаб чиқиш алоҳида ўрин эгаллайди. Юқори самарали ЯЎД структураларни олишнинг муҳим илмий-техник ва технологик босқичларидан бири ишлаб чиқаришнинг фақат физик, технологик, конструкцион ечимларини тўғри тушунишгина эмас, хусусан, яримўтказгичли монокристалл р-п, р-і-п структура, шунингдек, $\alpha\text{Si-Si(Li)}$ гетероструктуралар асосида ташкил топиш жараёни ҳисобланади, аммо тўпланган жараёнларни илмий нуқтаи назардан тушунилишини кенгайтириш, детекторнинг сезгир соҳасидаги заряд ташувчилари нурланиш ионизациясининг индукцияга эгаллиги, юқори энергетик нуқталар тўпламига эга амлитудали спектр асосидаги тузилиши каби тушунчалар ҳам муҳим. Ушбу саволда асосий материал сифатида монокристалли кремний муҳим ўрин эгаллайди. Шундай экан, унга диффузия ва ундан кейинги шу каби катта иш ҳажмига эга структураларнинг аралашма атомлари билан компенсация жараёни каби жараёнларнинг ривожини зарур. Бунда структура юқори самарали бўлиниш чегарасининг тузилиши алоҳида аҳамиятга эга. Шу нуқтаи назардан олиб қараганда, р-п, р-і-п ўтишли ҳамда $\alpha\text{Si-Si(Li)}$ гетероўтишга эга юқори самарали Si(Li) структураларни ишлаб чиқишнинг илмий-технологик тадқиқотлари жуда муҳим. Мавжуд масала катта ўлчамли ЯЎД ишлаб чиқишга зарурат мавжуд бўлгани ҳолда, хусусан, саноатда ишлаб чиқариладиган сезгир юзага эга дастлабки монокристалл кремнийнинг максимал диаметрга эга турлари айниқса ҳозирги вақтда аҳамиятли. Катта юзага ва узун сегирлик соҳасига эга юқори самарали Si(Li) ядровий нурланиш детекторларини яратиш бўйича масалаларнинг муваффақиятли ечими кўпинча катта диаметрли дастлабки кристалл хусусият (хосса)ларини тўғри тушунишга ва детектордан фойдаланиш характеристикалари билан уларнинг физикавий алоқасига боғлиқ. Бу дастлабки кристалл хусусият (хосса)ларини анчагина чуқур тушунишни ва р-п, р-і-п ўтишли ҳамда $\alpha\text{Si-Si(Li)}$ гетероўтишга эга юқори самарали детекторли структуралар тузилишидаги уларнинг ролини аниқлашни талаб этади. Шунинг учун диссертация ишининг мавзуси бугунги кунда **долзарб** ҳисобланади.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Маълумки, яримўтказгичли материалшуносликнинг ривожини турли вазифага асосланган яримўтказгичли ядровий нурланиш детекторларини ишлаб чиқишнинг янгидан-янги имкониятларини очиб берди. Яримўтказгичли кристаллар асосида яратилган ядровий нурланиш детекторлари орасида кремний-литийли детекторлар алоҳида ўрин эгаллайди. Ҳозирги вақтда жаҳон амалиётида фақат ушбу турдаги нисбатан кичик ўлчамли

детекторлар тараққий этган (детекторнинг сезгир юзаси диаметри $\varnothing \leq 50$ мм, ишчи соҳанинг қалинлиги $W \leq 2$ мм) [1,2,3]. Шу билан бир вақтда юқори ўлчамли ЯЎД ($\varnothing \geq 50 \div 110$ мм, $W \geq 3 \div 10$ мм) ишлаб чиқиш зарурати ҳам мавжуд. Аммо уларни яратишда фақат физик, техник, технологик хусусият ва қийинчиликлар эмас, балки зарядларнинг йиғилиш жараёни хусусиятлари, катта ҳажмли сезгирлик соҳасига эга ЯЎДдаги кинетик жараёнлар ҳам бор. Бу масалада кристаллнинг бутун юзасига тарқалган p-n, p-i-n ўтишли ҳамда $\alpha\text{Si-Si(Li)}$ гетероўтишга эга кескин ясси параллел катта диаметрли кристаллларни ишлаб чиқиш алоҳида ўринни эгаллайди.

Диссертация ишининг ИТИ мавзувий режалари билан боғлиқлиги. Диссертация иши ЎзРФА «Физика-Қуёш» ИИЧБ Физика-техника институтида ФПФИ №06-06 «Ортогонал майдон таъсирида ишловчи яримўтказгичли стрипли ядровий нурланиш детекторларини ишлаб чиқишнинг ўзига хос физикавий хусусиятлари» (2006-2007) ва ГНТП А-5-032 (П01/06) «Кучсиз интенсивликка эга ионизация нурланишини қайд қилувчи юзаси катта (100 см^2 гача) бўлган кремний-литийли детектор асосидаги кучсиз муҳитда ишловчи қурилмани ишлаб чиқиш» (2006-2008) Давлат грантлари дастури доирасида бажарилган тадқиқотлар доирасида олиб борилган. Муаллиф ушбу лойиҳаларда ижрочи сифатида бевосита иштирок этган.

Тадқиқотнинг мақсади оптимал электрофизик ҳамда радиометрик хусусиятларга эга катта ўлчамли юқори самарали детекторли структураларни ишлаб чиқишнинг ўзига хос хусусиятлари, шунингдек, янги физик механизмларнинг улардаги энергетик спектрлар амплитудаси пайдо бўлишига таъсирини ўрганишдан иборат.

Тадқиқот вазифалари. Ишни бажаришда қўйилган мақсадга эришиш учун қуйидаги масалаларни ҳал этиш зарур эди:

- катта ўлчамли p-n, p-i-n и $\alpha\text{Si-Si(Li)}$ детекторли структуралар юқори самарали бўлиниш чегарасини олиш технологиясини ишлаб чиқиш;
- Si(Li) p-i-n и $\alpha\text{Si-Si(Li)}$ асосидаги детекторли структураларнинг электрофизик ва радиометрик хусусиятларини тадқиқ этиш;
- катта ўлчамли $\alpha\text{Si-Si(Li)}$ гетероструктураларнинг тўсиқ ва бўлиниш чегараси хусусиятларини тадқиқ қилиш;
- турли типдаги бир жинсли бўлмаган ЯЎД сезгирлик соҳасидаги потенциалнинг ундаги зарядлар тўпланиш самарадорлигига таъсирини ўрганиш;
- дастлабки монокристалл кремнийнинг хоссалари билан тушунтирилувчи ЯЎД сезгирлик соҳасидаги янги физикавий ҳодисаларнинг хусусиятларини ўрганиш.

Тадқиқот объекти ва предмети: Si(Li) p-i-n, $\alpha\text{Si-Si(Li)}$ детекторли структураларни ишлаб чиқиш ҳамда уларнинг электрофизик ва радиометрик хусусиятларини тадқиқ этишдан иборат.

Тадқиқот методлари: детекторли структуралар вольтампер ва вольт-фарада характеристикаларини ўлчаш услублари; детекторли структураларнинг юқори частотали вольт-фарада характеристикаларини тадқиқ этиш услуби; Si(Li) p-i-n структуралар сезгирлигининг бир жинсли бўлмаган соҳаларидаги фотоқучланиш хусусиятларини тадқиқ этиш услуби, шунингдек $\alpha\text{Si-Si(Li)}$ бўлиниш чегарасининг структуравий тадқиқотлари.

Тадқиқот гипотезаси. Маълумки, қаттиқ жисмли электроника, яримўтказгичли асбобсозлик, микроэлектроника ҳамда оптоэлектроника миниатюризация ва микроминиатюризация йўналиши бўйлаб ривожланишга асосланган. Ҳозирги вақтда янги ҳодисалар, механизмлар, квант ўлчамли физик жараёнларни ўз ичига олган янги физика намоён бўла бошлайди, яъни нанофизика, нанотехнология, наноструктура асбобсозликда иш суръатини тўплаб бормоқда. Шу билан бир вақтда каттадан-катта ўлчамли яримўтказгичли асбобларни ишлаб чиқиш ривожланиши зарурият бўлиб қолмоқда, масалан, қуёш нурланишини электр энергияга айлантирувчи фотоўзгартиргичлар, ядровий нурланиш детекторлари, чекловчи асбоблар ва юқори электр қувватлар, импульслар переключателлари ва бошқалар. Улар орасидан катта юза ва ҳажмга эга ЯЎД алоҳида ўрин эгаллайди, чунки ядровий-физикавий услуб (метод)лар фақатгина илмий-физик тадқиқотларда эмас, балки улар энергетика, геология, тиббиёт, археология, экология ва ҳ.к.ларда ҳам кенг қўлланилади. Лекин катта юза ва ҳажмли ЯЎД ишлаб чиқишда уларнинг катта ўлчамлари билан боғлиқ физик эффектлар хусусиятлари намоён булади, яъни олдиндан айтиш мумкин бўлган хусусиятга эга юқори самарали асбобли структураларни ишлаб чиқишга таъсир этади. Бу йўналишдаги тадқиқотлар катта ўлчамли асбобли структуралардаги ҳодисалар, физикавий жараёнлар хусусиятларини тушунишда муҳим ҳисобланади.

