

**ՀՀ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ
ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ**

ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ ՏԱՐՈՆ ՍԱՄՎԵԼԻ

**ՕԲՅԵԿՏՆԵՐԸ ՀԵՌԱՎԵՐԼՈՒԾՈՂ ԴՅՈՒՐԱԿԻՐ
ՖՈՏՈՍՊԵԿՏՐԱԶԱՓԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ**

ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅՈՒՆ

**Ե.12.03 «Հեռահաղորդակցական ցանցեր, սարքավորումներ և
համակարգեր» մասնագիտությամբ տեխնիկական գիտությունների
թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման համար**

Գիտական ղեկավար՝ տ.գ.դ., պրոֆ. Ս.Խ. Խուդավերդյան

ԵՐԵՎԱՆ 2017

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

| | |
|---|----|
| ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ..... | 4 |
| ԳԼՈՒԽ 1. Ինֆրակարմիր, տեսանելի և ուլտրամանուշակագույն ճառագայթների սպեկտրաչափությունը..... | 10 |
| 1.1. Չափման սկզբունքը, գործիքների տիպերը և կառուցվածքը..... | 10 |
| 1.2. Հեռասպեկտրաչափության մեջ կիրառվող գործիքների առավելությունները և թերությունները..... | 34 |
| 1.2.1. Ֆուրյեի ձևափոխությամբ ԻԿ սպեկտրաչափների առավելությունները..... | 42 |
| 1.2.2. Ֆուրյեի ձևափոխությամբ ֆոտոսպեկտրաչափի թերությունները..... | 44 |
| Եզրակացություն..... | 45 |
| ԳԼՈՒԽ 2. Նոր տիպի կիսահաղորդչային դետեկտորի մշակումը և փորձարկումը..... | 47 |
| 2.1. Օպտիկական սպեկտրաչափությամբ վտանգավոր նյութերի հայտնաբերման և հետազոտության կարևորությունը..... | 47 |
| 2.2. Նյութերի հայտնաբերումը և հեռավերլուծությունը՝ ճառագայթի մոտակա ՈւՄ և տեսանելի միջակայքի սպեկտրաչափություն միջոցով..... | 48 |
| 2.2.1. Կլանման սպեկտրի վերլուծությունը..... | 48 |
| 2.2.2. Լույսի կլանումը և ֆլուորեսցենցիան..... | 50 |
| 2.3. Կիսահաղորդչային ֆոտոդետեկտորային սարքի կառուցվածքը..... | 54 |

| | |
|---|-----|
| 2.4. Կիսահաղորդչային դետեկտորի փորձնական նմուշների փորձարկման արդյունքները..... | 61 |
| Եզրակացություն..... | 67 |
| ԳԼՈՒԽ 3. Վերածրագրավորվող թվային փականների մատրիցի վրա հիմնված օբյեկտները հեռավերլուծող դյուրակիր ֆոտոսպեկտրաչափի մշակումը և փորձարկումը..... | 69 |
| 3.1. Դյուրակիր ֆոտոսպեկտրաչափի անհրաժեշտությունը, հիմնական նպատակը, կիրառության ոլորտները..... | 69 |
| 3.2. Դյուրակիր ֆոտոսպեկտրաչափի նախագիծը, կառուցվածքային հիմնական հանգույցները..... | 70 |
| 3.2.1. Դասական մոտեցումը..... | 70 |
| 3.2.2. Ազդանշանի թվային մշակման նորագույն մոտեցումները..... | 71 |
| 3.2.3. Գործիքի նախատիպի նախագիծը. հիմնական հանգույցները, դրանց նկարագրությունը..... | 72 |
| 3.2.4. ՎԹՓՄ նախագծի մասնակի դինամիկ վերակառուցման հնարավորությունը..... | 100 |
| 3.3. Մշակված սարքի մոդելավորումը, սինթեզը և փորձնական թեստավորման արդյունքները..... | 101 |
| 3.4. Շուկայում առկա ֆոտոսպեկտրաչափների համադրելի մոդելները: Հիմնական պարամետրերի համեմատությունը..... | 107 |
| 3.5. Նախագծի ամփոփում..... | 109 |
| Եզրակացություն..... | 110 |
| ԵԶՐԱՀԱՆԳՈՒՄ..... | 112 |
| ՕԳՏԱԳՈՐԾՎԱԾ ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ..... | 114 |
| ՀԱՎԵԼՎԱԾ 1 | |
| ՀԱՎԵԼՎԱԾ 2 | |
| ՀԱՎԵԼՎԱԾ 3 | |

ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ

Ֆոտոսպեկտրաչափությունը կիրառվում է նյութերի և միացությունների հատկությունները տեսանելի լույսի 400 նմ-ից 700 նմ ալիքային միջակայքում չափելու համար: Դրանք ֆիզիկական և/կամ քիմիական հատկություններ են, ինչպես, օրինակ, քանակը, մաքրությունը, ֆերմենտների ակտիվությունը և այլն, որոնք հավելյալ տեղեկատվություն են տրամադրում հետազոտվող օբյեկտի մասին [1-8]:

1940 թ.-ին շուկայում արդեն առկա էին մի շարք ֆոտոսպեկտրաչափներ, բայց վաղ մոդելները չէին կարող աշխատել մոտակա ուլտրամանուշակագույն տիրույթում: Առնուդ Օ. Բեքմանը մշակեց կատարելագործված տարբերակ, որում գործիքի ամբողջ էլեկտրոնային մասը ներառված էր նրա պատյանի մեջ: Այն ուներ կատարելագործված մոնոքրոմատոր և նոր ջրածնային լամպ, որի ճառագայթման սպեկտրը ընդգրկում էր նաև ուլտրամանուշակագույն տիրույթը: Այս գործիքն 1941 թ.-ից մինչև 1976 թ. արտադրվել է գրեթե առանց փոփոխության, և վաճառվել է ավելի քան 30.000 օրինակով: Քիմիայի բնագավառում նրբեյան մրցանակակիր Բոյուա Մերիֆիլդը նշել է, որ այն, հավանաբար, եղել է երբևէ մշակված ամենակարևոր գործիքը կենսաբանական գիտության առաջընթացի համար [1]:

Թեմայի արդիականությունը: Ժամանակակից աշխարհում պարենային և էկոլոգիական անվտանգության հարցերը արդիական են ինչպես շրջակա միջավայրի էկոլոգիական և կենսաբանական հավասարակշռության պահպանման, այնպես էլ բնակչության համար հարմարավետ պայմանների և կյանքի բարձր որակի ապահովման տեսակյունից: Մասնավորապես, սննդամթերքի և ջրի անվտանգության հարցերը զգալի կարևորություն ունեն և գնալով ավելի մեծ ուշադրություն են գրավում: Հաճախ մարդկանց առողջությունն ու կյանքը կախված են բնական և մարդածին աղտոտիչներից, վնասակար և անցանկալի նյութերի հայտնաբերման արագությունից և նույնականացման հավաստիությունից: Հատկապես կարևորվում են թունաքիմիկատների, տոքսինների, ախտածին բակտերիաների հայտնաբերման և կոնսերվանտների քանակի վերահսկման խնդիրները: Ավանդական մեթոդները ժամանակատար ու աշխատատար են, պահանջում են բավականին բարդ սարքավորումներ և դրանք գործադրող բարձր որակավորմամբ մասնագետներ: Այդ

պատճառով հսկայական ֆինանսական միջոցներ են ծախսվում փորձաքննության և վերահսկողական չափումների համար, ինչը մեծ կորուստներ է պատճառում մասնավորապես սննդարդյունաբերությանը:

Վերջին տարիներին վերոնշյալ խնդիրների լուծման համար լայն տարածում են գտել օպտիկական մեթոդները և ժամանակակից հեռահաղորդակցական տեխնոլոգիաներ կիրառող համապատասխան տեխնիկական միջոցները: Այդպիսի մոտեցումը թույլ է տալիս խնդիրները լուծել տվյալների ստացման մեծ արագությամբ, առանց չափվող օբյեկտի հետ անմիջական շփման և գործնականում իրական ժամանակի ռեժիմում (անգլ.՝ on-line) [2-5, 7, 20, 53-55, 73-79, 94]:

Ժամանակակից ֆոտոսպեկտրաչափները լայն կիրառություն են գտել մարդու գործունեության տարբեր ոլորտներում, ինչպիսիք են շրջակա միջավայրի պաշտպանությունը, նյութագիտությունը, քիմիան, մոլեկուլային կենսաբանությունը, բիոքիմիան՝ ներառյալ ԴՆԹ-ի, ՌՆԹ-ի և սպիտակուցների հետազոտման փորձերը, ֆերմենտային կինետիկան և այլն՝ լուծելով հեռահայտնաբերման և հեռանույնականացման խնդիրներ [1, 4, 6-7, 18-26, 89-94]: Դրանք դիտարկվում են որպես մեծ ճշտությամբ գործիքներ, որոնք շատ զգայուն են հատկապես գունային փոփոխությունների նկատմամբ, ինչի շնորհիվ լայնորեն կիրառվում են նաև արդյունաբերության բազմաթիվ ոլորտներում՝ ներառյալ կիսահաղորդիչների, լազերների, օպտիկական սարքերի արտադրությունը: Դատական փորձաքննության մեջ, ինչպես նաև լաբորատորիաներում դրանք կիրառվում են քիմիական նյութերի և միացությունների ուսումնասիրության համար:

Ֆոտոսպեկտրաչափը, կախված կառուցվածքից, ղեկավարումից և կարգաբերումից, ունակ է որոշելու օպտիկապես թափանցիկ միջավայրերում խառնուրդների տիպերը և դրանց քանակությունները՝ հիմնվելով ալիքի ինտենսիվությունների սպեկտրային կախվածության վրա [1-8, 10, 18-19, 89-94]: Սակայն ներկայումս շուկայում առկա ֆոտոսպեկտրաչափների մեծ մասն ունի մի շարք թերություններ, որոնք սահմանափակում են դրանց կիրառությունը որոշակի բնագավառներում, խոչընդոտում դրանց լայն տարածմանն ու ընդգրկմանը կյանքի նորանոր ոլորտներում (օր.՝ սննդի և ջրի անվտանգությանն ուղղված ստուգումներում): Այդ թերություններից են. 1. մեխանիկական և օպտիկական բարդ և ճշգրիտ հանգույցների կիրառումը և դրանից բխող պարբերական կարգաբերման

անհրաժեշտությունը, 2. հուսալիության պակասը, 3. չափերը և քաշը, 4. գինը, 5. կառավարման, չափումների մշակման և պահպանման, էկրանի վրա սպեկտրային տվյալների պատկերման համար արտաքին հանգույցի անհրաժեշտությունը, 6. ճկունության ցածր աստիճանը, ինչը բարդացնում է նոր կիրառությունների և հնարավորությունների ընդլայնումը: Արդի պահանջների պայմաններում դրանք սահմանափակում են ֆոտոսպեկտրաչափների կիրառությունը: Նշված թերությունները թույլ չեն տալիս ապահովել ներկայումս խիստ պահանջարկված, դաշտային պայմաններում, մեծ տարածությունների վրա իրականացվող հեռավերլուծություն: Այդտեղ անհրաժեշտ են էժան, արագագործ, փոքրաչափ և դյուրակիր, սպեկտրային բարձր զգայնությամբ առաջնային տվիչներ՝ համալրված ազդանշանի մշակման, տեղորոշման և հեռակապի հանգույցներով:

