

*Fizika*

УДК 621.315.592

**SINTILLYATOR STUDY OF THE PROPERTIES OF SEMICONDUCTOR Si (Li) AND Ge (Li) BASED PHOTODETECTOR**

**СЦИНТИЛЛЯТОР ЯРИМЎТКАЗГИЧЛИ Si(Li) ВА Ge(Li) АСОСИДАГИ  
ФОТОДЕТЕКТОРЛАРНИНГ ХУСУСИЯТЛАРИНИ ЎРГАНИШ**

**ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ФОТОДЕТЕКТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ  
СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ НА ОСНОВЕ Si(Li) И Ge(Li)**

Марипов Илхом Исокович, Давлатов Ўткир Тоғаевич, Аширов Шамсиддин Ахназарович  
Гулистон давлат университети, 120100. Сирдарё вилояти, Гулистон шаҳри, 4-мавзе  
**E-mail:** imaripov@list.ru

**Abstract**

This study is devoted to the study of the principle and basic characteristics (efficiency, separation) of x-ray and gamma detectors. The advantage of scintillation Ge (Li) and Si (Li) detectors over other detectors is its high particle detection efficiency and small bandwidth, as well as its practicality. Ge (Li) detectors are designed to measure the spectrum of gamma rays. The maximum possible value of the detector power distribution has been reached. Observations show that the shape of the spectral line and the uniformity of the electric field play an important role in the accumulation of charges per unit time. Si (Li) detectors. Designed to measure the spectra of beta particles and gamma values. Surface Si (Li) obstacle detectors. mainly for measuring alpha, low energy beta and x-ray spectrum. Despite the high separation ability of Si (Li) energy detectors, their scope in precision beta and X-ray spectroscopy is limited. The detection of metal semiconductor metal structures is widely used in science and technology. In nuclear medicine, a radioactive element is usually injected into the patient's circulatory system and can be detected by localization in the affected organ, which is widely used to monitor kidney function, bone density and the treatment of atherosclerosis.

**Keywords:** detector, gamma quantum, spectrum, charge, electron, semiconductor, crystal, ionization chamber, recombination, x-ray, electric field.

**Аннотация**

Это исследование посвящено изучению принципа и основных характеристик (эффективность, разделение) рентгеновских и гамма-детекторов. Преимущество сцинтилляционных Ge (Li) и Si (Li) детекторов перед другими детекторами заключается в его высокой эффективности регистрации частиц и малой ширине полосы, а также в его практичности. Детекторы Ge (Li) предназначены для измерения спектра гамма-квантов. Максимально возможная величина распределения мощности детектора достигнута. Наблюдения показывают, что форма спектральной линии и однородность электрического поля играют важную роль в накоплении зарядов в единицу времени. Детекторы Si (Li). предназначен для измерения спектров бета-частиц и гамма-величин. Поверхностные Si (Li) детекторы с препятствиями. в основном для измерения альфа-, низкоэнергетического бета- и рентгеновского спектра. Несмотря на высокую разделительную способность Si (Li) детекторов

**\* GULISTON DAVLAT UNIVERSITETI AXBOROTNOMASI,  
Tabiiy va qishloq xo'jaligi fanlari seriyasi. 2019. № 4**

энергии, сфера их применения в прецизионной бета- и рентгеновской спектроскопии ограничена. Обнаружение металлических полупроводниковых металлических конструкций широко используется в науке и технике. В ядерной медицине радиоактивный элемент обычно вводится в кровеносную систему пациента и может быть обнаружен в результате локализации в пораженном органе, широко используемой для мониторинга функции почек, плотности кости и лечения ателосклероза.

**Ключевые слова:** детектора, гамма-квант, спектр, заряд, электрон, полупроводник, кристалл, ионизационная камера, рекомбинация, рентген, электрическое поле.