Ҳимояга олиб чиқиладиган асосий ҳолатлар:

1. Катта юзага эга $\text{Si}(\text{Li})$ p-i-n, $\alpha\text{Si-Si}(\text{Li})$ детекторли структуралар ишлаб чиқишнинг қўшимча технологик шартлари тақлиф этилди.
2. $\text{Si}(\text{Li})$ p-i-n структуранинг ҳажмий заряд соҳасида нуқсонлар борлигига жавобгар “ўра” кўринишидаги фотокучланиш тушишининг ҳосил бўлиши, масалан, p-i-n структура ҳажмида даврий уланишлар, аралашмали преципитатлар, наноўлчамли аралашма-нуқсонли кластерлар ва бошқаларнинг шубҳасиз мавжуд эканлиги.
3. p-i-n структура узун соҳасидаги зарранинг ҳаракати қонуни шу соҳада ташкил топган бир жинсли бўлмаган потенциал майдондаги зарранинг ҳаракати ҳақидаги масала сифатида кўриб чиқишга ҳосдир.
4. $\alpha\text{Si-Si}(\text{Li})$ гетероструктура асосидаги детекторлар улардаги электрофизик ва радиометрик хусусиятлари таҳлилини таъминлашга аморф қатлам етарлича самарали ҳисобланади.

Илмий янгилиги:

1. $\text{Si}(\text{Li})$ p-i-n структуралар ҳажмий заряд соҳасидаги фотоўтказувчанликнинг релаксацион жараёнларини тадқиқ этиш асосида бу соҳанинг алоҳида қисмларига мос келувчи фотоқўзғалишдан кейин вақтинчалик фотокучланиш импульси боғлиқлигига асосланган аниқ ифодаланган “ўра” кузатилганлиги кўрсатиб берилди.
2. $\text{Si}(\text{Li})$ p-i-n структуралар i-соҳасидаги заряд ташувчиларининг ҳаракат траекторияси ундаги бир жинсли бўлмаган потенциал майдоннинг бу жараёнга таъсирини ҳисобга олган ҳолда ушбу шарт-шароитдаги ядровий нурланиш таъсиридаги атомлар ионизацияси натжасида генерацияланган электрон ва тешиқлар ЯЎД сезгирлик соҳасининг электр майдони йўналиши бўйлаб анчагина узун траектория билан аралашishi ўтказилган аналитик ҳисоб-китоблар асосида кўрсатиб берилди. Натижада амплитудали энергетик

спектр ҳосил бўлишидаги тўпланувчи заряд улар тўпланиш вақтининг ушланиб қолиш вақтига муносабати билан аниқланади.

3. Катта ўлчамли Si(Li) p-i-n структуралар ва α Si-Si(Li) гетероструктуралар асосида ЯЎД радиометрик параметрлари ва электрофизик характеристикалари хусусиятларини оптимал ҳосил қилишнинг физик-технологик йўллари ишлаб чиқилди.
4. α Si-Si(Li) асосидаги детекторли гетероструктуралар анъанавий p-n структураларга нисбатан юпқа сиртий (ўлик) қатлами ва ишлаш тезлиги билан янада самарали эканлиги кўрсатиб берилди.
5. Тайёрланган гетероструктураларнинг β -зарралар бўйича ЭВК ^{207}Bi ($E_\beta \sim 1$ МэВ) $R_\beta = 38$ кэВ ва α -зарралар бўйича ^{226}Ra ($E_\alpha = 7,65$ МэВ) $R_\alpha = 65$ кэВ энергетик спектрлари аниқланди. Қийёсий характеристикалар ишлаб чиқилган технология бўйича тайёрланган гетероструктуралар янада яхшиланган спектрометрик характеристикаларга эгалигини кўрсатди.
6. Катта сиртий сезгирликка эга ясси параллел детекторли Si(Li) p-i-n структура ва α Si-Si(Li) гетероўтишларни ҳосил қилишнинг динамик нуктаи назарга асосланган механик ва кимёвий ишлов беришнинг янги технологик шартлари аниқланди.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Диссертация ишида катта ўлчамли Si(Li) p-i-n, α Si-Si(Li) детекторли структураларга хос бўлган янги физик ҳодиса ва жараёнлар кўриб чиқилган. Бу детекторли структураларни яратиш катта диаметрли дастлабки кремнийнинг электрофизик хусусиятларини янада мукамал ва теранроқ тушуниш ва улар асосида юқори самарали Si(Li) p-i-n, α Si-Si(Li) структураларни олиш талабларининг ўзаро боғлиқлигини аниқлаш билан боғлиқ. Олинган ушбу илмий натижалар катта ўлчамли турли хил яримўтказгичли асбобларда рўй берувчи физик жараёнларни тушуниш учун аҳамиятли, шунингдек улар хусусиятларини мукамаллаштиришда амалий аҳамиятга эгадир.

Натижаларнинг жорий қилиниши. Ишлаб чиқилган детекторли структуралар ядро физикасидаги фундаментал ва амалий масалаларни ечишда ва турли соҳаларда моддаларнинг тоза (соф)лигини ўлчаш учун ишлатиладиган экспрессли ядровий-физикавий услуб сифатида ЯЎД ишлатишда истиқболли ҳисобланади.

Ишнинг синовдан ўтиши: диссертация ишининг асосий натижалари қуйидаги Республика ва халқаро илмий-амалий конференция ва семинарларда маъруза қилинган: «Current Problems in Nuclear Physics and Atomic Energy» (Kyiv, Ukraine, 2008); «Физика твердого тела» и «Наноматериалы для защиты промышленных и подземных конструкций» (Усть-Каменогорск, Казахстан, 2010); XVII Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «ЛОМОНОСОВ 2010», (Москва, Россия, 2010); «Табиий фанларнинг долзарб муаммолари» (Самарканд, Узбекистан, 2008); «Физика фанининг бугунги ривожда истеъдодли ёшларнинг ўрни» (Ташкент, Узбекистан, 2010); «Фундаментальные и прикладные вопросы физики» (Ташкент, Узбекистан, 2010) ҳамда яримўтказгич йўналишидаги лабораториялар семинарларида ва ЎзР ФА «Физика-Қуёш» илмий ишлаб чиқариш бирлашмаси Физика-техника институтидаги Ихтисослашган кенгашнинг бирлашган семинарида маъруза қилинган.

Натижаларнинг эълон қилинганлиги: ишнинг асосий натижалари 14 та илмий ишда акс этган, улардан 5 та мақола республика ва чет эл илмий журналларида, қолганлари эса республика ва халқаро анжуманлар тўпламида чоп этилган. Илмий ишлар рўйхати автореферат охирида келтирилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми: диссертация кириш қисми, тўртта боб, хулоса ва фойдаланилган адабиётлар рўйхатидан иборат. Иш 123 саҳифада баён қилинган бўлиб, 28 та расм, 1 та жадвал, 91 та манбани ўз ичига олган адабиётлар рўйхати ва иловалардан ташкил топган.

2. ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида мавзунинг ва муаммонинг долзарблиги асослаб берилган, ишнинг мақсади ва қўйилган вазифалар, натижалар янгилиги ва амалий аҳамияти ёритиб берилган, ҳимояга олиб чиқилувчи асосий ҳолатлар келтириб ўтилган.

Биринчи бобда яримўтказгичли детекторларнинг ишлаш принципи ва физикавий маълумотлари, шунингдек дастлабки кремний хусусиятлари акс этган манбалардаги умумлаштирувчи қисқача маълумотлар келтириб ўтилган.

Диссертация ишининг **иккинчи бобида** $\text{Si}(\text{Li})$ p-i-n и $\alpha\text{Si-Si}(\text{Li})$ асосидаги катта ўлчамли детекторли структураларни ишлаб чиқишнинг технологик усуллари; катта ўлчамли кремнийли пластиналарнинг механик ва кимёвий ишлов бериш жараёни; катта юзага эга кремнийли структураларда литий ионларининг диффузия ва дрейфининг ўзига хос хусусиятлари ёритиб берилган.

Умуман олганда, катта диаметрға ($\phi > 50 \text{ мм}$) ва қалинликка ($W > 1,5 \text{ мм}$) эга турли хил кремнийли пластиналар уларнинг $1 \div 1,5\%$ дан ортиқ ясси параллел аниқликдаги механик қайта ишлов билан таъминланиши керак эди. Кимёвий ишлов бериш вақтида кремнийли пластиналарнинг оптимал ясси параллеллигини таъминлаш ва сақлаб қолиш учун улар катта юзаларининг бутун сирти бўйлаб бир вақтнинг ўзида бу жараёнларда бир меъёрли тезликдаги кимёвий ишлов бериш усули (травление) билан таъминлаш талаб этилади.

Катта ўлчамли ЯЎД олишнинг диффузион жараёнлари учун ($\phi > 50 \text{ мм}$ и $W > 2 \text{ мм}$) биз томонимиздан температур диффузия жараёнининг технологик шартлари ва режимларининг оптимал ҳолати танланди. Литий диффузияси вакуумда амалга оширилди. $300 - 500^\circ\text{C}$ гача қиздирилган кремнийли пластиналарға 10^{-5} тор босим остидаги вакуумли камерада литий учирилади. Литий ионларининг дрейфи биз томонимиздан ишлаб чиқилган ва тайёрланган махсус дрейфли қурилмада олиб борилди. Шу муносабат билан дрейф режими қуйидаги тартибда танланди: ҳарорат $T_{\text{др}} = 70 \div 80^\circ\text{C}$, тушувчи кучланиш ҳар битта аниқ кристаллдаги ток томчиланишининг катталигига боғлиқ равишда $100 \div 400 \text{ В}$.

