6D071900 - Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар мамандығы бойынша философия ғылымдарының докторы (PhD) ғылыми дәрежесін алу үшін ұсынылған

Джапашов Нурсултанның

диссертациялық жұмысынан

АННОТАЦИЯ

Үлкен өлшемді кремний- литийлі құрылымдар негізінде сезімталдығы жоғары детектрлік жүйе жасау

Зерттеудің жалпы сипаттамасы

Диссертация рентген сәулелерін тіркеуге арналған, спектрометрлік құралдарды зерттеуге және қолдануға арналған. Детекторлар мен олардың электроникасын дамытуға, ерекше назар аударылды. Осы жұмыс аясында, диаметрі 110 мм-ден астам және сезімтал аймақ қалыңдығы 4 мм-ден астам, Si (Li) p-i-n ядролық сәулелену детекторларын, одан әрі дамыту үшін монокристалды кремний пластинасынаға литий атомдарының жаңа екі жақты диффузия әдісі және екі жақты дрейфі әдісі ұсынылды. Екі жақты диффузияның теориясы мен тәжірибелік сипаттамалары қарастырылды. Құрылымды алу үшін бастапқы материал ретінде: аймақтық жүзу әдісімен алынған п-типті кремний монокристаллы және Чохральский әдісімен алынған дислокациясыз п- типті кремний монокристаллы қарастырылды. Сондай-ақ, детектордың оңтайландырылған, жоғары жылдамдықты, төмен шуылды электроникасы мен жүйесінің алгоритмдің блоктық схемасы ұсынылды.

Зерттеудің өзектілігі

Бүгінгі күні кремнийлі рентген сәулесін тіркеу жүйелері радиацияның кез келген түрін тіркеу саласында кеңінен қолданылады. Детекторлардың негізгі артықшылықтарының бірі төмен энергия, статистика жинаудың жоғары тиімділігі, радиацияға шыдамдылығында болып табылады. Осындай сипаттамалардың арқасында кремнийлі детекторлық жүйелер бүкіл әлемдік зертханалардың зерттеу нысанына айналды. Осындай ірі зертхана мен өндіріс орнына CANBERRA компаниясы жатады. Бұл компания кремнийлі детекторлар мен спектрометрлерді зерттеу және өнеркәсіптік қажеттері үшін әзірлеп шығаратын компания екені белгілі. Иондаушы сәулеленуді анықтау жүйелерін жобалау мен өндіру саласындағы көшбасшылардын бірі - ORTEC өнеркәсіптік ұйым. Әлемдегі көптеген зертханалар, мысалы: Брукхвейн ұлттық зертханасы және жартылай өткізгіш детекторлар мен спектрометрлерді зерттеу және дамытумен айналысатын «Жоғары Энергия физикасы» институтының жартылай өткізгіш детекторлар зертханасы кремнилі детекторларды өндіруші, дамытушы компаниялар болып табылады.

Сонымен қатар, микро бөлшектер мен радиацияның әртүрлі түрлерін тіркеу, ғылым мен техниканың ерекше міндеті екені мәлім. Олардың ішінде

ерекше орын алатын, жоғары энергиялық ядролық сәулелену және позициондық шешімдерге негізделген саулелендуды детектрлеу жүйелері. Жоғары сапалы детекторлық жүйелерін алудың маңызды технологиялық, ғылыми және техникалық кезеңдерінің бірі физикалық, технологиялық және құрылымдық шешімдерді дұрыс түсіну болып табылады. Детектор спектрометриялық жүйелердің ажырамас бөлігі болғандықтан, детектор құрылымдарын қалыптастыру процесі спектрометриялық жүйелерді дамытуда өтемаңызды рөл атқарады. Детектордың жоғары қуатты ажыратымдылығы, сигналдың сызықтығы және детектордың жоғары үтымдылығы, жүйенің табысты жұмысын қамтамасыз етеді. Бұл жағдайда, детектор үшін басты кристалды материалдың сапасы ерекше орыналады. Біздің зерттеуімізде бастапқы материал ретінде монокристалды кремний таңдалды. Басқа материалдармен салыстырғанда, кремний жоғарыда көрсетілген талаптарға сәйкес келеді.

Ge дан жасалған детекторлардың ең жоғары функционалдық сипаттамалары бәріне белгілі, бірақ олар T≤77K температурада жұмыс істейді, сондықтан жұмыс процесінде сұйық азотпен салқындату жүйесі болуы міндетті. Детекторларды жасауға арналған басқа да бастапқы материал ретінде қолданылған GaAs, CdTe және CdZnTe сияқты монокристаллдар өндірісінің технологиялары төмен детектрлеу тиімділігіне және төмен қуат ажыратымдылығына ие.