Ҳозирги вақтга келиб, ядровий нурларни қайд қилувчи бинар асосли яримўтказгичли ( $\text{Ge(Li)}$ ,  $\text{Ge}$ ,  $\text{CdTe}$ ,  $\text{CdZnTe}$ ,  $\text{HgI}_2$ ,  $\text{GaAs}$ ) детекторлардан ясаиб кенг қўлланилмоқда. Бундай турдаги детекторлар хона температурасида ишлаши тезкорлиги ва экспресс ўлчашларда қўлланилиши билан самарали ҳисобланади. 1960 йилдан бошлаб яримўтказгичли  $\text{Ge(Li)}$ ,  $\text{GaAs}$ ,  $\text{CdTe}$ ,  $\text{HgB}$  асосли детекторлар кенг миқёсида ишлаб чиқилмоқда. Шунинг учун ҳозирги кунда рентген ва гамма нурларни қайд қилувчи детекторларни ишлаш принципи ва асосий характеристикалари (эффективлиги, ажрата олиш қобилияти) ни ўрганиш катта аҳамият касб этмоқда [1].

Синтиляцион детекторларнинг бошқа детекторларга нисбатан устунлиги унинг зарраларни қайд қилиш эффе́ктивлиги катталиги ва вақт бўйича ажрата олиш қобилияти кичиклиги ҳамда тажрибада ишлатиш қулайлигидир. Унинг энг муҳим камчиликлардан бири энергия бўйича ажрата олиш қобилиятининг пастлигидир.

**Тадқиқот объекти ва қўлланилган методлар**

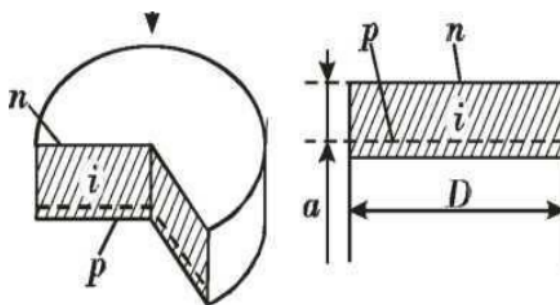
Яримўтказгичли детекторларни пайдо бўлиши билан гамма-квантлар ва зарядли зарраларни спектрометрлаш соҳасида инқилоб бўлди десак муболага бўлмайди. Ҳозирги кунда эса кремний ҳамда германий кристаллари асосида ташкил этилган яримўтказгичли детекторлар фан ва техниканинг барча соҳаларига тўла кириб борди. Ҳозирги пайтда ядровий нурланишларни қайд қилишда фақатгина кремний ва германий кристалларидан ясалган детекторлардан фойдаланилмоқда. Бошқа яримўтказгичли юқори сифатли кристалл детекторларни яшаш учун эса ўта соф материаллар керак. Уларни ҳосил қилиш учун янги соҳалар яратиш талаб қилинади. P-n ва p-i-n ўтишли детекторлар кристалл детекторнинг ишлаш тамойили ионизацион камеранинг ишлаш тамойилиги ўхшаш бўлади. Бу детектор ёрдамида қайд қилинаётган зарядланган зарра детектор моддаси орқали ўтиб, унда электрон ва тешиқдан иборат эркин заряд ташувчиларни пайдо қилади. Бу заряд ташувчилар ўз навбатида доимий электр майдони ёрдамида бошқариб турилади. Бундай детекторни газли ионизацион камерадан муҳим ва афзаллик томони шундан иборатки, бунда юқори даражада зичлигли модда ҳосил қилинади. Қаттиқ жисмда йўқотилган энергия бирлигига тўғри келувчи атомларнинг юқори зичлиги мавжудлиги ҳисобига, зарядланган зарралар ўтиш пайтида кўплаб эркин электр заряд ташувчилар жуфти юзага келади [6]. Шу туфайли ҳосил бўлган заряд ташувчилар жуфтидаги статистик флуктуация камроқ бўлади. Демак, кристалл детекторнинг энергия бўйича ажрата олиш қобилияти газли ионизацион камерага қараганда, яхшироқ бўлади. Детектор материалида нуқсонлар, аралашмалар мавжудлиги туфайли кристалл детекторда ушлаб қолувчилар (ловушка) мавжуд бўлади ва уларда эркин электрон ташувчиларнинг рекомбинацияси юзага келади. Бу эса пайдо бўлган электр зарядларнинг тўла тўпланишига халақит қилади. Шу сабабдан ҳам яримўтказгичли детекторлар яшаш учун соф ва ўта соф кристалл керак бўлади. Кристалл детекторлар ҳажмида электр зарядларнинг тўпланишини доимий электр майдони ёрдамида амалга ошириш учун детектор материали ўтказмовчи бўлиши керак. Акс ҳолда детектор орқали катта доимий кочоқ тоқлар ўта