Катта ўлчамли ЯЎД учун унинг p-n-ўтишли сезгир сиртининг бутун юзаси бўйлаб тарқалган ясси параллеллик, шунингдек, диффузион усул билан ҳосил бўлувчи p-n-тўсиқнинг чуқурлиги алоҳида аҳамиятга эга. Бу бир томондан диффузион соҳанинг қалинлиги етарли даражада юпқа («ўлик қатлам»), яъни зарядланган зарралар энергияси йўқоладиган қатлам амплитудали энергетик спектрнинг ҳосил бўлишида иштирок этмайди ва бошқа томондан p-n-тўсиқнинг самарали бўлишини таъминлаш учун етарлича қалин бўлиши кераклиги билан

боғлиқ. Si(Li) p-i-n структуралар асосидаги ЯЎД муҳим радиометрик параметридан бири («ўлик қатлам») ва p-n-тўсиқни ҳосил қилишнинг самарали шартлари билан таъминлаш мақсадида биз томонимиздан Si(Li) p-i-n структуранинг талаб этилган (берилган) қалинлиги устига литий ионлари дрейфи жараёни тугаши вақтида диффузион соҳа қалинлигини оптимал танлаш равишда бўйича тадқиқотлар ўтказилди.

Юқори самарали ясси параллел юпка p-n-ўтишларни ҳосил қилишнинг мураккаблигини ҳисобга олиб, биз томонимиздан катта ўлчамли ЯЎД учун α Si-Si(Li) гетероструктураларни олиш технологияси ишлаб чиқилди. Si(Li) p-i-n-структуралар асосидаги ЯЎД олиш технологиясидан фарқли равишда α Si-Si(Li) гетероўтишлар диффузион соҳани (~ 300 мкм) тўлиқ силлиқлаш усули билан олинган. Литий ионлари дрейфи усули билан компенсацияланувчи кремнийли пластинанинг қолган қисмига α Si-Si(Li) гетероструктуралар ҳосил қилинди.

Диссертация ишининг **учинчи боби**да катта ўлчамли Si(Li) p-i-n ва α Si-Si(Li) асосидаги детекторли структураларнинг ўзига хос электрофизик хусусиятлари келтирилган, шунингдек, α Si-Si(Li) гетероструктуралар бўлиниш соҳасининг тузилиши хоссалари ўрганилди.

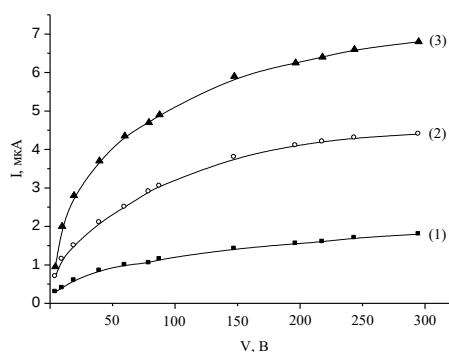
Биз томонимиздан турли хил диаметрли ($\phi = 30 - 100$ мм), шунингдек бошланғич параметрлар: кислород концентрацияси $N_o = 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ га тенг бўлган кремнийли пластиналар асосида тайёрланган (Li) p-i-n структурага тескари кучланиш уланган ҳолатда ВАХ текширилган эди. Бундан ташқари, заряд ташувчиларининг яшаш даври $\tau \geq 500$ мкс ва солиштирма қаршилиги $\rho = 3000 \div 7000$ Ом/см бўлган тигелсиз зонали эритиш (ТЗЭ) билан олинган кремний ишлатилган эди. Муайян кимёвий-технологик жараёнлардан сўнг $T = 450^\circ\text{C}$ ҳароратли вакуум шароитида пластиналарнинг иккита қисмидан бирида литий диффузияси амалга оширилган эди. Кейин, компенсация бўлиши учун пластинанинг бутун қалинлиги бўйлаб литий ионлари дрейфи ўтказилди. $(80 \div 90)^\circ\text{C}$ ҳароратда ва $U = (100 \div 400)$ В ли тескари кучланиш уланган шароитда Li ионлари дрейфи ўтказилган эди. Шундан сўнг бутун кристалл кимёвий-технологик қайта ишловга дучор бўлади. Тайёр бўлган структурага металл контактлари учурилади, p^+ -соҳа ва i-соҳага мос равишда Al ($\sim 1000^\circ\text{A}$) ва Au ($\sim 200^\circ\text{A}$).

1-расмда турли хил диаметрда эга кремнийли пластиналар асосида тайёрланган Si(Li) p-i-n структураларнинг одатдаги вольтампер характеристикалари тасвирланган. Бу ерда 1 эгри чизик 30 мм диаметрли; 2 эгри чизик 60 мм диаметрли; 3 эгри чизик 100 мм диаметрли ЯЎД учун берилган. Расмдан кўриниб турибдики, тескари токнинг кичик қиймати билан бир қаторда структура учун яхши кўрсаткич сифатида структура сиртининг етарлича тозалигидан далолат берувчи юқори кучланишли сакраш сифатида намоён бўлади.

Ушбу бўлимда айнан шу каби намуналарда ВФХ тадқиқотлари худди ВАХ каби ўтказилган эди. 2-расмда катта диаметрда эга кремнийли пластиналар асосида тайёрланган Si(Li) p-i-n структураларнинг вольт-фарада характеристикалари тасвирланган.

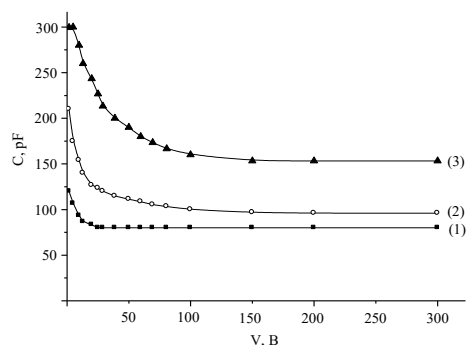
2-расмдан кўриниб турибдики, компенсацияланувчи соҳа қалинлиги ортиб бориши билан тўйинувчи сигим қиймати тескари йўналишдаги кучланиш кўпайиши томонга чизикли силжийди. Бундан турли хил қалинликдаги структуралар учун

компенсацияланган соҳанинг солиштира қаршилиги керакли даражада юқори қаршилиқда ва тахминан бир хил эканлиги келиб чиқади.



1-диаметри 30 мм; 2-диаметри 60 мм;
3-диаметри 100 мм.

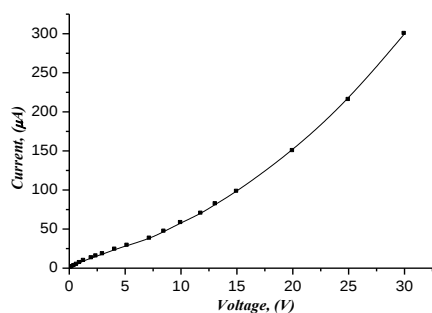
1-расм. Si(Li) p-i-n структуралар вольтампер характеристикасининг тескари соҳаси.



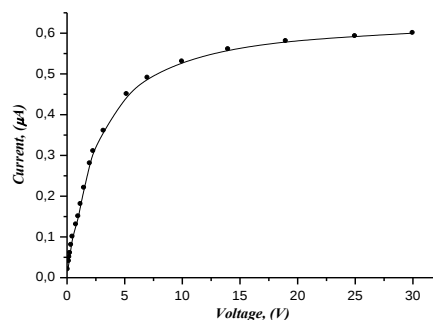
1-диаметри 30 мм; 2-диаметри 60 мм;
3-диаметри 100 мм.

2-расм. Si(Li) p-i-n структураларнинг тескари йўналишда кучланиш берилган ҳолатдаги вольтфарада характеристикаси.

Si(Li) p-i-n структуралар асосидаги ЯЎД олиш технологиясидан фарқли равишда α Si-Si(Li) гетероўтишлар диффузион соҳа (~300 мкм)ни тўлиқ силлиқлаш усули билан олинган эди. Литий ионлари дрейфи усули билан компенсацияланган кремнийли пластинанинг қолган қисмига α Si-Si(Li) гетероструктуралар олинган эди. 3-расмда хона ҳароратида α Si-Si(Li) асосидаги гетероструктуралар вольтампер характеристикаларининг тўғри (3,а-расмга қ.) ва тескари (3,б-расмга қ.) чизиқлари кўрсатилган.



а) тўғри соҳа

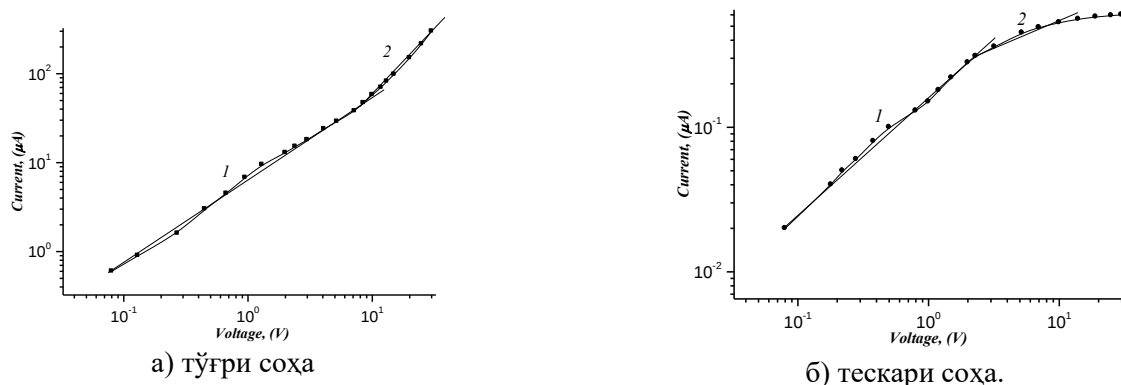


б) тескари соҳа.