Қазіргі таңда әлемдік тәжірибеде салыстырмалы түрде, кішкентай детекторлар жақсы дамыған. Оған қарамастан, үлкен көлемдегі кремнийлі детекторларды әзірлеу қажеттілігі туындап отыр. Диодтар, транзисторлар, тиристорлар және т.б. сияқты басқа жартылай өткізгіш құрылғылармен салыстырғанда, детектор құрылымдары ток, заряд, сыйымдылық, спектрометриялық және уақыттық сипаттамалармен, сондай-ақ иондаушы сәулеленудің сәйкестендірілуімен байланысты жоғары талаптарға сай болуы керек. Осыған байланысты қажетті үлкен өлшемдегі детектор құрылымдарын қалыптастыру үшін p-n және p-i-n өтуі арқылы пайда болған технологиялық проблемаларды зерттеу маңызды.

Спектрометрден алынған бөлшектердің жайында мәліметтерді және оны тіркеу кезінде детектордағы процестер туралы ақпараттың сенімділігін арттыру детектрлеуші жүйені оңтайландырудың бірден бір бөлігі болып табылады. Бұл іске асырылатын жағдай болғанымен аналогтық электронды әдістермен жүзеге асырылуы өте қиын, себебі аналогты жүйенің құрамдас бөліктерінің көптігінен жүйеде түрлі шуылдар мен қателіктер пайда болуы мүмкін. Сандық электронды сигналды талдаудың әдісін қолдану арқылы, сигналды өңдеудің сапасын жақсартуда математикалық әдістердің қолдануға болады, аналогтық электроника үшін қол жетімді емес болып табылады. Сандық электроника детектордан алынатын импульстік пішінді сигналды талдауға және одан қосымша ақпаратты алуға мүмкіндік береді.

Аналогтық спектрометрлерді құрайтын электрондық компоненттердің қасиеттері қоршаған орта жағдайларына (температура, ылғалдылық, кернеу және т.б.) сезімтал болып келеді, түрлі тұрақтандыру жүйелерін пайдаланып аналогты жүйеден алынатын сигналдардың сапасын арттырғанымызбен жоғары нәтижеге қол жеткізу тек сандық

электрониканың құзырында болып тұр. Сандық сигналдарды өңдеу кезінде электрондық модульдермен жасалынған жұмыстардың басым бөлігі компьютерлік бағдарламаларға аударылады. Сондықтан бүкіл жүйенің тұрақтылығы артады.

Спектрометрлендің үтымдылығын арттыру мәселесі ардайым маңыды. Аналогты электрониканы қолдану оны жақсартуға кедергі келтіретін белгілі әсерлерді жою (баллистикалық ақау, сигналдарды оптимальды фильтрлеу және т.б.) өте қиын. Сандық сигналдарды өңдеу құралдары сигналдарды қалпына келтіріп, осылайша баллистикалық ақаудың әсерін азайта алады. Сонымен қатар, бұл сигналға оңтайлы түрде сәйкес келетін жеке фильтрді жобалау үшін, оның нысанын, ерекшеліктерін ескере отырып, белгілі бір сигналды өңдеуді бастауға болады.

Зерттеу мақсаты: рентген сәулелерін тіркекге аналған тиімділігі жоғары, құны төмен шығын сандық спектрометр жасау болып табылады. Осы тарапта үлкен көлемді, Si (Li) p-i-n құрылымды, ірі көлемдегі детекторларды өндіру технологиясын жасау және оның электро-физикалық сипаттамаларын зерттеу, сонымен қатар детектордан шыққан сигналдарды оқуға арналған спектрометрлер тізбегі мен сандық сигналдарды өңдеу алгоритмдерін жасау.

Осы мақсатқа жету үшін келесі міндеттер қойылды:

- Детекторды даярлауға арналған тиімді кремнилі шикызатты таңдау;

-Таңдап алынған материалдың электрофизикалық қасиеттерін экспериментті түрде зерттеп талдау;

-Диаметрі 110 мм болатын кремний пластинасына литий атомдарының екі жақты диффузиясының технологиялық режимін жасау;

-Үлкен өлшемді кремний пластинасына литий иондарының екі жақты дрейфінің технологиялық режимін жасау;

-Үлкен өлшемді Si (Li) p-i-n детекторларына сәйкес келетін жоғары үтқырлыққа ие электроникалық бөлімін құрастыру.