бошлайди ва ҳаддан зиёд шовқиннинг пайдо бўлишига сабаб бўлади. Ўтказовчилар асосида курилган кристалл детекторлар ҳозирча кенг тарқалган эмас [3].

### Олинган натижалар ва уларнинг таҳлили

Ge(Li)-детекторлар. Бу детектор гамма-квантлар спектрини ўлчашга мўлжалланган. Детекторнинг энергия бўйича ажрата олиш қобилиятининг мумкин бўлган энг максимум қийматига эришилган. Маълумки, Ge(Li)-детекторлари турли хил конфигурацияларда бўлади. Кузатишлар шуни кўрсатадики, спектрал чизиқнинг шакли ва вақт бирлиги ичида зарядларнинг тўпланишига электр майдонининг бир жинслиги ўта муҳим рол ўйнайди. Одатда детекторлар бешта турли хил конфигурациялар [2] 1-расм кўринишида тайёрланади ва улар қуйидаги масалаларни ечишда қўлланилади:

- катта гавдали бурчакда паст энергияли квантларни қайд қилишда;
- майдон эффеқтини ҳисобга олмаганда гамма-квантлар энергиясини ўта аниқлик билан ўлчашда;
- вақт бўйича ажрата олиш қобилияти ёмон, майдон эффеқтивлиги ва юқори даражада қайд қилиш эффеқтивлигига эга бўлганда гамма-квантлар спектрини ўлчашда;
- кичик эффеқтивликка, детекторда майдон эффеқтивлиги бўлганда, лекин вақт бўйича юқори даражада ажрата олиш қобилиятига эга бўлганда гамма-квантлар спектрларини ўлчашда;
- кучсиз радиоактивликка эга бўлган манбалар ва намуналар активлигини ўлчашда.

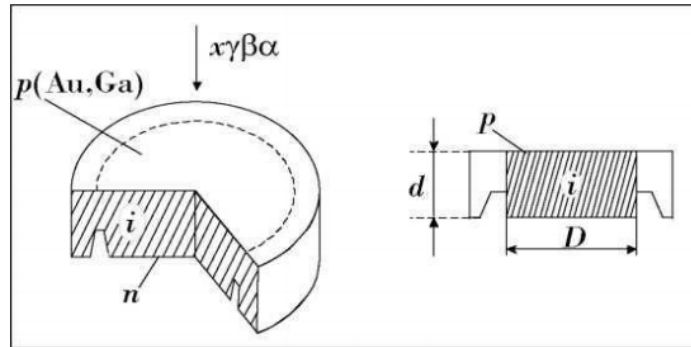


1-расм. Ge(Li)-детекторининг параметри ва тузилиши (Юпка параллел Ge(Li)-детектори).

Si(Li)-детекторлар. Бу детектор бета-зарралар ва гамма-квантлар спектрларини ўлчашга мўлжалланган. Айтиш мумкинки, детекторларнинг энергия бўйича ажрата олиш қобилиятида энергия бўйича мумкин бўлган максимум қийматга эришилган. Ҳақиқатдан ҳам, ички конверсион электронлар (ИКЭ) спектрини ўлчашда энергия бўйича ажрата олиш қобилияти  $E_c=100$  кэВ да 880 эВга тенг. Бета-зарраларни қайд қилишда энергияси 100 кэВ бўлганда бундан юқорироқ натижага эришиш қийинроқ. Чунки детектор жойлаштирилган алюминий коплама, зарядлар тўплаш, радиоактив зарралар ва бошқа эффеқтлар маълум даража яримўтказгичли детекторнинг энергия бўйича ажрата олиш қобилиятига таъсир қилади. Паст энергия диапазонида (<50 кэВ) жойлашган гамма-квантлар спектрини ўлчашда энергия бўйича ажрата олиш қобилиятида юқори кўрсаткичга эришиш анча оғир. Бунинг сабаби шундаки, олдкучайтиргичга (ОК) катта қийматли  $P_c$  ва электрон оптик тескари боғланиш (обратний связь) қўлланилишидир [4].