3-расм. Хона ҳароратидаги α Si-Si(Li) гетероструктураларнинг одатдаги вольтампер характеристикалари.

Хона ҳароратида иккиланган логарифмик масштабда олинган вольтампер характеристиканинг тўғри (4,а-расм) ва тескари соҳаси (4,б-расм) келтирилган. Ушбу расмлардан кўриниб турибдики, тадқиқ этилаётган детекторли структура ВАХининг тўғри ва тескари соҳалари аниқ ажралиб турувчи иккита қисмдан иборат. Бунда ВАХнинг тўғри ва тескари соҳасидаги биринчи қисмида ҳам, иккинчи қисмида ҳам тоқлар қийматлари V кучланиш силжишининг айнан бир хил қийматларида сезиларли даражада фарқ қилади. Улардаги тафовут V катталигининг ўсиши билан ортиб боради. Бундай структуранинг берилган кучланишдаги тўғрилаш коэффиценти $K = \frac{I_{np}}{I_{обр}} (V = const)$ мураккаб қонуният бўйича ўзгаради.

Масалан, $V=1\text{В}$ бўлганда $K \approx 30 \div 40$, кучланишнинг катта қийматларида эса у мос равишда 150 ($V=10\text{В}$) ва 500 ($V=30\text{В}$)га тенг бўлиб қолади.



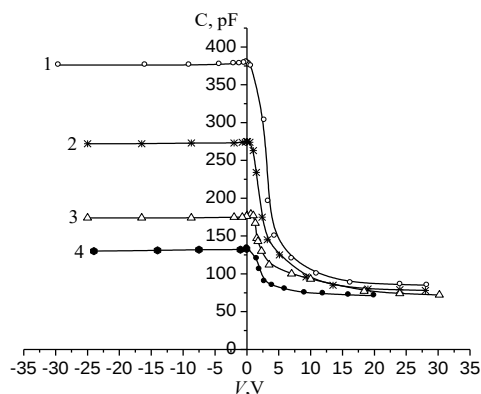
4-расм. Хона ҳароратидаги иккиланган логарифмик масштабда олинган вольтампер характеристикалар.

Ўтказилган таҳлил ВАХнинг тўғри ва тескари соҳасининг дастлабки қисмларида токнинг кучланишга боғланиши мос равишда $I \sim V^\alpha$ ($\alpha = 0,93$) ва $I \sim V^\alpha$ ($\alpha = 0,85$) даражали боғлиқлик билан тасвирланишини кўрсатади. Улардаги ташувчилар кучиш механизми бир хил бўлгани билан, аммо уларда заряд ташувчиларнинг ҳосил бўлиш табиати турлича. Тўғри йўналишда ток эмиттердан, яъни $\alpha\text{Si-Si(Li)}$ гетероструктурадан инжектирланган ташувчилар орқали ташилади, берк йўналишда эса структурадаги ток атроф-муҳитнинг хона ҳароратида генерацияланадиган хусусий ташувчилари орқали аниқланади. Кўриниб тургандек, ВАХнинг тўғри соҳадаги иккинчи қисмида ток ташиш механизмида белгиланган вазифани концентрацияси $\alpha\text{Si-Si(Li)}$ гетероўтиш бўлиниш чегарасида жойлашган база (литий билан компенсацияланган қатлам) концентрациясидан анчагина катта бўлган иккиламчи (асосий бўлмаган) ташувчилар диффузияси бажаради. База қалинлиги ~ 2 мм дан иборат бўлганлиги сабаб у текширилган кучланишлар меъёри (чегараси)да тўлиқ модуляцияланмаган, яъни инжектирланган электронларнинг аксарият қисми рекомбинация жараёни туфайли орқа контактга етиб боролмайди.

ВАХнинг тескари соҳаси иккинчи қисми $\alpha\text{Si-Si(Li)}$ гетероструктуранинг тўйиниш токини ифодалайди. $V \geq 30\text{В}$ да токнинг кучланишга боғлиқлигининг доимий пайдо бўлиши $\alpha\text{Si-Si(Li)}$ гетероўтиш бўлиниш чегарасида ниҳоятда кичик зичликка эга бўлган сиртий ҳолатлар ташкил қилишини билдиради ва шунинг учун ҳам томчиланиб оқиш токлари деярли кузатилмайди, аммо тескари йўналишдаги ВАХ тўйинишга киради.

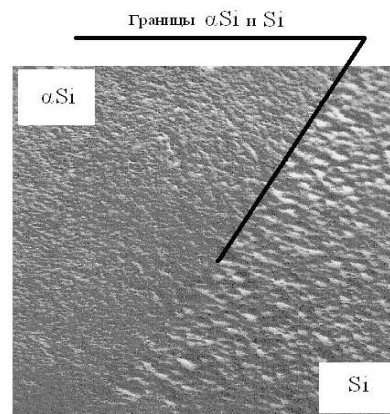
Юқори частотали вольт-фарада характеристикалари тадқиқоти 1 МГц диапазон учун Е7-12 курилмасида, 0,465 МГц-10 МГц частота диапазонида замонавийлаштирилган Л2-7-1М асбоб-ускунасида ўтказилди. Бу асбоблар 5-7мВ дан ошмайдиган юқори частотали ўзгарувчан сигнал амплитудасини таъминлаб турди. Ўлчашлар $T=300\text{К}$ ҳароратда параллел ва кетма-кет уланган схемада ўтказилди. Ўлчаш вақтидаги хатолик 0,1 pF дан катта бўлмаган қийматни ташкил этди. 5-расмда $\alpha\text{Si-Si(Li)}$ гетероструктураларнинг вольт-фарада характеристикалари келтирилган. Илмий тажриба $\alpha\text{Si-Si(Li)}$ гетероструктуранинг юқори частотали вольт-фарада характеристикасининг кўриниши, табиийки ўлчанувчи сигнал

частотасига боғлиқ эканлигини кўрсатди. Турли хил режимларда бўлган $\alpha\text{Si-Si(Li)}$ гетероструктура сигимининг частотавий боғлиқлиги орасидаги тафовутни қуйидаги тартибда тушунтириш мумкин. Бойитиш режими ҳолатида кремнийнинг устки сирт соҳасидаги ҳажмий заряд унинг сиртига асосий заряд ташувчиларининг қаттиқроқ тортилиши ҳисобидан ҳосил бўлади.



1) - 0,465 МГц, 2) - 1 МГц, 3) - 3 МГц, 4) - 5МГц

5-расм. Хона ҳароратидаги α Si-Si(Li) гетероструктураларнинг юқори частотали вольт-фарада характеристикалари.



6-расм. α Si ва Si(Li) бўлиниш чегараси (5000 марта катталаштирадиган сканерли электрон микроскоп).

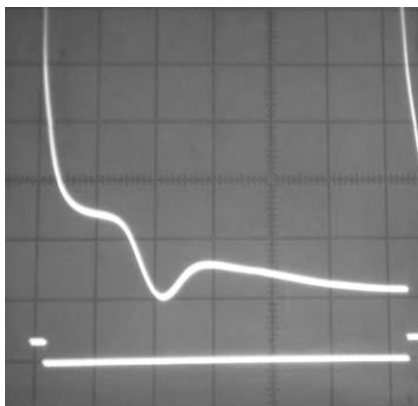
Si монокристал ва α Si қатламининг аниқ ажралиши билан ифодаланувчи бўлиниш чегараси етарли даражада кескин эканлиги 6-расмдан кўриниб турибди. Бу ҳақиқатдан ҳам α Si-Si(Li) гетероструктура электрофизик хусусиятлари билан ҳам, потенциал тўсиқли хусусиятлари билан ҳам янада самарали детекторли структура эканлигидан далолат беради.

Диссертация ишининг **тўртинчи бобида** ионизацияланган зарралар ютилиш энергияси таъсиридаги генерацияланган заряд ташувчиларининг ййғилиш ва кўчиш жараёнларига бағишланган тадқиқотлари кўриб чиқилган.

[4, 5] ишларда германийли радиацион детекторлар ҳажмий заряд соҳасидаги электр майдоннинг бир жинсли бўлмаганлиги билан боғлиқ фотоЭЮК сигналининг топографиясига асосланган тадқиқотлар ўтказилган. Кремнийли радиацион p-i-n детекторлар учун альфа зарраларнинг каллиминировкага эга дастасини сканер қилиш усули билан амплитудали спектр топографияси ўрганилди [2]. [6-9] ишларда кучли компенсацияланган кремнийдаги никел ва марганец атомлари кўп зарядли марказлари ва комплексларининг хусусиятлари кўриб чиқилган. Ушбу тадқиқотларда муҳими аниқ бир локал соҳалардаги турлича тақсимланган кремний монокристаллари аралашмаларининг мавжудлигини тасдиқловчи далиллар борлигини аниқлашдан иборат.

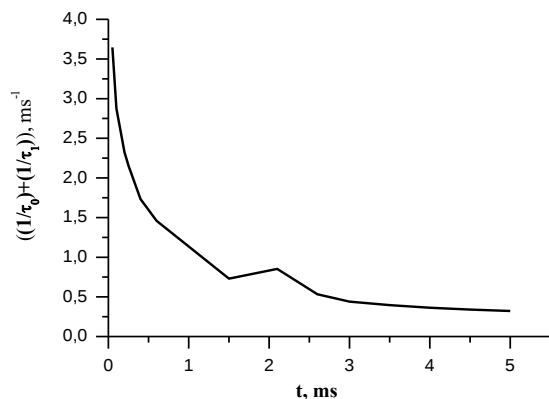
Si(Li) p-i-n структуралар ҳажмий заряд соҳасидаги заряд ташувчиларининг релаксацион жараёнлари кўриб чиқилган.