Ներկայումս հրատապ մարտահրավերների հաղթահարման ճանապարհին ուշագրավ է ֆոտոսպեկտրաչափական սարքերի կառուցվածքում հատուկ մշակված, սպեկտրային ընտրողական զգայնությամբ օժտված, հեռագրանցման բարձր ճշտություն ապահովող երկարգեյք ֆոտոդետեկտորային կիսահաղորդչային կառուցվածքների ֆունկցիոնալ հնարավորությունների կիրառությունը: Այդ կառուցվածքներն ու դրանց հնարավոր կիրառություններն են սույն ատենախոսական աշխատանքի հիմնական **հետազոտության առարկան**: Ֆոտոսպեկտրաչափներում երկարգեյք ֆոտոդետեկտորային կիսահաղորդչային կառուցվածքների կիրառությունը պահանջում է հետագա տեսական գնահատումներ, փորձնական հետազոտություններ և նոր լուծումներ՝ հատկապես օպտիկական ինֆորմացիայի հեռահար ստացման և մշակման տեսանկյունից: Անհրաժեշտ է վերլուծել ֆոտոսպեկտրաչափների աշխատանքը, դրանց առանձին հանգույցների առաջացրած խնդիրները ելքային սպեկտրում, վերջիններիս վերացման հնարավոր ուղիները, բազմանպատակ կիսահաղորդչային ֆոտոդետեկտորի ընտրողական զգայնության հնարավորությունները, նյութ-օպտիկական ճառագայթ փոխազդեցության արդյունքում վնասակար նյութերի նույնականացման և դրանց քանակական վերլուծության հնարավորությունները:

Ատենախոսական աշխատանքի նպատակն է երկարգեյք կիսահաղորդչային կառուցվածքների վրա հիմնված, օպտիկապես թափանցիկ օբյեկտների հեռահար

հետազոտության համար նախատեսված դյուրակիր, բարձր զգայնությամբ և արագագործ ֆոտոսպեկտրաչափի մշակումն ու հետազոտությունը:

Նշված նպատակին հասնելու համար **աշխատանքում առաջադրվել և լուծվել են հետևյալ խնդիրները.**

- նոր տիպի սիլիցիումային ֆոտոդետեկտորի մշակում,
- ֆոտոդետեկտորի սպեկտրային ընտրողական զգայնության հնարավորությունների և ֆոտոչափական հատկությունների հետազոտություն,
- ֆոտոդետեկտորում ընթացող ֆոտոէլեկտրոնային պրոցեսների մոդելավորում և հետազոտություն,
- օպտիկական ինֆորմացիոն ազդանշանի մշակման, նույնականացման և ներկայացման խնդիրների սխեմատեխնիկական, սարքային և ծրագրային լուծումների մշակում,
- ժամանակակից հեռահաղորդակցական տեխնոլոգիաների կիրառմամբ օբյեկտների հեռաֆոտոսպեկտրաչափական մոնիտորինգի հնարավորությունների վերլուծություն,
- ստացված արդյունքների կիրառմամբ ֆոտոսպեկտրաչափի նախատիպի պատրաստում և փորձարկում:

Հետազոտության մեթոդները: Ատենախոսությունում օգտագործվել են կիսահաղորդչային սարքերի և թվային տրամաբանական սխեմաների տեսությունների հիմնական դրույթներ, էլեկտրոնային գործընթացների մաթեմատիկական մոդելներ, սխեմատեխնիկական և տրամաբանական մակարդակների լեզուներով նկարագրման միջոցներ, թվային ինտեգրալ սխեմաների (այսուհետ՝ ԻՍ) տրամաբանական նախագծման, մոդելավորման և վերլուծության մեթոդներ:

Գիտական նորույթը: Աշխատանքների իրականացման գործընթացում ստացվել են գիտական նորույթ ներկայացնող արդյունքներ.

- մշակվել է սպեկտրային ընտրողական զգայնությամբ $n^+(Ag\text{-ի սիլիցիդ}) - p(Si) - n^+(Si)$ ֆոտոդետեկտորային կառուցվածք,
- տեսականորեն և փորձնականորեն հետազոտվել են մշակված ֆոտոդետեկտորներում ընթացող ֆոտոէլեկտրոնային գործընթացները,

- ստացվել են արտաքին շեղման լարման ազդեցության պայմաններում ֆոտոդետեկտորային կառուցվածքի ֆոտոհոսանքի սպեկտրային բաշխվածությունը նկարագրող արտահայտություններ,
- մշակվել է ֆոտոդետեկտորում ընթացող ֆոտոէլեկտրոնային գործընթացների մոդելավորման ալգորիթմ,
- վերածրագրավորվող թվային փականների մատրիցի (ՎԹՓՄ, ռուս. ПЛИС, անգլ.՝ FPGA) հիման վրա մշակվել է օպտիկական ազդանշանի թվային մշակման համակարգ,
- առաջարկվել է օպտիկապես թափանցիկ օբյեկտների ֆոտոսպեկտրաչափական հեռամոնիտորինգի համակարգի մոդել՝ ժամանակակից հեռահաղորդակցական տեխնոլոգիաների կիրառմամբ,
- պատրաստվել և փորձարկվել է դյուրակիր ֆոտոսպեկտրաչափի նախատիպը:

Աշխատանքի գործնական արժեքը: Հետազոտությունների արդյունքները և առաջարկված տեխնիկական լուծումները կարող են նպաստել օպտիկապես թափանցիկ օբյեկտների գործիքային վերլուծության համար նախատեսված դյուրակիր ֆոտոսպեկտրաչափների նախագծմանը և պատրաստմանը: Դրանք կարող են մեծ պահանջարկ ունենալ քիմիական և կենսաբանական նյութերի, սննդամթերքի և շրջակա միջավայրի՝ իրական ժամանակում իրականացվող մոնիտորինգի համար: Ֆոտոսպեկտրաչափների կիրառության ոլորտները ներառում են գյուղատնտեսությունը, հոսքային ջրերի վերահսկողությունը, կլինիկական ախտորոշումը, սննդի, լեռնահանքային և տիեզերական արդյունաբերությունները և այլն:

Օբյեկտների հեռամոնիտորինգի տվյալների հավաքագրման/հաղորդման ցանցերի կառուցման գործնական խնդիրները կարևոր նշանակություն ունեն ոչ միայն ճարտարագետների, այլև մյուս մասնագետների, ներառյալ բնապահպանների, համար:

Աշխատանքի արդյունքների ներդրումը: Աշխատանքի արդյունքները կիրառվել են ՀԱՊՀ «Ֆոտոէլեկտրոնային սարքեր օպտիկական կապի համակարգերում» բազային լաբորատորիայում և NATO SFP EAP. SFPP 984403 (2013-2016 թթ.) ծրագրում:

«RD Alfa Microelectronics» ձեռնարկությունում (ք. Ռիգա, Լատվիա) աշխատանքներ են կատարվում մշակված երկարգելք ֆոտոդետեկտորային կառուցվածքների առևտրայնացման ուղղությամբ:

Ստացված արդյունքները կիրառվել են ՀԱՊՀ «Կապի համակարգեր» ամբիոնի ուսումնական գործընթացներում և ներդրվել «Սինոփսիս Արմենիա» ՓԲԸ-ում:

Ստացված արդյունքների հավաստիությունը հաստատված է վերոնշյալ գիտական արդյունքների մաթեմատիկական հիմնավորմամբ և մոդելավորման ու գործնական փորձարկումների արդյունքների համադրմամբ, հետազոտության դասական ու ժամանակակից մեթոդների և վերլուծական միջոցների կիրառմամբ, հետազոտության արդյունքների մանրակրկիտ ստուգմամբ, մոդելավորման արդյունքների հավաստիության գնահատմամբ:

Պաշտպանության են ներկայացվում հետևյալ դրույթները.

- սպեկտրային ընտրողական զգայնությամբ $n+(Ag\text{-ի սիլիցիդ}) - p(Si) - n+(Si)$ ֆոտոդետեկտորային կառուցվածքը,
- էլեկտրամագնիսական ինֆորմացիոն ճառագայթի սպեկտրի կազմը և ինտենսիվությունը, ինչպես նաև ֆոտոդետեկտորային կառուցվածքի ֆոտոհոսանքի և էներգետիկ պարամետրերի՝ արտաքին շեղման լարումից կախվածությունը նկարագրելու համար ստացված մաթեմատիկական արտահայտությունները,
- ֆոտոդետեկտորի ելքային օպտիկական արձագանքի ստացման համար դրանում ընթացող ֆոտոէլեկտրոնային գործընթացների մոդելավորման ալգորիթմները,
- ֆոտոսպեկտրաչափի օպտիկական ինֆորմացիոն ազդանշանի գրանցման, մշակման, նույնականացման և ներկայացման սխեմատեխնիկական, սարքային և ծրագրային լուծումները,
- օպտիկապես թափանցիկ օբյեկտների ֆոտոսպեկտրաչափական հեռամոնիտորինգի համակարգի մոդելը:

Հրապարակումները: Ատենախոսության թեմայով հրապարակվել է 8 գիտական հոդված:

Ատենախոսության կառուցվածքը: Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, 3 գլխից, եզրահանգումից, 95 անուն գրականության ցանկից և 3

հավելվածից: «Հավելված 1»-ը ընդգրկում է ներդրման ակտը, «Հավելված 2»-ը՝ որոշ նյութերի հայտնաբերման եղանակները և այդ նյութերի սպեկտրային բնութագրերի օրինակների վերլուծությունը, «Հավելված 3»-ը՝ նկարների, աղյուսակների և կիրառված հապավումների ցանկերը: Աշխատանքի հիմնական տեքստը շարադրված է 120 էջերում՝ ներառյալ 73 նկար և 11 աղյուսակ: Հավելվածների հետ միասին աշխատանքի ընդհանուր ծավալը 144 էջ է:

ԳԼՈՒԽ 1. Ինֆրակարմիր, տեսանելի և ուլտրամանուշակագույն ճառագայթների սպեկտրաչափությունը

1.1. Չափման սկզբունքը, գործիքների տիպերը և կառուցվածքը

Ֆոտոսպեկտրաչափությունը նյութի անդրադարձման, կլանման կամ թափանցիկության քանակական չափումն է (ինտենսիվության տեսքով)՝ որպես ֆունկցիա ընկնող ալիքի երկարությունից: Ֆոտոսպեկտրաչափությունն առանձնանում է ընդհանուր էլեկտրամագնիսական սպեկտրաչափությունից նրանով, որ գործ ունի մոտակա ինֆրակարմիր (ԻԿ), տեսանելի և մոտակա ուտրամանուշակագույն (ՈւՄ) լույսի ճառագայթների հետ, բայց ամբողջությամբ չի ներառում ժամանակագրական սպեկտրաչափության մեթոդները [1-8, 18-19]: Վերջիններս ֆիզիկայում և ֆիզիկական քիմիայում կիրառվում են նյութերում կամ քիմիական գոյացություններում դինամիկ գործընթացների ուսումնասիրությունների համար. թարթող (իմպուլսային) լազերների միջոցով կարելի է ուսումնասիրել գործընթացներ, որոնք տեղի են ունենում կարճ ժամանակային մասշտաբներում, ինչպես, օրինակ՝ 10^{-16} վայրկյանում [95]:

Էլեկտրամագնիսական ալիքների պայմանական բաժանման միջակայքերը բերված են աղ. 1.1.-ում, իսկ տեսանելի և դրան մոտակա լույսի միջակայքերի ալիքների երկարությունները ցույց են տրված նկ. 1.1.-ում:

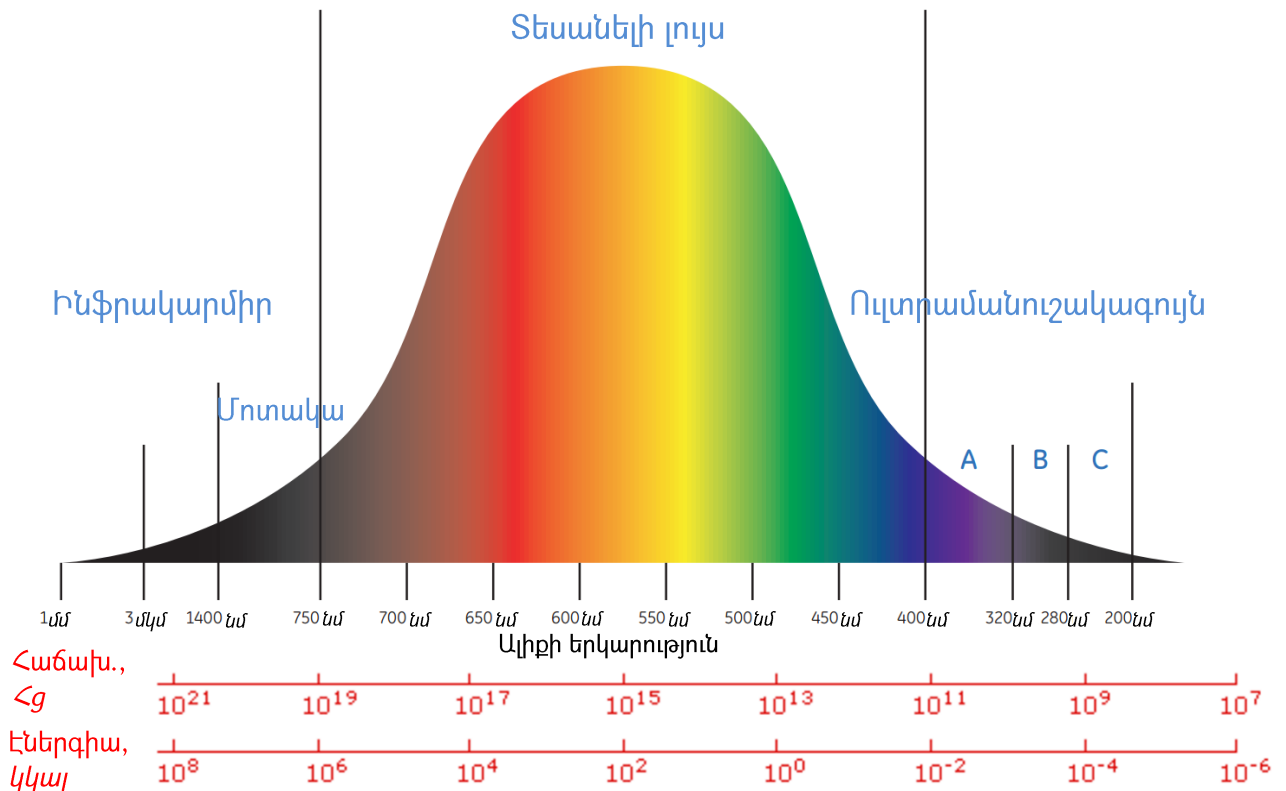
Ֆոտոսպեկտրաչափները լուսաչափներ են, որոնք կարող են չափել լույսի ճառագայթի ինտենսիվությունը՝ որպես ֆունկցիա նրա գույնից (այսինքն՝ ալիքի երկարությունից): Ֆոտոսպեկտրաչափների կարևոր հատկություններից են բացթողման շերտի լայնությունը (ալիքների երկարությունների բազմությունը, որն այն կարող է անցկացնել փորձնական նմուշի միջով), նմուշի թափանցիկության (լույսի բացթողման հնարավորության) կամ նմուշի կողմից լույսի կլանման տոկոսի չափումը [1-19, 45-55, 73-79]: Գործընթացները հիմնականում ուսումնասիրվում են նյութը լուսավորելուց հետո:

Ֆոտոսպեկտրաչափները կիրառվում են հիմնականում թափանցիկության (բացթողման հնարավորության) կամ կլանման գործակիցների չափման համար.

1. լուծույթներում,
2. թափանցիկ կամ անթափանց պինդ մարմիններում (օր.՝ փայլեցված ապակի),
3. գազերում:

Աղյուսակ 1.1. Էլեկտրամագնիսական ալիքային միջակայքերի պայմանական բաժանումը [1]

| Ճառագայթման տիպը | Հաճախականության միջակայքը (<g) | Ալիքի երկարության միջակայքը | Անցման տիպը |
|-------------------------|---|-----------------------------|--|
| Գամմա ճառագայթ | 10^{20} - 10^{24} | $<10^{-12}$ մ | Միջուկային |
| X-ճառագայթ (ռենտգենյան) | 10^{17} - 10^{20} | 1նմ – 1սմ | ներքին էլեկտրոն |
| Ուլտրամանուշակագույն | 10^{15} - 10^{17} | 400նմ – 1նմ | արտաքին էլեկտրոն |
| Տեսանելի | 4 - 7.5×10^{14} | 750նմ – 400նմ | արտաքին էլեկտրոն |
| Մոտակա ինֆրակարմիր | 1×10^{14} - 4×10^{14} | 2.5մկմ - 750նմ | արտաքին էլեկտրոն, մոլեկուլային տատանում |
| Ինֆրակարմիր | 10^{13} - 10^{14} | 25մկմ - 2.5մկմ | մոլեկուլային տատանում |
| Միկրոալիքներ | 3×10^{11} - 10^{13} | 1մմ - 25մկմ | մոլեկուլային պտույտներ, էլեկտրոնի սպինի շրջում |
| Ռադիոալիքներ | $<3 \times 10^{11}$ | > 1 մմ | միջուկի սպինի շրջում |

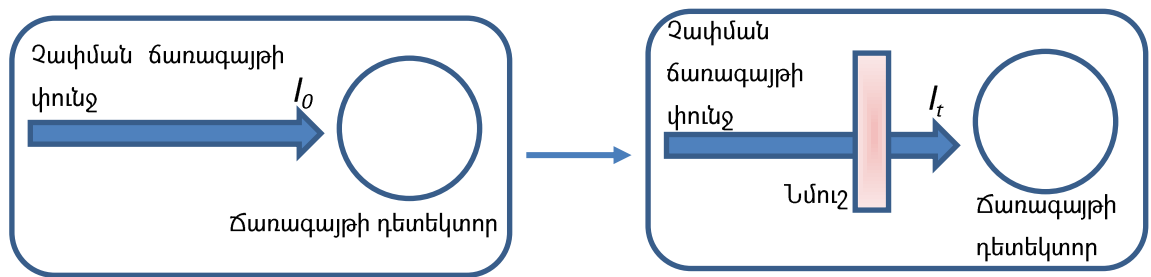


Նկ. 1.1. Ինֆրակարմիրին մոտ, տեսանելի և ուտրամանուշակագույնին մոտ ճառագայթի միջակայքերը [1, 7]

Դրանք կարող են նաև նախագծվել ալիքի երկարության 200 նմ-ից 2500 նմ տիրույթում նշված որևէ միջակայքի ճառագայթի պարամետրերի չափման նպատակով՝ օգտագործելով ղեկավարման և կարգաբերման տարբեր ձևեր: Ծառագայթի այդ միջակայքերում անհրաժեշտ են գործիքի կարգաբերումներ՝ կիրառելով տարբեր տիպի ստանդարտներ, կախված լուսաչափական սահմանմամբ որոշված ալիքի երկարությունից [2-5, 7-8]:

Ֆոտոսպեկտրաչափներում կիրառվող հիմնական սկզբունքը հետևյալն է [8].

1. Պինդմարմնային նմուշների դեպքում նախ չափվում է չափման ընթացքում օգտագործվող լույսի փնջի I_0 նախնական ինտենսիվությունը՝ առանց նմուշի մասնակցության: Այնուհետև նմուշը տեղադրվում է լույսի տարածման ճանապարհին, և չափվում է նմուշի միջով անցած ելքային ճառագայթի ինտենսիվությունը (նկ. 1.2.):



Նկ. 1.2. Պինդ մարմնում կիրառվող ֆոտոսպեկտրաչափության սկզբունքը [8]

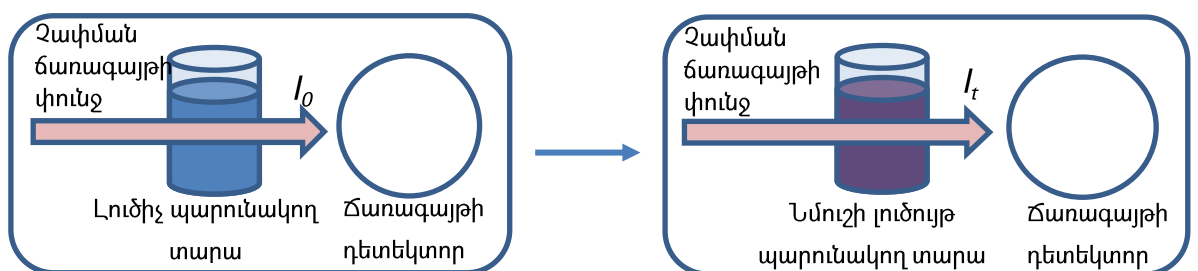
2. Լուծվող նմուշների դեպքում նախ մաքուր լուծիչը պարունակող տարան տեղադրվում է ճառագայթի տարածման ճանապարհին, և չափվում է ելքային ճառագայթի ելակետային ինտենսիվությունը՝ I_0 -ն, ապա, նմուշը լուծիչի մեջ լուծելով, ստացված լուծույթը տեղադրվում է լույսի տարածման ճանապարհին, և կրկին չափվում է ելքային ճառագայթի ինտենսիվությունը: Ծառագայթի բացթողման T հնարավորությունը արտահայտվում է (1.1) բանաձևով, սակայն լուծվող նմուշների դեպքում ավելի լայնորեն կիրառվում է կլանումը, որն արտաձևվում է լոգարիթմական բանաձև (1.2)-ով.

$$T = \frac{I_t}{I_0}, \quad (1.1) \quad Abs = \lg \frac{1}{T}, \quad (1.2) \quad Abs = \varepsilon CL: \quad (1.3)$$

Բանաձև (1.3)-ը կոչվում է «Լամբերտ-Բիիրի օրենք» և արտահայտում է կապը Abs կլանման (միավոր չունի) և նմուշի C խտության (կոնցենտրացիա, միավորը՝ մգ/մլ)

միջև: Կլանման և խտության միջև գոյություն ունեցող համամասնական կապն արտահայտվում է բանաձև (1.3)-ով և ձևավորում է քանակական վերլուծության հիմքը: ε -ը նմուշի բնութագրիչ կլանման գործակիցն (միավորը՝ $մլ \cdot մգ^{-1} \cdot սմ^2$) է, որը հաստատուն է տվյալ նյութի համար. ընկնող լույսի ճառագայթից 75 % կլանող (25 %-ով թափանցիկ) նմուշը միշտ կլանելու է 75 %, անկախ ընկնող լույսի ինտենսիվությունից: L-ը տարայի օպտիկական ճանապարհի երկարությունն է (սովորաբար սմ-երով): Եթե նյութի կոնցենտրացիան արտահայտվում է լուծիչի մեջ լուծված վիճակում հետազոտվող նյութի մոլերով (միավորը՝ $մոլ \cdot լ^{-1}$), ապա ε -ը սահմանվում է որպես նմուշի մոլային կլանման գործակից (միավորը՝ $լ \cdot մոլ^{-1} \cdot սմ^2$): Տարբեր նյութերի կլանումները համեմատելու համար անհրաժեշտ է կլանման արժեքը ճշտաբերել ըստ մոլային կոնցենտրացիայի, քանի որ նմուշի կողմից լույսի կլանումը համեմատական է դրա տարածման ճանապարհին եղած կլանող մոլեկուլների քանակին (մոլային կոնցենտրացիա): Հարմարության նկատառումով նմուշի կոնցենտրացիան հաճախակի կարգավորվում է՝ $C = 10 \text{ մգ/մլ}$ (այսինքն՝ 1 %-անոց լուծույթ), իսկ օպտիկական ճանապարհի երկարությունը՝ $L = 1 \text{ սմ}$ արժեքով, ինչի արդյունքում ստացված հատուկ կլանումը նշանակվում է $Abs_{1\%}^{1\text{cm}}$: Նկ. 1.2.-ում պատկերված չափման մեթոդը վերացնում է տարայի մակերեսից անդրադարձման և լուծիչի կլանման ազդեցությունը, և դրանով ապահովվում է այն, որ չափվի միայն նմուշով պայմանավորված կլանումը [8]:

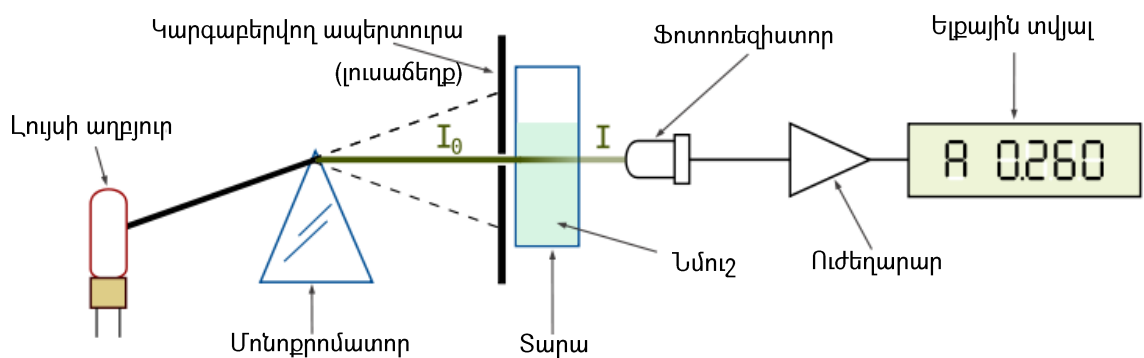
Որպես չափնամ ճառագայթի աղբյուր սովորաբար օգտագործվում է միալիքային (մոնոքրոմատիկ) լույսը (նկ. 1.2. և 1.3.): Այն բաղկացած է միայն մեկ ալիքի երկարությամբ լույսից: Ավելի ճգրիտ, այն ունի շատ նեղ սպեկտրային բացթողման շերտ: Օրինակ, 500 նմ ալիքի երկարությամբ և 2 նմ սպեկտրային բացթողման շերտով մոնոքրոմատիկ լույսը ծածկում է 499-ից մինչև 501 նմ ալիքի երկարություններով միջակայքը (լրիվ լայնությունը մաքսիմումի կետում):



Նկ. 1.3. Լուծույթում կիրառվող ֆոտոսպեկտրաչափության սկզբունքը [8]

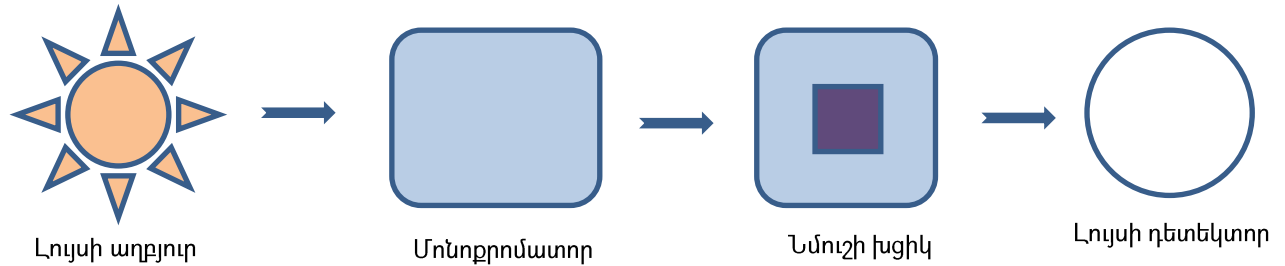
Ֆոտոսպեկտրաչափների կառուցվածքը: Կան սարքերի երկու հիմնական տիպեր. միաճառագայթ և երկճառագայթ: Երկճառագայթ ֆոտոսպեկտրաչափը համեմատում է երկու տարբեր ճանապարհներով տարածված լույսի ճառագայթների ինտենսիվությունները. տարածման մի ճանապարհն անցնում է նախնական (մաքուր, էտալոնային) նմուշի միջով, իսկ երկրորդը՝ փորձարկվող նմուշով: Միաճառագայթ ֆոտոսպեկտրաչափը չափում է ճառագայթի հարաբերական ինտենսիվությունը փորձարկվող նմուշի ներմուծումից առաջ և հետո: Երկճառագայթ գործիքներից շատերը պետք է պարտադիր կարգաբերվեն «գրոյացում» կոչվող գործողության միջոցով՝ դետեկտորի ելքում երկու ճառագայթների առաջացրած (չափումից առաջ) հոսանքները բալանսավորելու նպատակով: Ելակետային (լուծիչ) նյութի թափանցելիությունը սահմանվում է որպես հիմնարար ելակետային արժեք, և մնացած բոլոր նյութերի չափվող թափանցելիությունները գրանցվում են այդ «գրոյացված» նյութի համեմատ հարաբերական արժեքներով [1]:

Չնայած որ երկճառագայթ ֆոտոսպեկտրաչափով ստացված և համեմատության վրա հիմնված չափումները ավելի հեշտ են ստացվում և կայուն են, միաճառագայթ գործիքները կարող են ունենալ ավելի լայն դինամիկ տիրույթ և օպտիկապես ավելի պարզ են ու չափերով ավելի կոմպակտ: Ավելին, որոշ հատուկ կիրառությունների պարագայում, օրինակ՝ մանրադիտակների և աստղադիտակների մեջ, միաճառագայթ գործիքները ավելի նախընդրելի են: Միաճառագայթ ֆոտոսպեկտրաչափի պարզեցված կառուցվածքը բերված է նկ. 1.4.-ում: Կառուցվածքի անբաժան բաղկացուցիչ մասեր են նկ. 1.5.-ում պատկերված լույսի աղբյուրը, մոնոքրոմատորը, նմուշի խցիկը և դետեկտորը [8]:



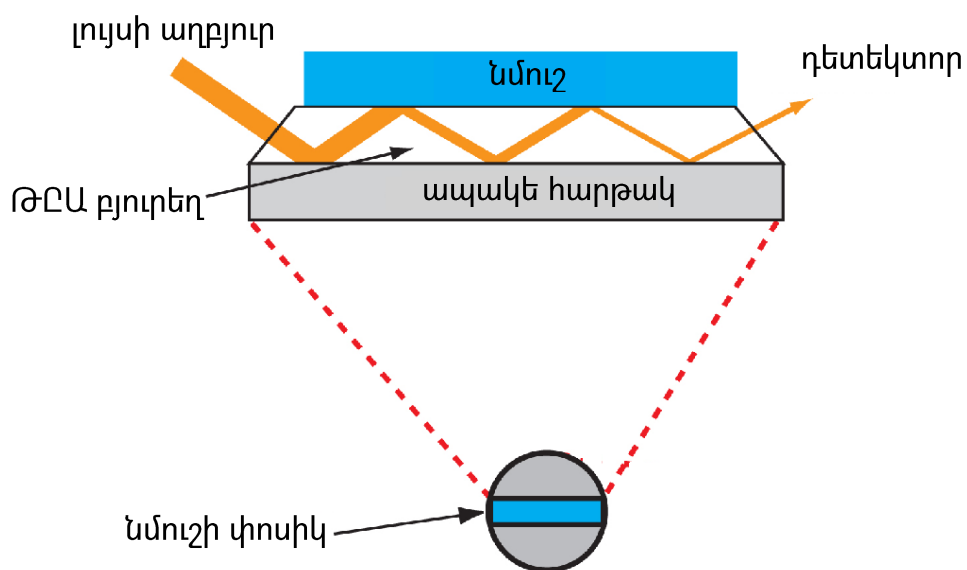
Նկ. 1.4. Միաճառագայթ ֆոտոսպեկտրաչափի պարզեցված կառուցվածքը [1]

Գոյություն ունեն նաև այնպիսի գործիքներ, որոնցում լույսի բաժանումը առանձին ալիքի երկարությունների տեղի է ունենում նմուշի միջով անցնելուց հետո: Այդ մեթոդը հիմնականում կիրառվում է արագագործ լուսաչափության գործիքներում, որոնցում օգտագործվում են բազմաթիվ դետեկտորներից կազմված մատրիցներ:



Նկ. 1.5. Ֆոտոսպեկտրաչափի հիմնական կառուցվածքային հանգույցները [8]

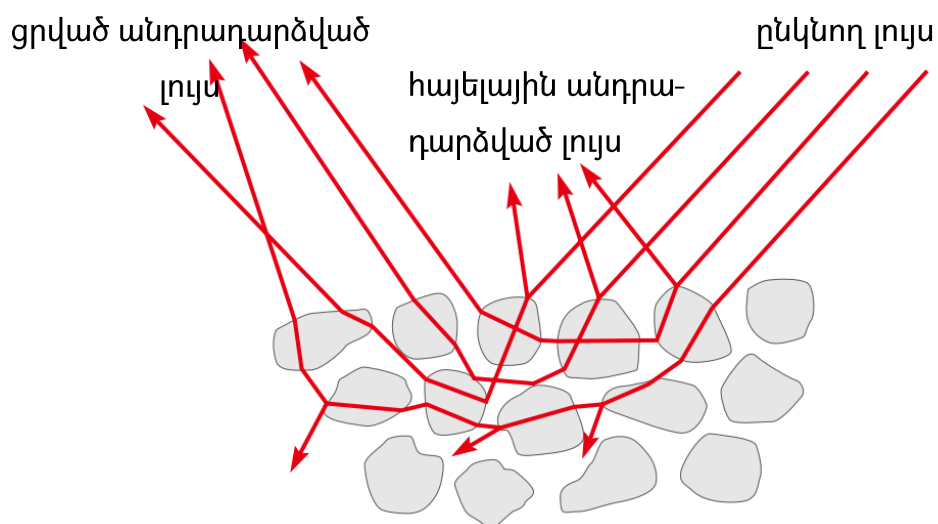
ՈւՄ և տեսանելի միջակայքի սպեկտրաչափության միջոցով հեղուկ նմուշների հետազոտության եղանակներից մեկը, կլանման կամ թափանցիկության գործակցի փոխարեն, թուլացած ազդանշանի **ընդհանուր անդրադարձման գործակցի** (ԹԸԱ, անգլ.՝ ATR) չափումն է: Նկ. 1.6.-ը ցույց է տալիս այդ սկզբունքով աշխատող գործիքի կառուցվածքը և չափման սկզբունքը: ԹԸԱ սկզբունքով գործիքի նմուշի խցիկը բաղկացած է բեկման բարձր ցուցիչով նյութից, ինչպիսիք են ZnSe-ը կամ ադամանդը՝ տեղադրված ցածր բեկման ցուցիչով հարթակի և ցածր բեկման ցուցիչով նմուշի միջև:



Նկ. 1.6. ԹԸԱ սկզբունքով աշխատող գործիքի կառուցվածքը, չափման սկզբունքը [6]

Լույսի աղբյուրից ելնող ճառագայթը մտնում է ԹԸԱ բյուրեղի մեջ, որտեղ մինչև բյուրեղից դուրս գալը ենթարկվում է ներքին ընդհանուր անդրադարձումների շարքի: Յուրաքանչյուր անդրադարձման ընթացքում ճառագայթը մի քանի մկմ-ով թափանցում է նմուշի խորքը: Արդյունքում ճառագայթի ինտենսիվությունն ընտրողաբար թուլանում է այն ալիքի երկարությունների դեպքում, որը կլանվում է նմուշի կողմից [6]: ԹԸԱ սկզբունքով ստացված սպեկտրային տվյալները նման են, բայց նույնական չեն նմուշի միջով թափանցող ճառագայթի կլանման չափումից ստացված սպեկտրային տվյալների հետ: Պինդ մարմինները նույնպես կարող են հետազոտվել ԹԸԱ մեթոդով, բայց այդ դեպքում պետք է ճնշման միջոցով ապահովել նմուշի հպումը ԹԸԱ բյուրեղի հետ: Այս սկզբունքով կարելի է չափել այնպիսի պինդ մարմիններ, ինչպիսիք են պոլիմերները, մանրաթելերը, գործվածքները, փոշիները և կենսաբանական հյուսվածքների նմուշները:

Անդրադարձման սպեկտրաչափության մեկ այլ մեթոդ է **ցրված անդրադարձման չափումը** [9]: Այս դեպքում լույսն անդրադառնում է կոպիտ մակերևույթից, ինչպիսիք են փոշիները: Նկ. 1.7.-ը ցույց է տալիս փոշիացված նմուշի վրա ընկնող լույսի անդրադարձման պատկերը: Փոշիացված նմուշից անդրադառնում է երկու տիպի լույս՝ նմուշի մակերևույթից անդրադարձած հայելային լույս և նմուշի մեջ ներթափանցելուց, շարունակաբար բեկվելուց, տարածվելուց և ներսում ցրվելուց հետո՝ դրա մակերևույթից ճառագայթված, ցրված լույս:



Նկ. 1.7. Մոնոքրոմատիկ լույսի անդրադարձումը փոշիացված նմուշից [9]

Նմուշի չափման ժամանակ գրանցվում է այդ երկու տիպի անդրադարձած լույսերի արդյունարար խառնուրդը: Սակայն եթե նմուշի մասնիկների չափը բավականաչափ փոքր է, ապա հայելային անդրադարձման ազդեցությունը նվազում է: Քանի որ անդրադարձված ցրված լույսն անցնում է նմուշի միջով, ապա դրա կլանման արդյունարար սպեկտրը նման է նմուշի միջով թափանցող ճառագայթի կլանման չափումից ստացված սպեկտրին: Սակայն լույսի տարածման ուղղությունը և հեռավորությունը տարբեր են, հետևաբար, «Լամբերտ-Բիիրի» օրենքը (բանաձևեր (1.2) և (1.3)) կիրառելի չէ: Ցրված անդրադարձման լույսի կլանումը հետազոտվել է Կուբելայի և Մունկի կողմից՝ հիմնված որոշակի ուղղությունից ընկնող լույսի դիմաց այն ցրող և կլանող մասնիկները կազմված շերտի (տրված հաստությամբ) տեղակայման մոդելի վրա [9]:

$$f(R_{\infty}) = \frac{(1-R_{\infty})^2}{2R_{\infty}} = \frac{K}{S} : \quad (1.4)$$

$f(R_{\infty})$ -ը կոչվում է «Կուբելկա-Մունկի» ֆունկցիա, որտեղ R_{∞} -ը նմուշի բացարձակ անդրադարձման գործակիցն է, K -ն՝ կլանման գործակիցը և S -ը՝ ցրման գործակիցը: Ցրման գործակիցը փոփոխվում է մասնիկների չափից և խտությունից կախված: Գործնական չափումների ժամանակ դժվար է որոշել բացարձակ անդրադարձման գործակիցը: Այդ պատճառով որպես ստանդարտ փոշի օգտագործվում է բարիումի սուլֆատը ($BaSO_4$) կամ չափման միջակայքում զրոյին մոտ K կլանման գործակցով (այսինքն՝ «1»-ին մոտ R_{∞} -ով) այլ նյութ: Դրա նկատմամբ հարաբերական անդրադարձման գործակիցը նկարագրվում է (1.5) հավասարմամբ.

$$r_{\infty} = \frac{R_{\infty}(\text{նմուշ})}{R_{\infty}(\text{ստանդարտ փոշի})} : \quad (1.5)$$

Փոշիացված նմուշի r_{∞} -ի հաշվարկման համար սովորաբար կիրառում են լուսաչափական ինտեգրող գունդ: Կիրառելով r_{∞} -ը՝ «Կուբելկա-Մունկի» ֆունկցիան կարտահայտվի հետևյալ տեսքով.

(1.6)

$$f(r_{\infty}) = \frac{(1-r_{\infty})^2}{2r_{\infty}} = \frac{K}{S} :$$

(1.6) հավասարման հավաստիությունը հատատվել է փորձնական ճանապարհով՝ Կորտումի կողմից [9]: Չնայած, որ այն ներառում է ցրման գործակիցը, որը չի մտնում նմուշի միջով թափանցող ճառագայթի կլաման հաշվարկման մեջ, ցրված անդրադարձման ձևափոխության համար «Կուբելկա-Մունկի» ֆունկցիայի կիրառումը թույլ է տալիս ստանալ արժեքներ, որոնք համեմատական են կլանման գործակցին և կոնցենտրացիային:

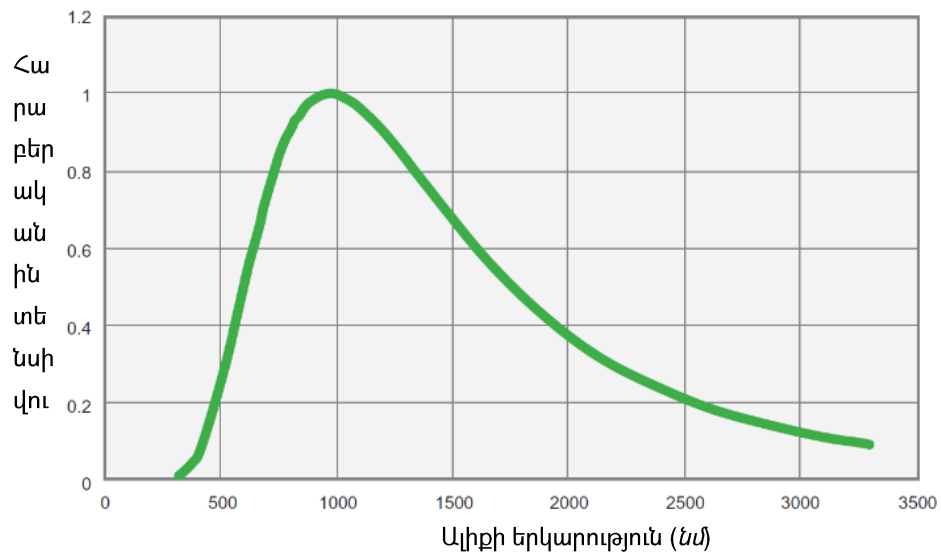
Լույսի աղբյուրներ: Ֆոտոսպեկտրաչափներում կիրառվող լույսի աղբյուրների ցանկալի հատկությունները հետևյալն են [8].

1. պայծառությունը՝ ալիքի երկարությունների լայն տիրույթում,
2. կայունությունը՝ ժամանակի ընթացքում,
3. ծառայության ժամկետի երկարությունը,
4. ցածր գինը:

Գոյություն չունի վերոնշյալ բոլոր պայմանները բավարարող իդեալական լույսի աղբյուր, ուստի տվյալ պահին տեսանելի և ինֆրակարմիրին մոտ լույսի տիրույթների համար ամենալայն կիրառություն ունեն հալոգենային իսկ ուլտրամանուշակագույն տիրույթի համար՝ դեյտերիումային լամպերը: Սրանց հետ միասին երբեմն օգտագործվում են նաև քսենոնային լամպեր:

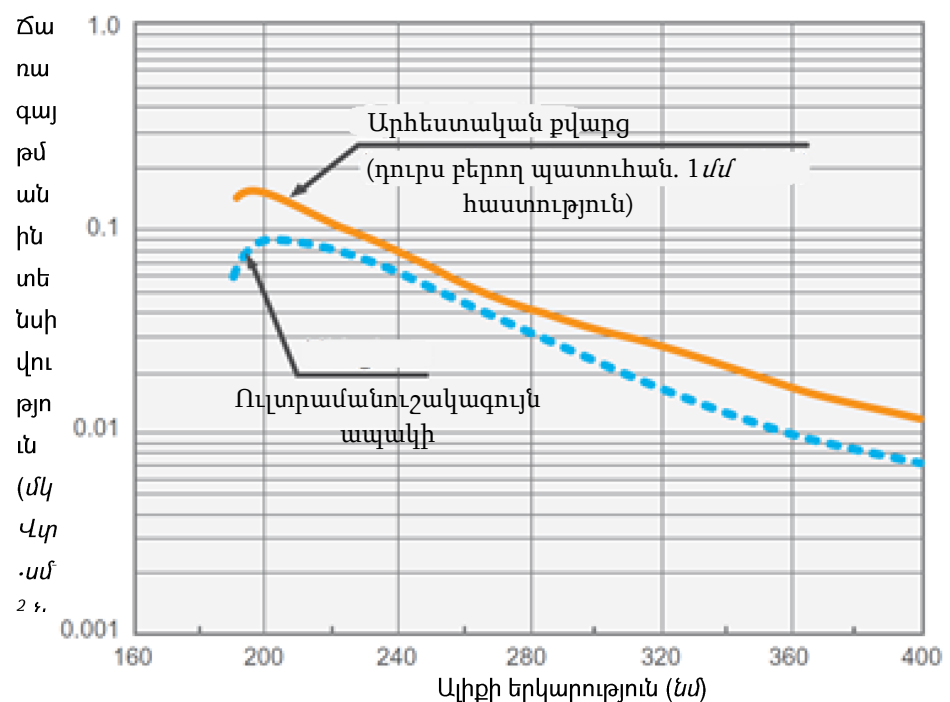
Հալոգենային լամպերում լույսի ճառագայթման սկզբունքը նույնն է, ինչ սովորական շիկացման լամպերում: Էլեկտրական հոսանքն անցնում է հաղորդչի պարույրի միջով, այն տաքանում է և ճառագում լույս: Հալոգենային լամպի տարան լցված է իներտ գազով՝ հալոգենի փոքր պարունակությամբ: Հալոգենիդը նպաստում է, որ աշխատանքի ընթացքում գոլորշիացած վոլֆրամը վերադառնա շիկացման թելիկի վրա: Դրա շնորհիվ ստացվում է պայծառ լույսի երկարակյաց աղբյուր: Ճառագայթման ինտենսիվության բաշխումը կարելի է մոտարկել Պլանկի ճառագայթման օրենքով [8]: Նկ. 1.8.-ում ցույց է տրված ճառագայթման ինտենսիվության բաշխումը 3000 Կ ջերմաստիճանում: Հալոգենային լամպն ունի ժամանակային գերազանց կայունություն, մոտ 2000 ժամ ծառայության ժամկետ և համեմատաբար էժան գին: Այն ունի վերոնշյալ 1...4 հատկանիշներից յուրաքանչյուրի հարաբերականորեն բարձր

մակարդակ: **Դեյտերիումային լամպը** լիցքաթափման լույսի աղբյուր է, որի տարան լցված է մի քանի հարյուր պասկալ ճնշման տակ գտնվող դեյտերիումով (D_2):



Նկ. 1.8. Հալոգենային լամպի ճառագայթման ինտենսիվության բաշխումը (3000 Կ) [8]

Նկ. 1.9.-ը ցույց է տալիս դեյտերիումային լամպի ճառագայթման ինտենսիվության բաշխումը [8]: Չնայած, ընդհանուր առմամբ, 400 նմ-ը կարճալիքային օգտագործման մոտավոր սահմանն է (մարման աստիճանը այս տիրույթում բավականաչափ ցածր է), սակայն դրանից ավելի մեծ երկարությամբ ալիքները նույնպես կիրառվում են: Այդ տիրույթում կան բազմաթիվ սպեկտրային պայծառ գծեր: Դրանց թվում հատկապես ինտենսիվ են 486.0 և 656.1 նմ սպեկտրային գծերը:



Նկ. 1.9. Դեյտերիումային լամպի ճառագայթման ինտենսիվության բաշխումը [8]

Դրանք կարող են օգտագործվել ֆոտոսպեկտրաչափներով ալիքի երկարությունների չափումները կարգաբերելու համար: Կիրառելիության սահմանափակումը կարճալիքային տիրույթում որոշվում է պատուհանի նյութի թափանցիկությամբ՝ լույսի բացթողման հնարավորությամբ: Նկ. 1.9.-ում որպես օրինակ բերված են գրաֆիկներ այն դեպքերի համար, երբ որպես պատուհանի նյութ կիրառվել են արհեստական քվարց և ուլտրամանուշակագույն ապակի:

Ներնստի շիկացման թելիկը (ԻԿ միջակայք) պատրաստվում է հազվադեպ հանդիպող հողային օքսիդներից՝ սնամեջ գլանի տեսքով: Գլանի ծայրերի պալատինե ելուստներով հանվում է էլեկտրական հոսանքը: Ներնստի շիկացման թելիկները շատ փխրուն են: Դրանք ունեն էլեկտրական դիմադրության ջերմաստիճանային կախվածության մեծ բացասական գործակից և պետք է նախապես տաքացվեն, որպեսզի դառնան հաղորդիչ [17]:

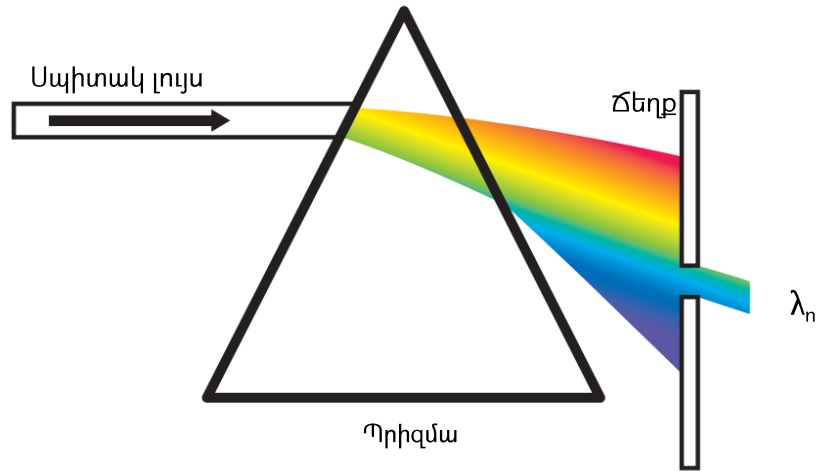
Գլոբարային աղբյուր (ԻԿ միջակայք): Գլոբարը սիլիցիումի կարբիդի ձող է (5 մմ հաստությամբ և 50 մմ երկարությամբ), որն էլեկտրականապես տաքացվում է մինչև 1500 Կ-ի աստիճան: Էլեկտրական հպակները պետք է հովացվեն ջրով՝ կայծերի առաջացումը բացառելու համար: Ելքային սպեկտրը համադրելի է Ներնստի շիկացման թելիկի սպեկտրի հետ՝ բացառությամբ կարճալիքային հատվածի (5000 նմ-ից փոքր) [17]:

Կոհերենտ լույսի տարբեր ալիքի երկարություններով **պինդմարմնային լազերները** լայնորեն օգտագործվում են տարբեր տիպի սպեկտրաչափներում և՛ նյութերի կլանման հատկությունների ուսումնասիրության ընթացքում, և՛ գործիքների կարգաբերման ժամանակ՝ որպես էտալոնային աղբյուր:

Ածխածնի երկօքսիդով կարգավորվող լազերն օգտագործվում է որպես ԻԿ ճառագայթի աղբյուր՝ որոշ մթնոլորտային աղտոտիչների մոնիտորինգի և ջրային լուծույթների կլանման հատկությունների ուսումնասիրության համար:

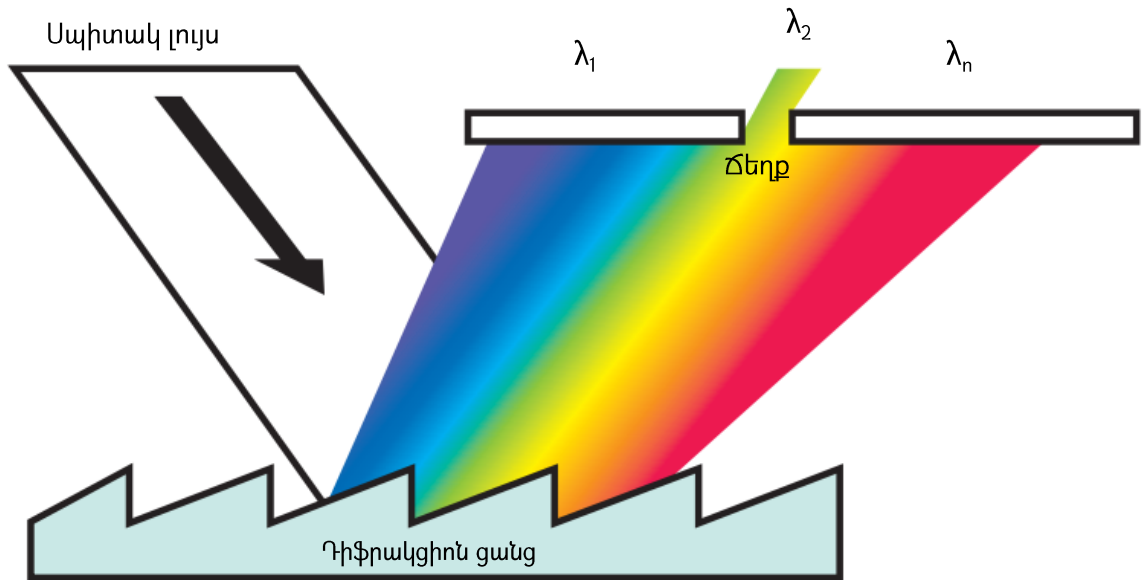
Մոնոքրոմատորը սարք է, որը կիրառվում է տարբեր ալիքի երկարություններից կազմված լույսը այդ ալիքի երկարություններին համապատասխանող բաղկացուցիչ մասերի բաժանելու համար: Այն էլեմենտը, որը բաժանում է լույսը առանձին ալիքների,

կոչվում է **ցրող էլեմենտ**: Պրիզմաները և դիֆրակցիոն ցանցերը տիպիկ ցրող էլեմենտներ են: Պրիզմաները (նկ. 1.10.) նախկինում ընդունված էին որպես ֆոտոսպեկտրաչափներում հիմնականում կիրառվող ցրող էլեմենտներ, բայց ներկայումս դրանց փոխարինում են դիֆրակցիոն ցանցերը [8]:



Նկ. 1.10. Պրիզմայով լույսի ցրման օրինակ [5]

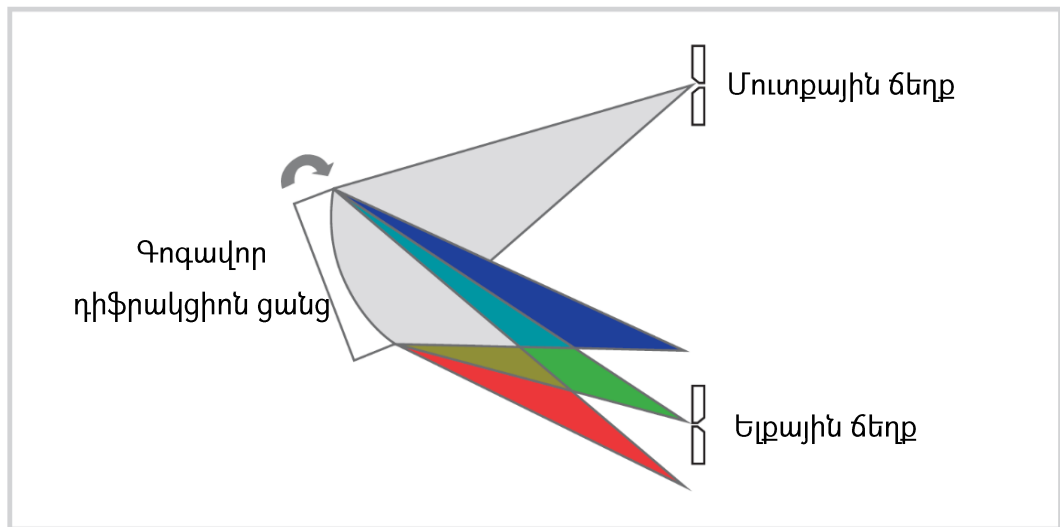
Ֆոտոսպեկտրաչափներում կիրառվող դիֆրակցիոն ցանցերը 1 մ² մակերեսին հավասար հեռավորությունների վրա ունեն մի քանի հարյուրից մինչև մոտավորապես 2000-ի հասնող զուգահեռ փոսիկներ: Լայնական հատույթի օրինակը բերված է նկ. 1.11.-ում: Եթե դիֆրակցիոն ցանցը բաց է սպիտակ լույսի ճառագայթի առաջ, ապա ինտերֆերենցիայի շնորհիվ սպիտակ լույսը ցրվում է փոսիկներին ուղղահայաց ուղղությամբ, և լույսի որոշակի ալիքի երկարությամբ բաղադրիչը անդրադառնում է միայն որոշակի անկյան տակ:



Նկ. 1.11. Լույսի ցրումը (դիսպերսիա) դիֆրակցիոն ցանցի միջոցով [6]

Դա ցուցադրված է նկ. 1.11.-ում: λ_1 -ից λ_n -ը ներկայացնում են ալիքի երկարությունները: Ալիքի երկարությունները անընդհատ փոփոխվում են, այդ պատճառով սպիտակ լույսի դիմաց բաց դիֆրակցիոն ցանցը ծիածանափայլ տեսք ունի:

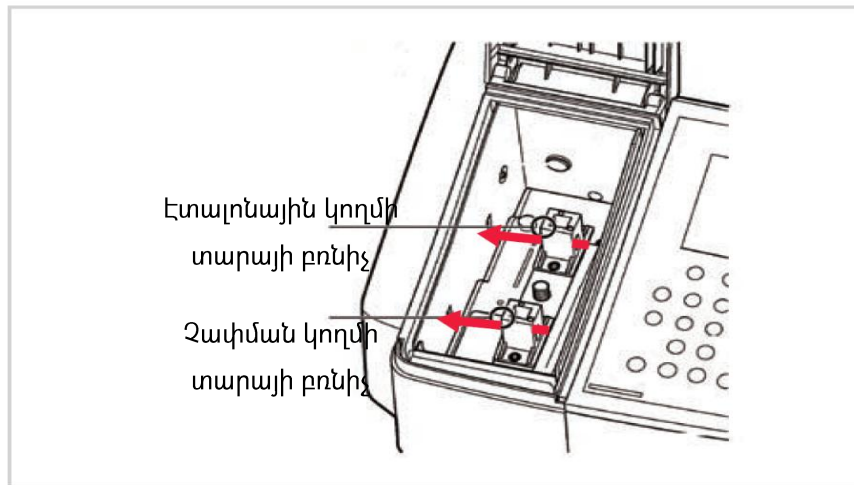
Մոնոքրոմատորը կազմված է մուտքային ճեղքից, ելքային ճեղքից և դիֆրակցիոն ցանցից, ինչպես նաև նրանց հետ կցված հայելիներից և այլ մասերից: Գոյություն ունեն էլեմենտների դասավորությամբ տարբերվող մոնոքրոմատորների տարբեր տիպեր: Նկ. 1.12.-ը ցույց է տալիս այն պարզագույն կառուցվածքը, որի դեպքում կիրառված է գոգավոր դիֆրակցիոն ցանց: Պտտելով ելքային գոգավոր դիֆրակցիոն ցանցը՝ ելքային ճեղքից պրոյեկցվում է փոփոխվող ալիքի երկարությամբ լույս:



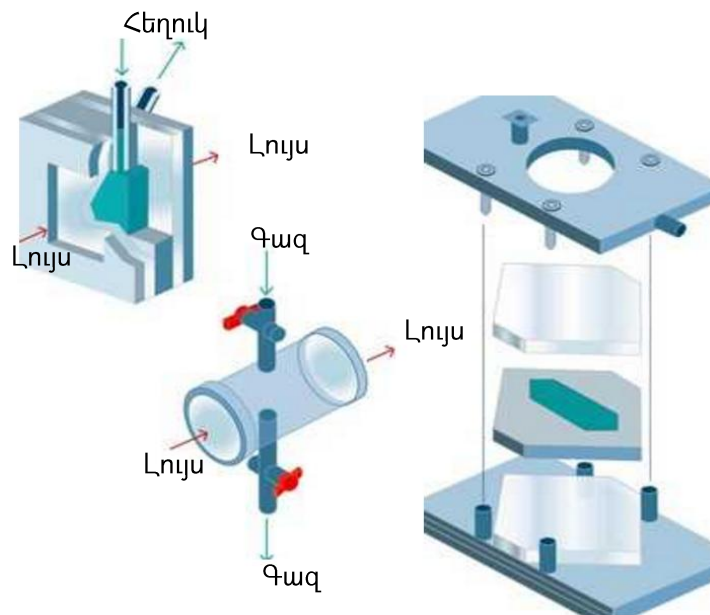
Նկ. 1.12. Գոգավոր դիֆրակցիոն ցանցով ֆոտոսպեկտրաչափի գրաֆիկական պատկերը [8]