Тўсиқ сиртли Si(Li)-детекторлари. Бу спектрометр асосан алфа, паст энергияли бета ва рентген нурлари спектрларини ўлчашга мўлжалланган. Si(Li)-детекторларининг энергия

бўйича ажрата олиш қобилияти юқори бўлишига қарамасдан уларни прецизион бета ва рентген нурлари спектроскопиясида қўлланилиш соҳаси чегараланган. Бунга қўлланилиш соҳасининг чегараланганлигига сабаб шундаки, детекторнинг сезгирлик қатламида кучланишни ва тескари доимий токни сақлаб туриш анча мураккаб. Бундан ташқари, тизимда юқори вакуумни ҳосил қилиш ва уни доимий ушлаб туриш ҳам катта қийинчиликларга олиб келади. Si(Li)-детекторлари солиштирма қаршилиги  $0,5 \div 100$  кОм см бўлган р-типи кремнийдан тайёрланади. Si(Li)-детекторларининг параметри ва тузилиши 2-расмда кўрсатилган.



2-расм Тўсиқ сиртли Si(Li)—детекторининг параметри ва тузилиши.

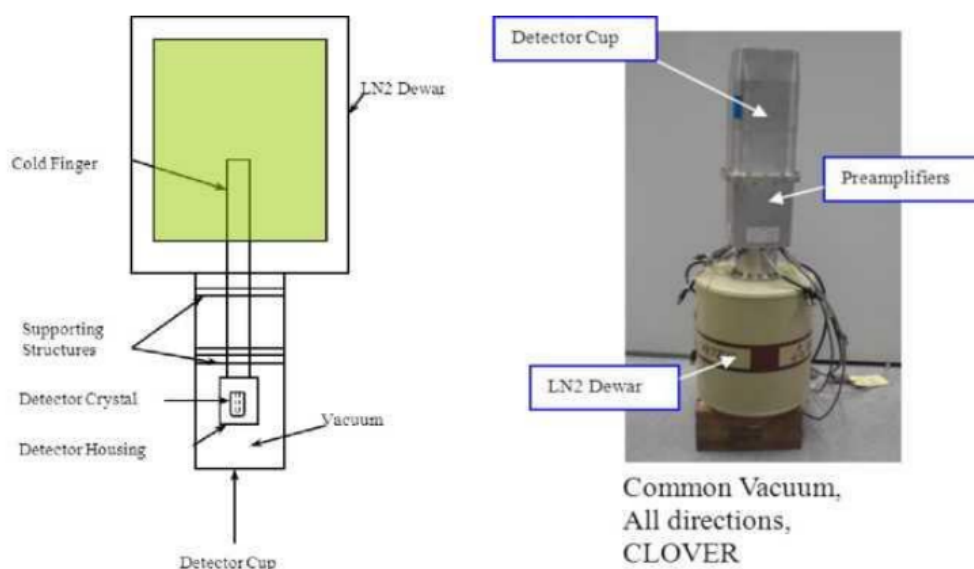
Тўсиқ сиртли Si(Li) детекторининг параметри ва тузилиши. Баъзи бир экспериментларда тўсиқ сиртли р-типи кремнийдан тайёрланган Ge(Al)-детекторлари ҳам қўлланилади. Ge(Al)-детекторларининг Si(Li)-детекторлардан устунлиги шундан иборатки (зарранинг эркин чопиш масофаси  $W$  дан кичик бўлганда), вақт бўйича ажрата олиш чидамли ва тайёрлаш технологияси унча мураккаб эмас.