7-расмда Si(Li) p-i-n структуралар сезгирлик соҳасидаги фотоўтказувчанлик релаксациясининг биз томонимиздан ўрнатилган янада батафсил тадқиқоти натижалари одатдаги осциллограмма ҳолида келтирилган. Абциссалар ўқига масштаби 1ms/10mm бўлган вақт қўйилган. Ординаталар ўқига эса масштаби 0,05V/10mm бўлган кучланиш қўйилган.



$y=0,05V/10mm$, $x=1ms/10mm$.

7-расм. Si(Li) p-i-n структуралар ҳажмий заряд соҳасидаги фотоўтказувчанлик релаксацияси.



8-расм. Релаксация вақтининг графикли боғланиши.

Берилган аномал ҳолат таҳлили натижасидан биз “ўра” деб атаган фотокучланишдан қуйидаги келиб чиқади. Маълумки, фотоўтказувчанлик жараёнларининг релаксациясида кремнийнинг ёпишқоқлик даражаси мавжуд бўлган ҳолда фотокучланиш импульсидаги пасайиш монотон равишда камаяди [10]. [11] ишда квазинейтрал дрейфли режимдаги $n^+ - p - p^+$ структуранинг ўзгаришига электронлар тўйиниш тезлиги эффектининг таъсири борасидаги тадқиқот ўтказилган. Тўйиниш тезлиги эффекти жиддий равишда $n^+ - p - p^+$ структура базаси орқали Динов тўлқини [12] электронларининг учиб ўтишини секинлаштириши таъкидланган, табиийки, кескин пасайиш ҳам кузатилади. Агар кремнийнинг ман этилган соҳасида чуқур жойлашган рекомбинацион марказларнинг [13] йиғилиши мавжудлиги тахмин қилинса, [12] ишда таклиф этилган механизмни кўпроқ пасайиш соҳасида “ўра”нинг пайдо бўлиши билан тушунтиришга тўғри келади. У ҳолда релаксация вақти иккита ташкил этувчига эга бўлади [14]

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_0} + \frac{1}{\tau_1}. \quad (4.1)$$

У ҳолда кучланишнинг вақт бўйича пасайиши қуйидаги формула билан аниқланади

$$U = U_{\text{н\`о}} e^{-\left(\frac{1}{\tau_0} + \frac{1}{\tau_1}\right)t}. \quad (4.2)$$

Бу ерда τ_0 - чуқур жойлашган рекомбинацион марказлар мавжуд бўлмаган ҳолдаги релаксация вақти, τ_1 - фақатгина ушбу марказлар ишлаган ҳолатдаги релаксация вақти.

Экспериментал натижалардан фойдаланиб, τ_1 нинг вақтинчалик боғланишини аниқлаймиз. Дастлаб U функциясини U нинг t бўйича олинган биринчи ҳосиласи нолга тенг бўладиган экстремум нуқталарида таҳлил қиламиз. Ушбу нуқталарда

$$\left(\frac{d\tau_1}{dt}\right)_{t_i} = \frac{\tau_1}{t_i} \left(\frac{\tau_1}{\tau_0} + 1\right). \quad (4.3)$$

ўрин эгаллайди.

Бу ерда t_i катталиқ U функция минимуми кузатиладиган t қийматидир. Тажриба U нинг t вақтга функционал боғлиқлиги учта нуқтада экстремал қийматга

эга эканлигини кўрсатди. Бу учинчи даражали эгри чизик U нинг эмпирик формуласи эканлигини билдиради. (4.3) формула нолга тенг бўлган изокийиқликка эга U функция шартларини аниқлаб беради. U нинг t вақтга боғлиқлигини ифодаловчи эмпирик формулаларнинг турли хил вариантларини таҳлил қилиб, қуйидаги формула ҳисоблашлар учун анчагина қулай, деган хулосага келамиз

$$-\ln\left(\frac{U}{U_{\text{н}0}}\right) = y_1 + k_2\left(\frac{t-t_k}{t_k}\right)^2 + k_3\left(\frac{t-t_k}{t_k}\right)^3. \quad (4.4)$$

Бу ерда k_2 ва k_3 экстремум нуқталарда U функция катталикларига боғлиқ

$$k_3 = \frac{y_2 - y_1}{a^2(a+1)} - \frac{y_0 - y_1}{(a+1)}; \quad k_2 = y_0 - y_1 + k_3; \quad a = \frac{t_2 - t_k}{t_k}; \quad y = \ln\left(\frac{U}{U_{\text{н}0}}\right).$$

У ҳолда $y_0=0$, чунки пасайишнинг бошланғич ҳолатида $U=U_{\text{ст}}$. $y_1 = \ln\left(\frac{U}{U_{\text{н}0}}\right)$ орқали t_2 - t максимум қиймати, кучланиш минимумига тўғри келадиган $t=t_k$, t_k белгилаймиз. Вақтни ҳисоблаш пасайиш нуқтасида бошланиши аниқланган, шунинг учун $t_1=0$.

$t=t_2$ да $y_2 = \ln\left(\frac{U}{U_{\text{н}0}}\right)$ га эга бўламиз, бунда k_2 ва k_3

$$k_2 = \frac{t_k^3 y_2}{t_2(t_2 - t_k)^2} - \frac{t_k + t_2}{t_2} y_1; \quad k_3 = \frac{t_k^3}{t_2(t_2 - t_k)^2} y_2 - \frac{t_k}{t_2} y_1. \quad (4.5)$$

Формулалари орқали аниқланади. Чунки

$$-\ln\left(\frac{U}{U_{\text{н}0}}\right) = t\left(\frac{1}{\tau_0} + \frac{1}{\tau_1}\right), \quad (4.6)$$

У ҳолда (4.4) дан қуйидаги келиб чиқади

$$t\left(\frac{1}{\tau_0} + \frac{1}{\tau_1}\right) = y_1 + k_2\left(\frac{t-t_k}{t_k}\right)^2 + k_3\left(\frac{t-t_k}{t_k}\right)^3 \quad (4.7)$$

τ_1 нинг вақтга боғлиқлиги графиги 8-расмда келтирилган.

Бу ердан яқинлашиш меъёрига қараб фотокучланиш импулси тушишининг эгри чизиги минимал қийматни қабул қилиши, τ_1 нинг вақт бўйича камайиш тезлиги маълум қийматгача, (4.3) формула билан аниқланувчи фотокучланиш тушиши минимал қийматга етиб боргунича релаксация вақти камая бошлаши кўриниб турибди.

Бунда τ_1 маълум бир максимумгача ўсиб боради, шундан сўнг релаксация вақтининг квазистационар қиймати кузатила бошлайди. Юқорида таъкидланганидек, ёпишқоқлик сатҳининг ҳисобга олиниши фотокучланиш импулси пасайиш соҳасидаги экстремал нуқталарни бермайди [10]. n^+ - p - p^+ структуралар динамик характеристикаларининг Динов тўлқинлари ёрдамидаги янада аниқроқ ҳисоб-китоби электронлар учун ҳам фотокучланишнинг вақт бўйича монотон равишда пасайишини беради [11].

Si(Li) p - i - n детекторлар сезгирлик соҳасининг мавжудлиги билан таъминланувчи берилган эффект, табиийки заряднинг тўпланиш жараёнида ва бинобарин ҳақиқий энергетик спектрнинг ҳосил бўлишида муҳим рол ўйнайди. Бир вақтнинг ўзида берилган эффект янги функционал жараёнли кристалл панжаранинг

бир жинсли бўлмаган локал соҳасида юз берувчи ҳодиса сифатида мустақил фундаментал қизиқишга эга.

Дарҳақиқат, исталган функционал вазифага эга асбоб-қурилмали структуралар ҳажмий заряд соҳасида заряд ташувчиларининг йиғилиш жараёнини янада тўлиқ, ҳар томонлама ва тўғри тушуниш, ўлчанувчи характеристиклар катталигининг ҳақиқий даражаси ҳақида ҳукм чиқаришга имкон беради. Функционал вазифали у ёки бу яримўтказгичли структура ишлаш принципининг мумкин бўлган идеал хатоликка олиб келувчи физикавий сабабларнинг тадқиқоти математик компьютерли моделлаштиришни ишлаб чиқиш ва шундай қилиб тадқиқ этилаётган объект (жараён)нинг ҳақиқий манзараси (катталиги)ни ҳосил қилишда қизиқиш уйғотади.

Берилган савол ионизацияланувчи яримўтказгичли нурланиш детекторлари учун кўриб чиқилган. Одатда детекторларнинг ишлаш жараёни кўриб чиқиладиганда детектор кристалл панжарасининг зарядланган зарра билан таъсири жараёнларининг қонуниятлари ҳисобга олинади, (қалин детекторлардаги) тарқалиш жараёни эса асосан, фонлар ёки нуқтавий (зарядланган ёки нейтрал) дефектлардаги таъсир каби эътиборга олинади.

Унинг мураккаблигидан кўпгина ҳолатларда аналитик кўринишга келтириш мумкин эмас ва бу каби шарт-шароитларда заряд ташувчилари ҳаракатининг тенгламалари ўзига хос камчиликларга эга бўлган фақат тахминий ва сонли усулдагина ечими топилиши мумкин. Улар зарранинг ҳаракатини ҳар томонлама таҳлил қилишга имкон бермайди, қолаверса ҳисоб-китобга оид хатоликлардан юзага келувчи маълумотни сақлашлари мумкин, бу ҳолат эса кўпинча кўриладиган ҳодисаларнинг физикавий моҳиятини тушунишни қийинлаштиради. Детектор моделларининг назарий таҳлили эса айниқса тарқалиш жараёни кўриб чиқилмайдиган (ҳисобга олинмайдиган) қалин детектор учун тривиал бўлмаган масала ҳисобланади.