-Үлкен өлшемді Si (Li) p-i-n детекторлары үшін спектрометрлік жүйелерді бағдарлау және құрастыру.

Зерттеудің нысаны:

Зерттеудің нысаны, сезімталдығы жоғары рентгендік детектрлеу жүйесі, Si (Li) p-i-n құрылымындағы детекторлар, спектрометрлер тізбегі және сандық сигналдарды өңдеу алгоритмдері болып табылады.

Зерттеудің құралы:

Зерттеудің құрылы болып детекторлар мен детекторлық жүйелерді дамыту үшін қолданылған жеке механизмдер мен технологиялар қарастырылады.

Диссертацияны қорғаудағы негізгі қағидалар:

- Сезімталдық аймағының қалыңдығы W≥ 4mm ден жоғары, үлкен диаметрлі (≥110 мм) дектекторларды алудың оптималды диффузиялық резими температураның $T=(450\pm20)^0C$, t = 3 мин, h_{Li} = (300 ± 10) μм мәнінде екені анықталды.

-Литий иондарының кремний монокристаллына екі жақты дрейфінің технологиясы температураны 55 ^{0}C тан 100 ^{0}C қа дейін керы бағыт кернеуінің 70В тан 200В мәніне дейін синхронды артуының көмегімен жүзеге асады.

- Литий иондарының кремний монокристаллына екі жақты дрейфінің технологиясы детектрлеу жүйеінің спектрометрлік сипаттамаларын

жақсартады, үтқырлығын арттырады және детектрлерды дайындау уақытын азайтады.

-Кремний детекторлары үшін жасалынған зарядқа сезімтал сигнал күшейткіш жоғары жылдамдыққа ие (кідіру уақыты 5 сек тан артық емес), кіріс сиымдылығының мәніне сезімталдығы төмен, оның түрақтылығын шуылы төмен төмен (шамамен 0,45 нВ/Гц$^{1/2}$) сигнал күшейткішпен қамтамасыз етіледі, және қосу импедансының күшейту шығысымен келісімге түсу мүмкіндігі бар.

Ғылыми зерттеудің жаңалығы:

- Сезімталдық аймағының қалыңдығы W≥ 4mm ден жоғары, үлкен диаметрлі (≥110 мм) дектекторларды алу үшін тәжірибе негізінде литий атомарының диффузия режимі анықталды.

-Алғашқы рет тәжірибе нәтижесінде литий иондарының кремний монокристаллына температура мен кернеудің кері мәнінің синхронды артуымен орын алатын екі жақты дрейфтің режимі дрейф жолын айтарлықтай қысқартатыны және де алфа бөлшектері үшін 5 кэВ қа және бета бөлшектері үшін 7 кэВ ке энергиялық рұқсат беруін төмендету салдырынан құрылымды біртекті ететіні көрсетілды.

-Теориялық есептеулер мен эксперименттік нәтижелердің көрсеткіштері сараптай келе екі жақты дрейф технологиясы Si(Li) p-i-n – құрылымын жасау уақтысын төрт есеге дейін төмендететіндігі анықталды.

- Si(Li) p-i-n – құрылымды детекторлар үшін жасап шығарылған сигналды күшейткіш тізбек төмен шуыл дәрежесімен, яғни шығыс сыйымдылығы 300 пФ детектрлер үшін шуылды тоқтың орташа квадраттық ауытқуы 45 нА, минималды кідіру уақытын (шамамен 8 нс дейін) көрсетті. Сондай ақ, жасалынған сигнал күшейткіш шығыс сыйымдылықтары 10 нан 1300 пФ қа дейінгі барлық ұқсас кремнийлік детектрлермен жұмыс жасауға қабілетті.

Зерттеу әдістемелік негізі

Si (Li) p-i-n детектор құрылымы екі жақты диффузия әдісі және литий иондарының кремний монокристаллына екі жақты дрейфінің көмегімен алынды. арқылы алынды. Детектордың және бүкіл детекторлық жүйенің электр-физикалық сипаттамаларын, теориялық есептеулерідің нәтижесінде және экспериментальды өлшеулерді жүргізу арқылы жүзеге асырылды. Жүйенің электрондық бөлігі жүйені үлгілеу, теориялық есептеу және кспериментік құрастыру арқылы жүзеге асырылды.