Тўсиқ сиртли Ge(Li,Au)-детектор. Бу детекторнинг асосий вазифаси ички конверцион электронларни (ИКЭ) ва паст энергияли гамма-квантлар спектрларини ўлчашга мўлжалланганлигидир. Ge(Li,Au)-детекторининг энг муҳим ва қулай томони шундан иборатки, бир вақтнинг ўзида гамма-квантлар ва конверцион электронлар спектрларини ўлчаш мумкин. Демак, улар ички конверцион коэффициентини (ИКК) ўлчаш имкониятини беради. Ge(Li,Au)-детектори р-типи германийдан тайёрланади.

Баъзи бир экспериментларда худди шунга ўхшаш спектрларни ўлчашда имплантация усули билан олинган Ge(Li)-детекторлари ишлатилади. Бундай детекторлар ёрдамида алфа-зарралар спектрини ўлчаш қулайдир. Фақатгина унинг камчилиги шундан иборатки, германийга литий атомлари катта тезликда диффузия қилиш йўли билан киритилади ва натижада кристалларда радиацион дефектлар ҳосил бўлади. Бу эса детекторлар параметрларини яхшилашга маълум даражада тўсқинлик қилади. Соф германий (Ge)-детектор. Бу детекторнинг асосий вазифаси рентген нурлари ва паст энергия диапазонида ( $E < 200$ кэВ) жойлашган гамма-квантлар спектрини ўлчашдан иборатдир. Соф германийдан ясалган детекторнинг Ge(Li)-детектордан устунлиги шундаки, уни хона ҳароратида ҳам бемалол сақлаш мумкин. Бу детекторни фақатгина эксперимент ўтказиш даврида азот ҳароратида сақланса етарли. Баъзи ҳолларда соф германий детектори ўрнини Ge(Li,Au) детектори ҳам бемалол боса олади. Яримўтказгичли детекторларнинг энергия бўйича ажрата олиш қобилиятини ёмонлашишига сабаб шундаки, яримўтказгичли детекторлар электродларида зарядларнинг тўла йиғилмаслиги ва электроника қисмининг шовкинларидир. Яримўтказгичли детекторларнинг энергия бўйича ажрата олиш қобилиятини янада яхшилаш учун соф ва ўта соф материаллардан фойдаланиш керак бўлади [5].

**\* GULISTON DAVLAT UNIVERSITETI AXBOROTNOMASI,  
Tabiiy va qishloq xo'jaligi fanlari seriyasi. 2019. № 4**

Бу эса ўз навбатида детекторлар электродларида зарядни тўла йиғилишга имкон беради. Одатда кристалл яримўтказгичли детекторлар p-n ёки p-i-n яримўтказгичли диодлар кўринишида тайёрланади. Уларнинг тавсифи ва қўлланилиш соҳалари кристаллнинг ишчи геометриясига, детекторнинг сезгирлик ҳажми ва конфигурациясига боғлиқ бўлади. Яримўтказгичли кремний кристаллидан тўсиқ сиртли Si(Au)-детекторлар ва диффузия йўли билан атомларни киритиш Si(Li)-детекторлар тайёрланганда, одатда уларнинг кўриниши юпқа таблеткага ўхшаган бўлиб, диаметри тахминан 10 мм х 50 мм атрофида бўлади. Таблетка диаметри детекторнинг максимум сирт юзасини аниқлайди. Бундай яримўтказгичли детекторлар планар яримўтказгичли детекторлар деб аталади. Уларда p-n ва p-i-n ўтишлар жуда юпқа бўлади. Планар детекторлар катта ишчи сиртга, аммо кичик сезгирлик юзасига эга бўлади. Шунинг учун ҳам яримўтказгичли детекторлар қисқа чопувчи зарраларни қайд қилишда кенг қўлланилади. p-i-n ўтишли Ge(Li)-детекторлар тайёрланадиган ярим-ўтказгичли кристалл одатда цилиндр кўринишида бўлади. Цилиндр кўринишидаги бу кристаллнинг баландлиги унинг диаметрига тенг қилиб олинади. Агарда диффузия ва дрейф усули билан литий атомларини яримўтказгичга киритиш цилиндрининг бир томонидан олиб борилса, бунга p-i-n ўтишли юпқа планар детекторлар дейилади. Бундай планар детекторларнинг сезгирлик ҳажми унчалик катта бўлмай 3-5 см атрофида бўлади. Яримўтказгичли детекторнинг сезгирлик ҳажмини ошириш учун детекторни тайёрлаш пайтида диффузия ва дрейф усули билан литий атомларини киритиш, цилиндр шаклидаги германий кристаллининг ён сиртидан бир вақтда олиб борилади. Мана шу усул билан тайёрланган яримўтказгичли детекторга икки торсли коаксиал детекторлар дейилади. Бундай яримўтказгичли детекторларнинг сезгирлик ҳажми 30-50 см атрофида бўлади. Агар диффузия ва дрейф усули билан литий атомларини киритиш бир вақтнинг ўзида цилиндр кўринишидаги германий кристаллининг ён сиртидан битта торсдан олиб борилса, бундай яримўтказгичли детекторларга бир очик торсли коаксиал детекторлар дейилади. Бундай турдаги детекторларнинг сезгирлик ҳажмлари: 100 см ёки ундан ҳам ортик бўлиши мумкин.