Ўзида нуқсон сақловчи бир жинсли бўлмаган потенциал майдондаги ҳаракатни структуранинг ўзининг бир жинсли бўлмаган потенциал майдонларидаги тенгламасининг ечимини биз ва нуқсон томонидан ҳосил бўлувчи майдоннинг структура ичига жойлаштирилган нуқтавий потенциал манбаи ҳолида кўриб чиқилувчи бир-бирига боғлиқ бўлмаган йиғиндиси сифатида кўриб чиқамиз. Масаланинг бу каби қўйилиши потенциал майдонларнинг суперпозиция принципига мос келади. Таъкидлаш керакки, структура бир жинсли бўлмаган майдонидаги зарралар ҳаракатининг асосий қонуниятлари [15]да тавсифланган, ва шунда масаланинг умумий ечими структуранинг ўзида зарранинг ҳаракати тенгламаси ечимининг йиғиндиси билан нуқсонлар ёки аралашмалар томонидан ҳосил бўлувчи майдондаги ҳаракат тенгламаси ечими олишни ўз ичига олади.

Ўша ишларда [15] тақсимланган потенциалга эга структуранинг бир жинсли бўлмаган стационар потенциал майдонидаги электр майдон потенциали қуйидагича ифодаланиши кўрсатилган:

$$U(x, y) = x \cdot y \cdot (U_{\max} - U_{\min}) / l_0 d_0 = k_{E_0} \cdot x \cdot y \quad (4.8)$$

бу ерда: l_0, d_0 – тадқиқ этилаётган структура узунлиги ва кенлиги, k_{E_0} – структура потенциалининг тарқалиш коэффициенти, $U_{\max}, U_{\min}$ – мос равишда $y=d_0$ (тақсимланган потенциалли электрод)да электрод учлари потенциалининг максимал ва минимал қийматлари. $y=0$ да электрод потенциали қийматлари доимий катталик

($U(x,0) = \text{const.}$) сифатида қабул қилинади, унга мос равишда тақсимланган потенциалли электроднинг потенциал қийматлари аниқланади.

Нуқтавий манба майдони тақсимланган потенциалли симметрик майдон каби кўриб чиқилади, ундаги потенциал X ва Y ўқлар асимптоталар ҳисобланган тенг ёнли гипербола сифатида тасвирланади. Бу каби ҳолатдаги нуқтавий манбанинг бир жинсли бўлмаган потенциал майдонидаги зарранинг ҳаракат тенгламаси илк маротаба кўриб чиқилмоқда. Одатда улар қопқондаги рекомбинация ёки босиб олиш (ёпишқоқлик) ҳисобидан заряд ташувчиларининг йўқолиши сифатида кўриб чиқилади.

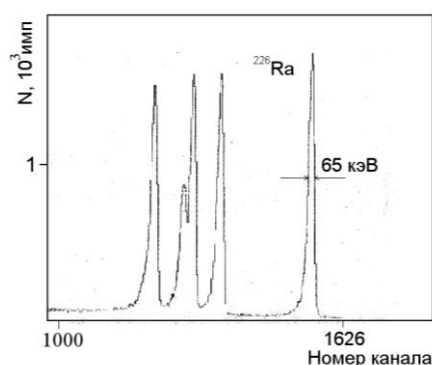
Нуқтавий манба майдонининг тенгламасини [15] қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$U_S(x, y) = \pm k_S \cdot x_S \cdot y_S = \pm k_S \cdot (x - x_{S0}) \cdot (y - y_{S0}) \quad (3.12)$$

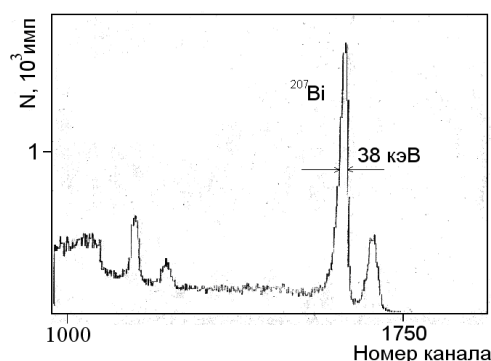
бунда: $k_S = (U_{\max} - U_{\min})/l^2$ $k_S = (U_{\max} - U_{\min})/l \cdot d$ - X ва Y ўқлар бўйича потенциал тақсимланиш коэффициенти, l, d - майдоннинг тадқиқ этилаётган соҳаси узунлиги ва кенглиги, $U_{\max}, U_{\min}$ - мос равишда нуқтавий манба атрофидаги ва унинг майдони тадқиқ этилаётган соҳаси учларидаги потенциал қийматлари, x_S, y_S - нуқтавий манба майдонининг координаталари, $(x - x_{S0}) \cdot (y - y_{S0})$ - нуқтавий манба учун келтирилган координаталар ва x_{S0}, y_{S0} - структурада жойлашган нуқсон (аралашма)лар жойлашувининг координаталари.

Бундай Si(Li) детекторларда амплитудали энергетик спектрнинг ҳосил бўлиши фақатгина қопқонлардаги эгалланиш ва рекомбинация ҳисобидан эмас, балки улар ҳаракат траекторияси узайиши ҳисобидан ҳам заряд ташувчилари йўқотилишига таъсиридан келиб чиқади, табиийки, бундай ҳодисалар тўпланиш вақтининг тўхтатиб қолинган вақт билан тушунтирилади.

Кўпгина ҳолатларда икки хил турдаги ўчашлар энг кўп аҳамиятга эга: зарраларнинг энергиясини аниқлаш ва уларнинг оқимини ўлчаш. Баъзан кўп миқдордаги жудаям яқин энергияли бошқа зарралар мавжуд бўлган ҳолда интенсивлиги кам бўлган зарралар гуруҳини қайд қилиш зарур.



а) энергетик спектр α -зарралар бўйича ^{226}Ra



б) энергетик спектр β -зарралар бўйича ^{207}Bi

9-расм. α Si-Si(Li) асосидаги гетероструктуранинг энергетик спектрлари.

9.а,б-расмда детекторнинг α -зарралар бўйича ^{226}Ra ($E_\alpha=7,65$ МэВ) $R_\alpha=65$ кэВ яъни $R_\alpha<1\%$ ва β -зарралар бўйича ЭВК ^{207}Bi ($E_\beta\sim 1$ МэВ) $R_\beta=38$ кэВ яъни $R_\beta>1\%$ энергетик спектрлари кўрсатилган. α Si-Si(Li) гетероструктураларининг энергетик спектрлари α -зарралари учун ^{226}Ra ($E_\alpha=7,65$ МэВ) дан кўриниб турибдики, ушбу

омилнинг таъсири унча катта эмас, чунки бу ҳолатда α -зарраларнинг ютилиш чуқурлиги жуда кичкина (0,25 мм), β -зарралар учун эса учиб ўтиш чуқурлиги 2 мм гача етиб бориши катта аҳамиятга эга.

Шундай қилиб, катта ўлчамли ЯЎДларда анъанавий заряд йўқотиш механизмлардан ташқари улар ҳаракат траекторияларида ўзгаришлар ва бир жинсли бўлмаган потенциалнинг ва катта ўлчамлиги ЯЎД сезгирлик соҳасидаги “ўра” кўринишидаги фотокучланиш импульсида аномал эффектнинг мавжудлиги билан боғлиқ салбий кинетик жараёнлар намоён бўлиши биз томонимиздан аниқланди. Бу нарса заряд ташувчиларининг тўпланиш вақтига, табиийки амплитудали энергетик спектр ҳосил бўлишига боғлиқ равишда югуриш вақтини ўзгартиради.

Боб охирида шунингдек катта ўлчамли Si(Li) детекторларнинг деградация хусусиятлари ўрганилган. Жадвалда детекторли структураларнинг берилган давр мобайнида ўтказилган синовлари ифодаланган: детекторларнинг бошланғич қийматлари касрнинг суратида ва 18 ойдан кейингилари касрнинг махражида берилган. Жадвалдан кўриниб турганидек, сезгирлик соҳаларининг қалинлиги кўрсаткичлари дастлабкиларига қараганда бирмунча ўзгарган. Шунингдек, жадвалдан №1 детекторли структуранинг қоронғиликдаги токи ортганлиги кўриниб турибди. Бу структура сиртининг ёмонлашганлиги сабаби билан тушунтирилади. Шунингдек, қолган детекторларнинг қоронғиликдаги токлари ҳам бирмунча ўзгаришларга бардош беришди. Барча детекторларнинг сиғим кўрсаткичлари рухсат этилган чегарада ўзгарди. Рухсат этилган энергетик сатҳлар деярли ўзгармаган.