Жұмыстың ғылыми-тәжірибелік маңыздылығы: Диссертациялық жұмыста үлкен көлемдігі Si (Li) p-i-n құрылымдарын қалыптастырудың жаңа теориялық және тәжірибелік ерекшеліктері қарастырылады. Осындай детектор құрылымдарын құру үлкен диаметрдегі бастапқы кремнийдің электрлік қасиеттерін тереңірек түсіну және жоғары сапалы Si (Li) p-i-n құрылымдарын алу талаптарымен өзара байланысын анықтаумен байланысты. Бұл ғылыми нәтижелер әртүрлі ірі көлемді жартылай өткізгіш құрылғылар үшін физикалық процестерді түсіну үшін, сондай-ақ олардың сипаттамаларын жақсарту үшін таптырмас құрал болып табылады.

Сондай-ақ мұндағы жасалынға спектрометрлердің цифрлық электроникасы Si (Li) p-i-n құрылымды детекторлардың параметрлеріне дәл сай

келеді. Сондай ақ, осы жұмыс аясында детектрлеу жүйесінің сандық электроникасын оқуға арналған алгоритм құрылды. Детектрлеу жүйесінің электрофизикалық және радиометриялық сипаттамалары зерттелді.

Үлкен көлемдегі Si (Li) p-i-n детекторларына негізделген бірегей спектрометрлерді әзірлеу, қоршаған орта нысандарының физика-химиялық қасиеттерін зерттеу үшін, ғылым мен техника саласындағы зерттеулер жүргізу үшін жаңа мүмкіндіктер ашады. Бұл даму радиоактивтік радиацияның ақпаратты өңдеу сапасын жоғарылатуда, ғылым мен өндірісті дамытудың жаңа мүмкіндіктерін ашады, бұл зерттеулер Si (Li) p-i-n детекторларын ары қарай сейсмология, геология, медицина және т.б. салаларда қолдану мүмкіндігін береді.

Автордың жеке үлесі

Автор негізгі ғылыми нәтижелерді алуға тікелей қатысқан. Физикалық тәжірибенің барлық нәтижелері, теориялық есептеулер, үлгілерді сандық талдау, содай ақ детектрді жинау автордың жеке қатысуымен жүзеге асырылды. Диссертациялық жұмыстың мақсаты мен тапсырмаларын әзірлеу бөлілі ғылыми кеңесшілермен бірлесіп жүзеге асырылды. Диссертация тақырыбы бойынша барлық басылымдар автордың тікелей қатысуымен дайындалды.

Диссертация нәтижелерінің сенімділігі

-Диссертациялық жұмыста сипатталған теориялық бөлім- электроника және жартылай өткізгіш электроника саласындағы танымал ғылыми жұмыстардың жалғасы болып табылады. Алынған нәтижелер бұрынғы зерттеу жұмыстарымен және олардың логикалық жалғасуымен байланысты.

-Жұмыста ұсынылған тәжірибелік және теориялық нәтижелер жақсы үйлесім табады.

-Рентгендік детекторлау жүйесі толығымен өндіріске жарамды.

Диссертацияның нәтижелерін сынақ тестілеуі

Диссертациялық жұмыстың негізгі нәтижелері Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ-нің физика-техникалық факультетінің семинарларында және келесі халықаралық конференцияларда талқыланды:

- Төртінші халықаралық ғылыми-зерттеу конференциясы радиация және зерттеудің түрлі салаларында қолдану (2016, Ниш, Сербия);
- «Фараби әлемі» студенттер мен жас ғалымдардың халықаралық ғылыми конференциясы (2018, Алматы, Қазақстан);
- Диссертациялық жұмыстың нәтижелері «Сайнта Казахстан» ЖШС-нің шаруашылық қызметінде радиациялық жабдық деңгейін анықтау үшін енгізілді.

Жарияланымдар:

Диссертацияның материалдарына сәйкес 11 жарияланым жарияланған. Оның ішінде Scopus деректер базасына кіретін ThomsonReuters дерек қорында (ISI Web of Knowledge, Thomson Reuters) деректер базасында сілтемесі бар халықаралық ғылыми басылымдарда, 2 мақала, Ғылым және Білім саласындағы басқару комитеті ұсынған журналдарда 6 мақала 1 баяндама шет елдік халықаралық конференцияда және жергілікті халықаралық конференцияда 2 баяндама.

Диссертацияның құрылымы мен көлемі: Диссертация кіріспеден, төрт бөлімнен, қорытындыдан және сілтемелер тізімінен тұрады. Ол машиналық мәтіннің 114 бетінде ұсынылған, 56 сурет, 4 кесте, 148 сілтемеден тұрады.