3-расм. Яримўтказгичли Ge-детекторларнинг ташқи кўриниши.

Метал яримўтказгич метал структурали детекторлар фан ва техникада кенг қўлланилмоқда. Асосан ядро медицинасида беморнинг қон айланиш системасида радиоактив



**\* GULISTON DAVLAT UNIVERSITETI AXBOROTNOMASI,**  
**Tabiiy va qishloq xo'jaligi fanlari seriyasi. 2019. № 4**

элемент юборилади ва касалланган организмда локализацияланиши натижасида аниқлаш мумкин, бўйрак ишлашини кузатишда, суякларни зичлигини ҳисоблашда, ателосклерозни даволашда кон томирларининг шунтланишини аниқлашда кенг қўлланилади. Томография системасида агар 30 x 30см юзани кремнийли детектор билан 40 секунд ўлчанса  $\text{HrGe}$  - детектори билан 4 секундда ўлчанади. Ҳозирда реакторларнинг ёқилғи блокларини таркибига уран ва плутоний микдорини аниқлашда  $\text{HrGe}$  -гоза германийли детектор қулайлиги билан ажралиб туради. Ҳозирги кунда ядро спектроскопиясида ҳажми 200-300 мм  $\text{HrGe}$  детектори кенг қўлланилмоқда ва спектрни 661 кэВ ли фотоҷўққиси учун ажрата олиш қобилияти 2,6 кэВ тенг бу эса оз навбатида дала шароитида экспресс натижалар олиш учун қулай ҳисобланади.

**Адабиётлар:**

1. Ливенцев Н.М. Курс физики. Атомная и ядерная физика. - Москва: Высшая школа. 1978 - 245с
2. Матвеев А.Н. Атомная физика. - Москва: Высшая школа. 1989. - 439 с.
3. Нерсесов Э.А. Основные законы атомной и ядерной физики. - Москва: Высшая школа, 1988. - 288 с.
4. Рунов Н.Н. Строение атомов и молекул. - Москва: Просвещение. 1987 -189 с.
5. Азизов М.А. Яримўтказгичлар физикаси.- Т.: Ўқитувчи.1974. - 290 б.
6. Зайнобиддинов С. Қаттиқ жисм физикаси. - Т.: Ўқитувчи.1999.- 224 б.

**References:**

1. Liventsev N.M. Kurs fiziki. Atomnaya i yadernaya fizika. - Moskva: Visshaya shkola, 1978 - 245с. (in Russian).
2. Matveev A.N. Atomnaya fizika. - Moskva: Visshaya shkola, 1989. - 439 s. (in Russian).
3. Nersesov E.A. Osnovnie zakoni atomnoy i yadernoy fiziki. - Moskva: Visshaya shkola, 1988. - 288 s. (in Russian).
4. Runov N.N. Stroenie atomov i molekul. - Moskva: Prosveshenie, 1987. -189 c(in Russian).
5. Azizov M.A. Yarim o'tkazgichlar fizikasi.- T.: O'qituvchi, 1974. - 290 b.
6. Zaynobiddinov S. Qattiq jism fizikasi.- T.:O'qituvchi,1999 . - 224 b.