Si(Li) p-i-n детекторларнинг деградацияни улчаш

Катталиклар номи	Структура рақами			
	1	2	3	4
Сезгирлик соҳалари қалинлиги, мкм	900/900	900/850	900/700	900/900
Сезгирлик соҳалари (кириш туйнуғи) диаметри, мм	50/50	50/50	50/50	50/50
Ишчи кучланишнинг энг кам/энг кўп қиймати, В	40÷80/40÷80	40÷80/40÷80	40÷80/40÷80	40÷80/40÷80
Детекторларнинг оптимал кучланиши, В	60/60	60/60	60/60	60/60
Қоронғиликдаги ток, мкА	0,8/3,6	0,6/0,5	1,2/0,9	6,2/5,2
Сиғим, пФ	376/520	370/480	360/550	320/580
Шовқиннинг энергетик эквиваленти, кэВ	36/38	30/28	34/36	58/65
$E_{\beta} \approx 1 \text{ МэВ}$ ^{207}Bi β -зарра бўйича энергетик рухсат этилган қиймати	45/52	38/38	42/45	62/55

3. ХУЛОСА

1. Катта юзали сезгир сиртларга эга Si(Li) p-i-n, $\alpha\text{Si-Si(Li)}$ детекторли сруктураларни яратиш технологияси ишлаб чиқилди.
2. Кирувчи туйнук (“ўлик қатлам”) мавжуд оптимал қалинликка эга Si(Li) p-i-n структуралар ва $\alpha\text{Si-Si(Li)}$ гетероструктураларда юқори самарали тўсиқли

хусусиятларни ҳосил қилишнинг оптимал илмий-технологик усуллари аниқланди.

3. Si(Li) p-i-n структуралардаги релаксацион фотоўтказувчанлик жараёнлари тадқиқ этилди. Бу каби структураларда фотоқучланиш импульсининг вақтинчалик боғланишида мувофиқ фотоқўзғалишдан кейин ёрқин ифодаланган “ўра” кузатилиши кўрсатиб берилди. Фотоқучланишнинг пасайиш соҳасида “ўра”нинг ҳосил бўлишида p-i-n структура ҳажмида албатта мавжуд бўладиган нуқсонлар, масалан: фазали ёкилишлар, аралашмали преципитатлар, наноўлчамли аралашма-нуқсонли кластерлар ва бошқаларнинг жавобгар эканлиги аниқланди.
4. Физикавий қурилмаларнинг яхлит иккита муҳити бўлиниш чегарасидаги зарранинг ҳаракати муаммосига бағишланган тадқиқот шу соҳа орқали ҳосил бўлувчи бир жинсли бўлмаган потенциал майдондаги зарранинг ҳаракати ҳақидаги масала каби қараб чиқиш мумкинлиги кўрсатилди. Нуқтавий манба нуқсон сифатида кўриб чиқиладиган бир жинсли бўлмаган майдонда олинган ҳаракат тенгламалари ва уларнинг классик тасаввур асосидаги аналитик ечимлари турли соҳаларда зарранинг траекториал таҳлилни ўтказишга ва шундай қилиб, атомларнинг ядровий нурланиш таъсиридаги ионизацияси натижасида генерацияланган электрон ва тешиклар ЯЎД сезгирлик соҳасининг электр майдони йўналишига қараб кўчишини тасдиқлашга имкон беради. Бунда тўпланувчи заряд уларнинг секинлашиш ва тўпланиш вақти орасидаги муносабат билан аниқланади.
5. α Si-Si(Li) асосидаги детекторли гетероструктуралар уларнинг анъанавий p-n структураларга оид юпқа сирт (ўлик) қатлами тез ишлаш жараёни бўйича самарали эканлиги кўрсатиб берилди.
6. β -зарралар ЭВК ^{207}Bi ($E_\beta \sim 1$ МэВ) $R_\beta = 38$ кэВ ва α -зарралар ^{226}Ra ($E_\alpha = 7,65$ МэВ) $R_\alpha = 65$ кэВ бўйича таёрланган гетероструктураларнинг энергетик сатҳлари аниқланди. Қийёсий характеристикалар ишлаб чиқилган технология бўйича олинган гетероструктуралар яхшиланган спектрометрик характеристикаларга эга эканлигини кўрсатди.

ФОЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ

1. Акимов Ю.К., Игнатъев О.В, Калинин А.И, Кушнирук В.Ф. Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 271 с.
2. Азимов С.А., Муминов Р.А., Шамирзаев С.Х., Яфасов А.Я. Кремний-литиевые детекторы ядерного излучения. – Ташкент: Фан, 1981. – 257 с.
3. Раджапов С.А. Исследование особенностей создания кремний-литиевых p-i-n детекторов большой площади для регистрации ионизирующего излучения малой активности. Автореф. Дис. ... канд.физ. – мат. наук. –Ташкент: ТашГУ. 1991. – 16 с.
4. Строкан Н.Б., Тиснек Н.И., Афанасьев В.Ф. // Приборы техника эксперимента. - Москва, 1968. - №5. - с.211.
5. Афанасьев В.Ф., Строкан Н.Б., Тиснек Н.И. // Приборы техника эксперимента. - Москва, 1970. - №2. - с.66.

6. Аюпов К.С., Бахадырханов М.С., Зикриллаев Н.Ф., Илиев Х.М. Физические явления в кремнии в крайне неравновесном состоянии. - Ташкент: ФАН, 2008.-341с.
7. Бахадырханов М.С., Аюпов К.С., Мавлянов Г.Х., Исамов С.Б. Отрицательное магнетосопротивление в кремнии с комплексами атомов марганца $[Mn]_4$ // ФТП. – С.Петербург, 2010. -т.44. вып.4. - с.1181-1184.
8. Бахадырханов М.С., Аюпов К.С., Мавлянов Г.Х., Зикриллаев Н.Ф., Нигманходжаев С. Активация нанокластеров атомов марганца в кремнии // ДАН РУз. – Ташкент, 2009. - №3-4. - с.58.
9. Бахадырханов М.С., Аюпов К.С., Арзикулов Э.У., Сражев С.Н., Тошбоев Т.У. Термические свойства кремния с кластерами атомов никеля // Известия Высших Учебных Заведений. Физика. – Москва, 2008. - №11/3. - с.170-172.
- 10.Аронов Д.А., Зайтова В. Фотомагнитный эффект и фотопроводимость в полупроводниках при высоких уровнях возбуждения. – Ташкент: ФАН, 1987. - 241 с.
- 11.Мнацаканов Т.Т., Левинштейн М.Е., Тандоев А.Г., Юрков С.Н.Особенности динамической инжекции и процессов модуляции базового слоя в мощных p^+-p структурах // ФТП. – С.Петербург, 2007. – т.41. вып.11. – с. 1401-1407.
- 12.Dean R.H. // J.Appl Phys. – 46, 585 (1969).
- 13.Каражанов С.Ж. Свойства точно компенсированных полупроводников // ФТП. – С.Петербург, 2000. – т.34. вып.8. – с. 917-922.
- 14.Рывкин С.М. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. – Москва: Гос. Изд. Физ-мат. Лит., 1963. – 494 с.
- 15.Fedulov V. I., Zakhidov R.A., Anarbaev A. Particle in nonuniform potential field of photovoltaic devices // Applied Solar Energy. – New York, 2009. – v.45. N3. – pp.157-161.

4. ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РУЙХАТИ

1. Mumimov R.A., Kanyazov Sh.K., Saymbetov A.K. Relaxation process features of photoconductivity in p-i-n structures. // Semiconductor physics quantum electronics & optoelectronics. – Kiev, 2010. -V.13. – No.3. – PP.258-260.
2. Fedulov V.I., Mumimov R.A., Saymbetov A.K. Particle in the structure with the inhomogeneous potential field and the point source // Uzbek journal of Physics. – Tashkent, 2010. – V.12. – No.3. – PP.127-131.
3. Саймбетов А.К. Особенности электрофизических характеристик детекторных гетероструктур $\alpha Si-Si$ // Доклады Академии наук Республики Узбекистан. – Ташкент, 2010. №5. – С. 24-26.
4. Муминов Р.А., Раджапов С.А., Саймбетов А.К. Полупроводниковые детекторы ядерного излучения на основе $\alpha Si-Si$ // Новые технологии. – Кременчуг, 2008. - №3(21). - С.9-12.
5. Муминов Р.А., Саймбетов А.К., Раджапов С.А. Временная деградация низкофоновой установки на основе $Si(Li)$ детекторов большой площади // Доклады Академии наук Республики Узбекистан. – Ташкент, 2008. - №6. - С.25-27.

6. Саймбетов А.К. Кремний-литиевые детекторы ядерного излучения больших размеров. // XVII Международная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов 2010» 12-15 апреля 2010. – Москва, 2010. 2-том. – С.288.
7. Саймбетов А.К. Вольтфарадная характеристика детекторов ядерного излучения на основе гетероструктур $\alpha\text{Si-Si}$. // XI Международная конференция Физика твердого тела и международный симпозиум Наноматериалы для защиты промышленных и подземных конструкций 9-12 июня 2010. - Усть-Каменогорск, 2010. – С.466-467.
8. Саймбетов А.К., Курбанова М.Н., Раджапов Б.С., Рузибаев О.М. Стриповые детекторы ядерного излучения на основе $\alpha\text{Si-Si}$. // XI Международная конференция Физика твердого тела и международный симпозиум Наноматериалы для защиты промышленных и подземных конструкций 9-12 июня 2010. - Усть-Каменогорск, 2010.- С.468-469.
9. Muminov R.A., Saymbetov A.K., Radjapov S.A. Nuclear radiation Si(Li) p-i-n detector with extension sensitive (10 mm) region. // 2-International Conference Current Problems in Nuclear Physics and Atomic Energy 9 – 15 June 2008. - Kyiv, 2008. - PP.83-84.
10. Muminov R.A., Saymbetov A.K., Radjapov S.A., Pindurin Yu.S. By low-temperature method. // 2-International Conference Current Problems in Nuclear Physics and Atomic Energy 9 – 15 June 2008. - Kyiv, 2008. – P.84.
11. Муминов Р.А., Раджапов С.А., Саймбетов А.К. Полупроводниковые детекторы больших размеров на основе гетероструктур $\alpha\text{Si-Si}$ // Международной конференции Фундаментальные и прикладные вопросы физики 24-25 ноября 2010. - Ташкент, 2010. - С.252-253.
12. Муминов Р.А., Раджапов С.А., Саймбетов А.К., Пиндюрин Ю.С., Зиявуддинов Р.С., Раджапов Б.С. Установка для определения объемной активности радона в воздухе и воде на основе Si(Li) детектора // Международной конференции Фундаментальные и прикладные вопросы физики 24-25 ноября 2010. - Ташкент, 2010. – С.253-254.
13. Саймбетов А.К. Особенности релаксационных процессов фотопроводимости в р-і-п структурах. // Физика фанининг бугунги ривожиди истеъдодли ёшларнинг ўрни» Республика ёш олимлар ва иқтидорли талабаларнинг илмий анжумани 8-9 апрель 2010. - Ташкент, 2010 – С.171-176.
14. Саймбетов А.К. Полупроводниковые детекторы на основе $\alpha\text{Si-Si}$. Табиий фанларнинг долзарб муаммолари Республика ёш олимлар илмий-амалий анжумани 12 сентябр 2008. - Самарканд, 2008. – С.112-113.

РЕЗЮМЕ

диссертации Саймбетова Ахмета Куанышбаевича на тему: “Особенности влияния границы раздела и протяженности области объемного заряда на электрофизические характеристики детекторных структур” на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников

Ключевые слова: диффузия лития, дрейф ионов лития, p-i-n структур, гетероструктура, граница раздела.

Объекты исследования: изготовление детекторных Si(Li) p-i-n и α Si-Si(Li) структур больших размеров.

Цель работы: исследование особенностей формирования высокоэффективных детекторных структур больших размеров с оптимальными электрофизическими и радиометрическими свойствами, а также изучения новых физических механизмов, влияющих на формирование амплитуды энергетических спектров в них.

Методы исследования: методы исследования вольтамперных и вольтфарадных характеристик детекторных структур; метод исследования особенности фотонапряжения в неоднородных участках чувствительной области Si(Li) p-i-n структур, а также структурные исследования границы раздела α Si-Si(Li).

Полученные результаты и их новизна: -разработаны физико-технологические способы формирования оптимальных свойств электрофизических характеристик и параметров радиометрических свойств ППД на основе Si(Li) p-i-n структур и α Si-Si(Li) гетероструктур больших размеров; -на основе исследования релаксационных процессов фотопроводимости в Si(Li) p-i-n структурах, выявлено, что на отдельных участках этой области, на временной зависимости импульса фотонапряжения после соответствующего фотовозбуждения наблюдается ярко выраженная «яма»; -на основе проведенных аналитических расчетов траектории движения носителей заряда в i - области Si(Li) p-i-n структур с учетом влияния на этот процесс неоднородности потенциального поля в нем, показано, что при таких условиях электроны и дырки, генерированные в результате ионизации атомов ядерным излучением, перемещаются более длинной траекторией по направлению электрического поля в чувствительной области ППД.

Практическая значимость: полученные детекторные структуры Si(Li) p-i-n, α Si-Si(Li) больших размеров имеют значения для понимания физических процессов для различных полупроводниковых приборов больших размеров, а также практические значения для совершенствования их характеристик.

Степень внедрения и экономическая эффективность: результаты исследований нашли применение в оптимизации свойств Si(Li) ППД при выполнении х/договорных работ с ОАО «УзКТЖМ», ОАО «Узбекхимаш», с общим финансированием ~20 млн.сум.

Область применения: исследованные детекторные структуры, имеют перспективы в решении фундаментальных и прикладных задач ядерной физики.

Физика-математика фанлари номзоди даражасига талабгор Саймбетов Ахмет Куанышбаевичнинг 01.04.10 - яримўтказгичлар физикаси ихтисослиги бўйича “Ҳажмий заряд соҳасининг узунлиги ва бўлиниш чегарасининг детекторли структуралар электрофизик характеристикаларига таъсирининг ўзига хослиги” мавзусидаги диссертациясининг

РЕЗЮМЕСИ

Таянч сўзлар: литий диффузияси, литий ионлари дрейфи, p-i-n структура, гетероструктура, бўлиниш чегараси.

Тадқиқод объектлари: катта ўлчамли детекторли Si(Li) p-i-n ва α Si-Si(Li) структураларни ишлаб чиқариш.

Ишнинг мақсади: оптимал электрофизик ҳамда радиометрик хусусиятларга эга катта ўлчамли юқори самарали детекторли структураларни ишлаб чиқишнинг ўзига хос хусусиятлари, шунингдек, янги физик механизмларнинг улардаги энергетик спектрлар амплитудаси пайдо бўлишига таъсирини ўрганишдан иборат.

Тадқиқод методлари: детекторли структуралар вольтампер ва вольт-фарада характеристикаларини ўлчаш услублари; Si(Li) p-i-n структуралар сезгирлигининг бир жинсли бўлмаган соҳаларидаги фотокучланиш хусусиятларини тадқиқ этиш услуби, шунингдек α Si-Si(Li) бўлиниш чегарасининг структуравий тадқиқотлари.

Олинган натижалар ва уларнинг янгилиги: катта ўлчамли Si(Li) p-i-n структура ва α Si-Si(Li) гетероструктуралар асосидаги ЯЎД радиометрик параметрлари ва электрофизик хусусиятларини оптимал ҳосил қилишнинг физик-технологик усуллари ишлаб чиқилди. Si(Li) p-i-n структуралардаги фотоўтказувчанлик жараёнларининг релаксация тадқиқоти асосида ушуб соҳанинг алоҳида қисмларида фотокучланиш импульсининг вақтинчалик боғланишида мос келувчи фотоқўзғалишдан кейин аниқ ифодаланган “ўра” кузатилиши аниқланди. Si(Li) p-i-n структуралар i-соҳасидаги заряд ташувчиларининг ҳаракат траекторияси ундаги бир жинсли бўлмаган потенциал майдоннинг бу жараёнга таъсирини ҳисобга олган ҳолда ушбу шарт-шароитдаги ядровий нурланиш таъсиридаги атомлар ионизацияси натижасида генерацияланган электрон ва тешиklar ЯЎД сезгирлик соҳасининг электр майдони йўналиши бўйлаб анчагина узун траектория билан аралашishi ўтказилган аналитик ҳисоб-китоблар асосида кўрсатиб берилди.

Амалий аҳамияти: олинган катта ўлчамли Si(Li) p-i-n, α Si-Si(Li) детекторли структуралар, катта ўлчамли турли хил яримўтказгичли асбобларда рўй берувчи физик жараёнларни тушуниш, шунингдек уларнинг хусусиятларини мукаммаллаштиришда амалий аҳамиятга эгадир.

Татбиқ этиш даражаси ва иқтисодий самарадорлиги: олинган натижалар умумий қиймати ~20 млн.сўмдан иборат ОАЖ «ЎзҚҚЎЧМК», ОАЖ «Ўзбеккимемаш» билан тузилган хўжалик шартномаларини бажаришда Si(Li) ЯЎД хусусиятларини оптималлаштиришда ўз тадбиқини топди.

Қўлланилиш соҳаси: тадқиқ этилган ва ишлаб чиқилган детекторли структуралар ядро физикаси амалий ва фундаментал масалаларини ечишда катта истикболга эга.

RESUME

Of the thesis of Saymbetov Ahmet Kuanishbayevich on the scientific degree-competition of the doctor of philosophy in physics - mathematical sciences on a specialty 01.04.10 - semiconductors physics on subject: "The features of influence of interface and spatial charge of extended region on electrophysical characteristics of detector structures".

Key words: diffusion of lithium, drift of lithium ions, p-i-n structure, heterostructure, interface.

Subject of research: manufacturing of the large size Si(Li) p-i-n and α Si-Si(Li) detector structures.

Purpose of work: investigation the features of formation of the large size high efficiency detector structures with optimal electrophysical and radio-metric properties as well as study of new physical mechanisms of influencing for formation their amplitude of energetic spectra.

Methods of research: method of investigation of current-voltage and volt-capacity characteristic of detector structures; method of investigation of features of photovoltage in nonuniform area of the sensitive regions of Si(Li) p-i-n structure, as well as investigation of the structure research of α Si-Si(Li) interface.

The results obtained and their novelty: physic-technological methods of formation structures with of optimum properties of electrophysical characteristics and radiometric properties of semiconductor detectors on the base of Si(Li) p-i-n structures and α Si-Si(Li) heterostructures with large area are developed; on the base of investigation of relaxation photoconductivity processes in Si(Li) p-i-n structure have been carried out that on the some regions of these area was pronounced a "well" on time dependence of photovoltage's impulse after corresponding photoexcitation is observed; on the basis of analytical calculations of the trajectory of carriers transport in i – area of Si(Li) p-i-n structure where take into account the influence on this process of inhomogeneous potential field it has shown that under such conditions electrons and holes generated as a result of ionization of atoms by nuclear radiation moved forward longer trajectory in electric field direction in sensitive part of semiconductor detector.

Practical value: researched detectors structures Si(Li) p-i-n and α Si-Si(Li) have possess for understanding of physical processes in various large size semiconductor devices as well as practical value for improving of their characteristics.

Degree of embed and economic affectivity: results of investigations had application for optimization of properties of Si(Li) semiconductor detectors at fulfilling contract work with OJSC «UzCRHRM», OJSC «Uzbekchimmash» with total financing around 20 million sum.

Field of application: investigated detector structures have prospects for developing of fundamental and applied problems of nuclear physics.