Նմուշի խցիկի ստանդարտ օրինակը բերված է նկ. 1.13.-ում: Կարելի է տեսնել, որ լույսի երկու ճառագայթներ (մատնանշված կարմիր սլաքներով) անցնում են խցիկի միջով, և հետևաբար՝ սա «երկճառագայթ ֆոտոսպեկտրաչափի» նմուշի խցիկ է: Սպեկտրաչափից դուրս եկող մոնոքրոմատիկ լույսը մինչև նմուշի խցիկ մտնելը բաժանվում է 2 ճառագայթի: Այն ֆոտոսպեկտրաչափը, որում միայն մեկ լույսի ճառագայթ է անցնում նմուշի խցիկի միջով, կոչվում է «միաճառագայթ ֆոտոսպեկտրաչափ»: Ստանդարտ կառուցվածքի դեպքում նմուշի խցիկը պարունակում է տարաների բռնիչներ, որոնք պահում են օպտիկական ճանապարհի 10 մմ երկարությամբ քառանկյուն տարաներ, ինչպես ցույց է տրված նկ. 1.13.-ում: Տարատեսակ լրացուցիչ մասերն ամրացվում են՝ փոխարինելով այդ տարաների բռնիչները կամ նմուշների խցիկն ամբողջությամբ: Ֆոտոուժեղարարներ օգտագործող միջին և բարձր կարգի ֆոտոսպեկտրաչափների շարքում կան նմուշների խցիկի մեծ չափերով մոդելներ, որոնք հնարավորություն են տալիս հետազոտել մեծ չափերով նմուշներ կամ ամրակցել լրացուցիչ մեծ մասեր [8]:

Գազի կլանման սպեկտրը կարելի է ստանալ՝ վակուումային խցիկում (կյուվետ) նմուշի ընդլայնման դեպքում: Խցիկի օրինակը բերված է նկ. 1.14.-ում (մեջտեղում) [17]:



Նկ. 1.13. Նմուշի խցիկի օրինակ [8]



Նկ. 1.14. Հեղուկ, գազային և պինդմարմնային նմուշների տեղադրումը խցիկում [17]

Մանր մասնիկների վերածված չլուծվող պինդ մարմինների կողմից լույսի կլանումը կարող է ուսումնասիրվել՝ պատրաստելով մածուկ կամ մածուցիկ խառնուրդի բարակ շերտ՝ տեղադրված լուսաթափանց թիթեղների միջև: Նմուշի խցիկի ներսում այդպիսի նմուշի տեղադրման օրինակը բերված է նկ. 1.14.-ում (աջից):

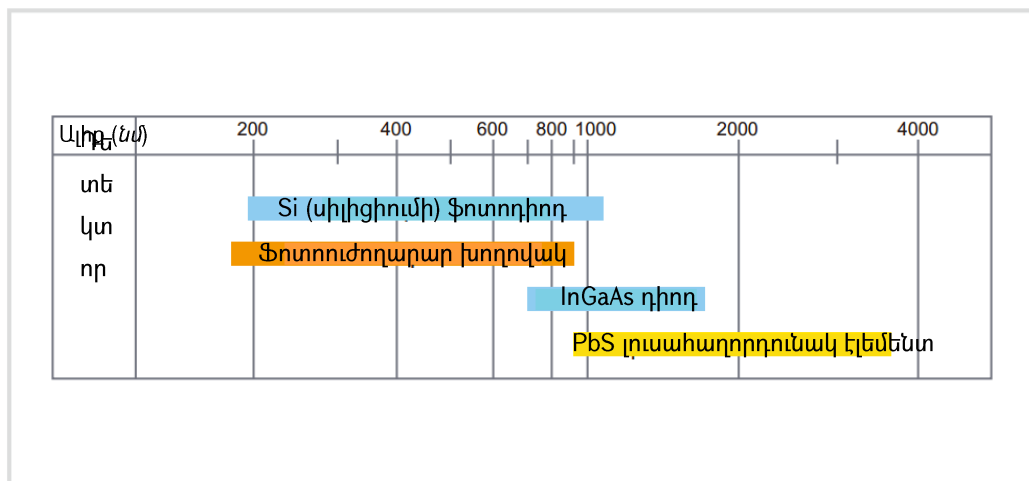
Լուծվող նմուշների լուծույթները սովորաբար պատրաստվում են **անոթների մեջ** և կախված հետաքրքրություն ներկայացնող ոլորտից՝ դրանք կարող են

պատրաստված լինել ապակուց, պլաստիկից (տեսանելի միջակայքի դեպքում) կամ քվարցից (մոտակա ուլտրամանուշատակույն միջակայքի դեպքում) (աղ. 1.2.):

Աղյուսակ 1.2. Սպեկտրաչափական գործիքներում կիրառվող նյութեր [5-6, 10, 90-94]

| Միջակայքը | Հայելիներ | Ոսպնյակներ | Պատուհաններ |
|-----------|-------------|------------------------------------|--|
| ՈւՄ | ալյումին | հալելցված քվարց, շափյուղա (սապֆիր) | հալելցված քվարց, շափյուղա |
| Տեսանելի | ալյումին | ապակի, շափյուղա | ապակի, շափյուղա |
| Մոտակա ԻԿ | ոսկի | ապակի, շափյուղա | ապակի, շափյուղա |
| ԻԿ | պղինձ, ոսկի | CaF ₂ , ZnSe | NaCl, BaF ₂ , CaF ₂ , ZnSe |

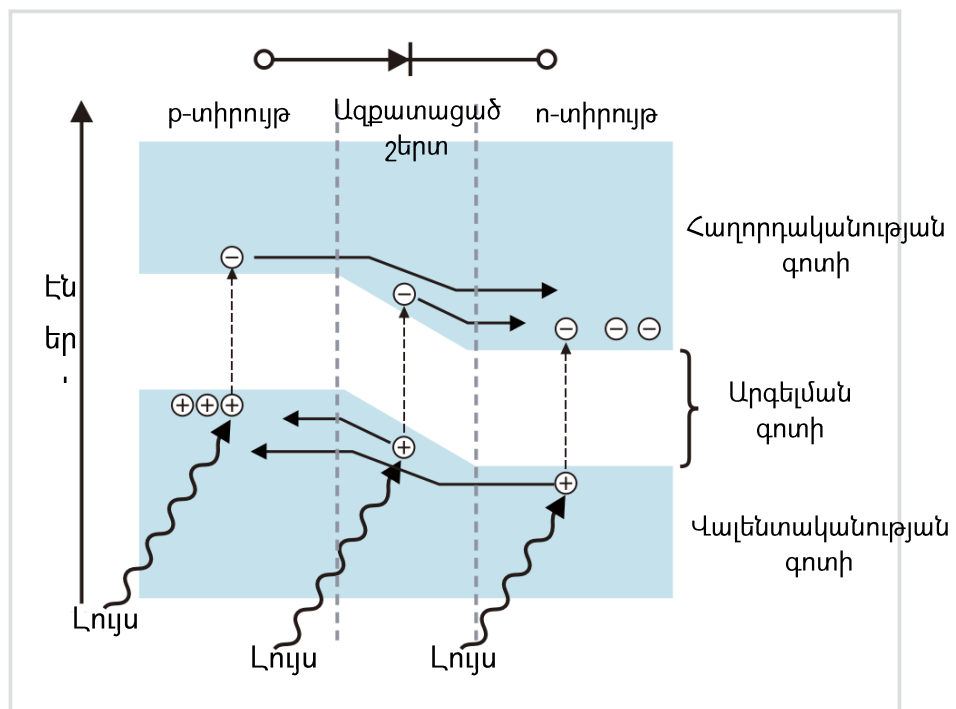
Դետեկտորներ: Լույսի ճառագայթը, անցնելով նմուշների խցիկի միջով, ընկնում է դետեկտորի վրա, որը ֆոտոսպեկտրաչափի վերջին տարրն է: Ուլտրամանուշակագույն և տեսանելի լույսի համար նախատեսված ֆոտոսպեկտրաչափներում կիրառվող տիպիկ դետեկտորներն են **Ֆոտոուժեղարարներն ու կիսահաղորդչային** (օր.՝ սիլիցիումային) **Ֆոտոդիոդները** (նկ. 1.15.) [10]:



Նկ. 1.15. Դետեկտորների գրանցման ալիքի երկարությունների միջակայքը [10]

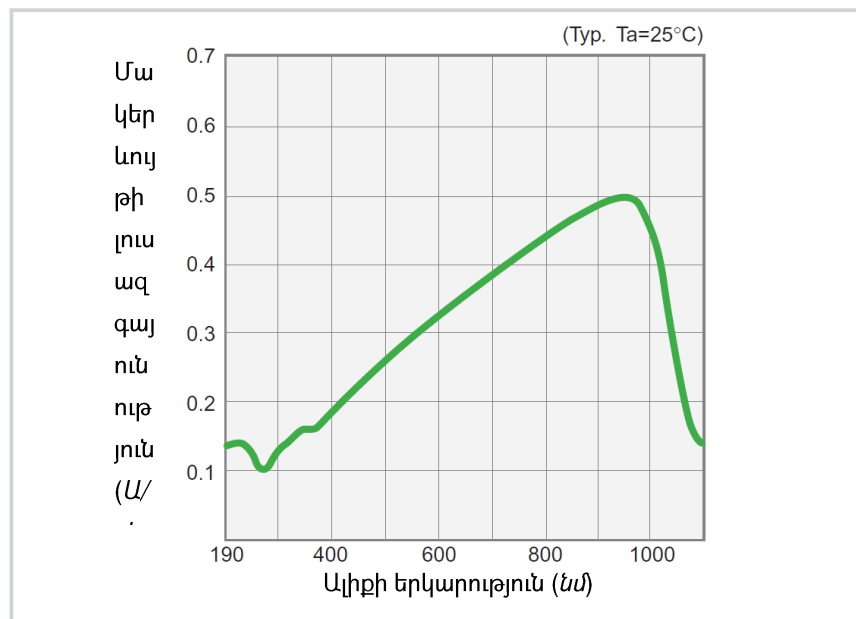
Սիլիցիումային (Si) ֆոտոդիոդը կիսահաղորդչային դետեկտոր է, որում օգտագործվում է այն փաստը, որ դետեկտորի էլեկտրական հատկությունները փոխվում են դրանում ճառագայթի կլանման արդյունքում: Այդ դեպքում տեղի է ունենում ներքին ֆոտոէլեկտրական էֆեկտ: Եթե կիսահաղորդչում լույսի կլանման ժամանակ ֆոտոնների էներգիան ավելին է, քան արգելման գոտու էներգիան, ապա

վալենտականության գոտու էլեկտրոնները գրգռվում են ու անցնում հաղորդականության գոտի, իսկ վալենտային գոտում մնում են խոռոչներ: Ինչպես ցույց է տրված նկ. 1.16.-ում, այդ էլեկտրոն-խոռոչ զույգերն առաջանում են կիսահաղորդչի ամբողջ ծավալում: Աղքատացած շերտի էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ էլեկտրոնների շարժումն արագանում են դեպի n -տիրույթ, իսկ խոռոչներինը՝ դեպի p -տիրույթ: Եթե դետեկտորը միացվում է էլեկտրական շղթային, ապա որպես արդյունք կառաջանա հոսանք (ֆոտոհոսանք):



Նկ. 1.16. Սիլիցիումային ֆոտոդիոդի էներգետիկ մոդելը [10]

Սիլիցիումի արգելման գոտու լայնությունը (էներգիան) մոտավորապես 1.12 էՎ է, հետևաբար՝ ֆոտոհոսանք առաջանում է միայն այն ալիքի երկարությունների դեպքում, որոնց օպտիկական էներգիան ավելի մեծ է, քան այդ արժեքը: Այսպիսի բնութագրերով կառուցվածքի ալիքային զգայնության վերին սահմանը մոտ 1100 նմ է [10]: Նկ 1.17.-ում ցույց է տրված սիլիցիումային ֆոտոդիոդի սպեկտրային զգայնության բնութագրի օրինակ:



Նկ. 1.17. Սիլիցիումային ֆոտոդիոդի սպեկտրային զգայնության բնութագիրը [10]

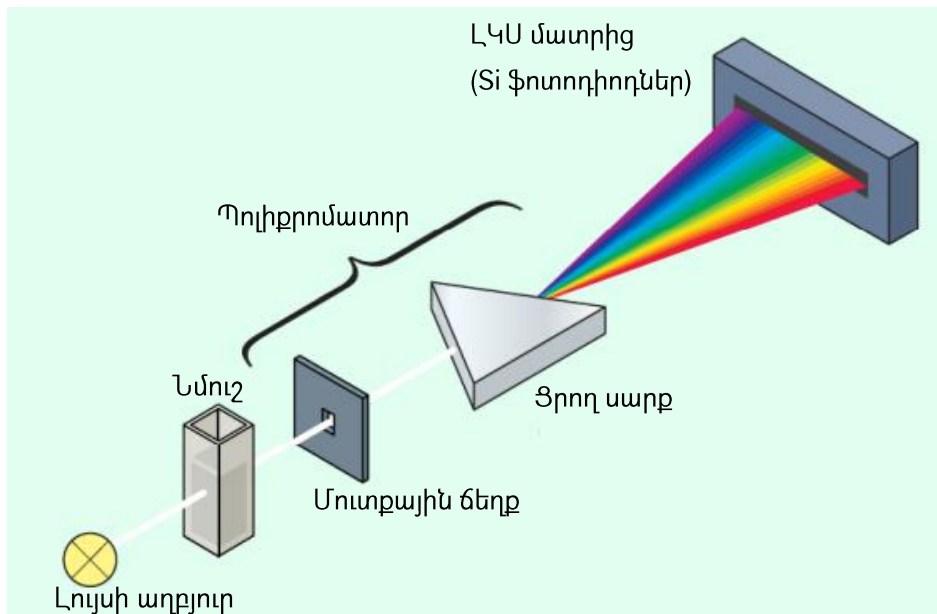
Ֆոտոբազմապատկիչների հետ համեմատած՝ սիլիցիումային ֆոտոդիոդների վրա հիմնված դետեկտորներն ունեն այնպիսի առավելություններ, ինչպիսիք են՝

- արագագործությունը,
- ցածր գինը,
- փոքր չափերը,
- լույսն ընդունող մակերևութի բարձր զգայնությունը և դրա ցածր տեղայնությունը,
- հուսալիությունը,
- հատուկ սնուցման աղբյուր չպահանջելը,
- կառուցվածքի ամբողջական համատեղելիությունը սխեմաների արտադրության կոմպլեմենտար մետաղ-օքսիդ-կիսահաղորդիչ (այսուհետ՝ ՀՄՕԿ, անգլ.՝ CMOS) տեխնոլոգիական ցիկլին:

Զգայնության պարագայում, եթե լույսի ինտենսիվությունը բավականաչափ բարձր է, ապա սիլիցիումային ֆոտոդետեկտորի միջոցով ստացված լուսաչափական տվյալները չեն զիջում ֆոտոբազմապատկիչների միջոցով ստացված արդյունքներին:

Վերջին տարիներին մեծ ուշադրություն գրաված արևային էլեմենտներում կիրառվում են նույն կառուցվածքն ու սկզբունքները, ինչը սիլիցիումային ֆոտոդիոդներում:

Բարձր արագագործությամբ լուսաչափական գործիքներում որպես դետեկտորներ կիրառվում են սիլիցիումային ֆոտոդիոդներից (անգլ.՝ PDA) կամ **լիցքային կապով սարքերից (ԼԿՍ, անգլ.՝ CCD)** բաղկացած մատրիցներ՝ համկացված կլանման կամ հետ անդրադարձած լույսի սպեկտրաչափության մեթոդների հետ [1, 5]: Դա թույլ է տալիս մեկ նմուշի համար կատարել կլանման սպեկտրի բազմակի չափումներ և հետո դրանց համադրմամբ և միջինացմամբ ստանալ վերջնական ելքային սպեկտրը: Այդպիսի ֆոտոսպեկտրաչափական համակարգերում դիֆրակցիոն ցանցը ֆիքսված է (նկ. 1.18.), ֆոտոդիոդներից բաղկացած մատրիցը տեղակայված է ցանցի ֆոկուսային հարթության մեջ, և լույսի յուրաքանչյուր երկարությամբ ալիքի ինտենսիվությունը չափվում է մատրիցում ինտեգրված առանձին և իրարից տարբեր դետեկտորներով [1]:

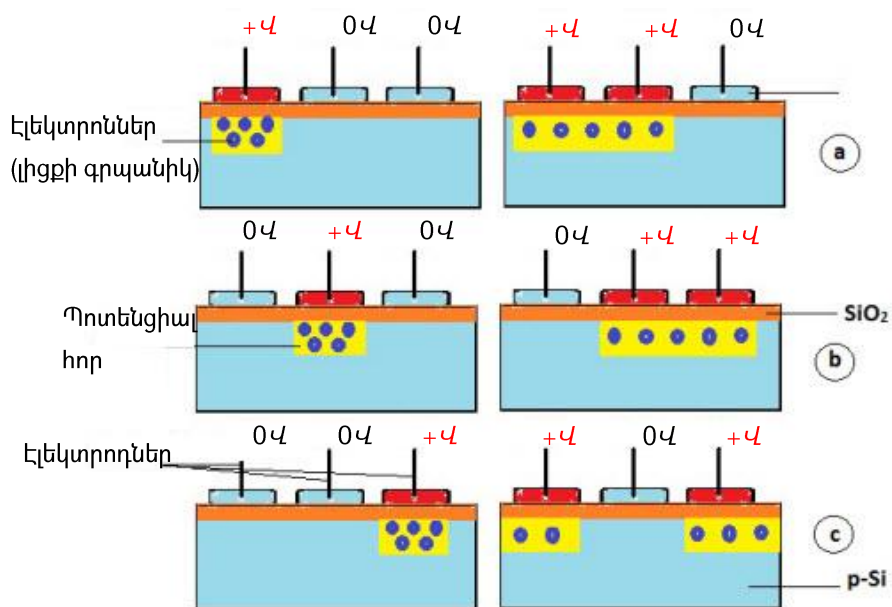


Նկ. 1.18. ԼԿՍ մատրիցի կիրառմամբ ֆոտոսպեկտրաչափի պարզեցված կառուցվածքը [5]

Լիցքային կապով սարքերը կիսահաղորդչային կառուցվածքի առավելությունները կիրառող և արագագործ ֆոտոդետեկտորներ են: Դրանք ինտեգրալ սխեմաներ են, որոնք ֆոտոակտիվ սիլիցիումի էպիտաքսիալ շերտում պարունակում են կլանված լույսի առաջացրած էլեկտրոն-խոռոչ զույգերի լիցքը կուտակող և պահպանող ունակությունների (պիքսել) մատրիցներ: Կլանված յուրաքանչյուր ֆոտոն առաջացնում է մեկ էլեկտրոն-խոռոչ զույգ: Լիցքը տեղայնացվում է փոփոխական խորությամբ թակարդող տեղամասեր (ունակություններ) ծառայող

Էլեկտրոդների տակ գտնվող բջիջներում: Այդ ունակություններում կուտակված և կլանված լույսի ինտենսիվության (ֆոտոնների քանակի) մասին տեղեկություն պարունակող լիցքը ֆիքսված պարբերականությամբ ուժեղացվում է, թվայնացվում, մշակվում և կարդացվում: Լուսակայումից հետո ունակությունների լիցքերը կարդացվում են՝ դրանք հերթով տեղաշարժելով դեպի հարևան պիքսել և մեկ առ մեկ փոխանցելով սարքի ելք: Նկ. 1.19.-ում ցուցադրված են գրպանիկների միջև լիցքի փոխանցման փուլերը (a-ից b և c)՝ փականներին կիրառված լարումներին համապատասխան: Մատրիցի վերջին ունակության լիցքը պարավում է լիցքի ուժեղարարի մեջ, որն այն փոխակերպում է լարման և ուժեղացնում ազդանշանը: Այս գործընթացի կրկնությամբ՝ ղեկավարող սխեման մատրիցի ամբողջ պարունակությունը փոխակերպում է լարումների շարքի [11]: Լուսային պատկերի գրանցումը տեղի է ունենում երեք հիմնական քայլերով.

- լուսակայում, ինչն ընկնող լույսը փոխակերպում է ընդհատված (դիսկրետ) կետային տեղամասերում (պիքսել) կուտակված էլեկտրական լիցքի,
- լիցքի փոխանցում գրպանիկների միջև, ինչը տեղաշարժում է լիցքը սիլիցիումի բյուրեղի հարթակում,
- լիցքի փոխակերպում լարման և ազդանշանի հետագա ուժեղացում:

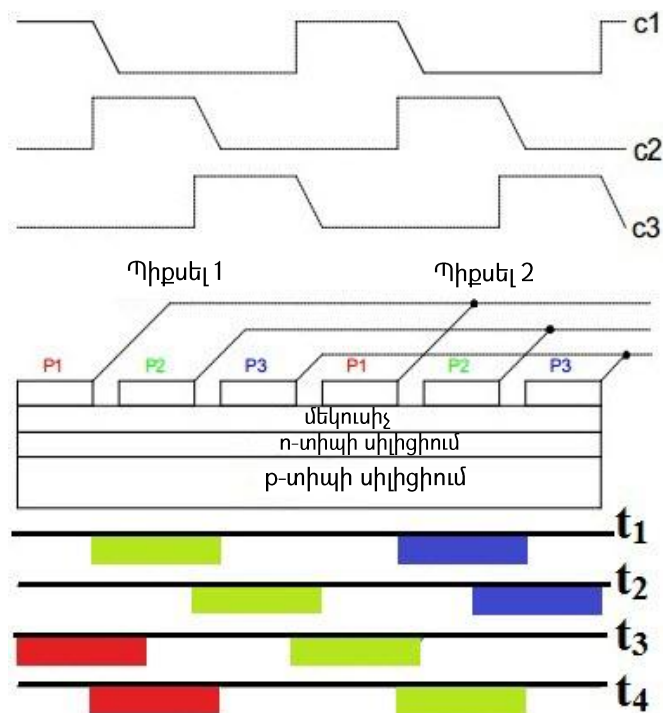


Նկ. 1.19. ԼԿՍ աշխատանքի սկզբունքը [11]

Թվային սարքում ստացված լարումների շարքը թվայնացվում է՝ հետագա պահպանման և մշակման համար:

Լիցքի տեղաշարժը գծի երկայնքով՝ մի գրպանիկից մյուսը փոխանցելով, իրականացնելու համար պետք է փոփոխել պոտենցիալ հորի բարձրությունը: Դա հնարավոր է իրագործել էլեկտրոդների ցանցին կիրառվող արտաքին լարման ղեկավարման տարբեր մեթոդներով (երկփուլ, եռափուլ և այլն):

Եթե յուրաքանչյուր պիքսել կազմված է դրա միջով անցնող n հատ տարբեր լարերից (էլեկտրոդ), ապա ղեկավարման սխեման համարվում է n -փուլային: Պոտենցիալ հորի բարձրությունը ղեկավարվում է լարերին միացված տեղաշարժող տակտային ազդանշանների միջոցով, որոնք իմպուլսով նույնական են, սակայն իրար նկատմամբ ունեն փուլային շեղում ($c1$, $c2$ և $c3$ նկ. 20-ում): Լիցքի եռափուլ ($P1$, $P2$ և $P3$) տեղաշարժի օրինակը բերված է նկ. 1.20.-ում: Եթե B փականը միացված է տրամաբանական բարձր մակարդակին, իսկ A փականը՝ ցածրին, ապա լիցքը շարժվում է A տիրույթից դեպի B տիրույթ [11]:



Նկ. 1.20. Լիցքի տեղաշարժման գործընթացը [11]

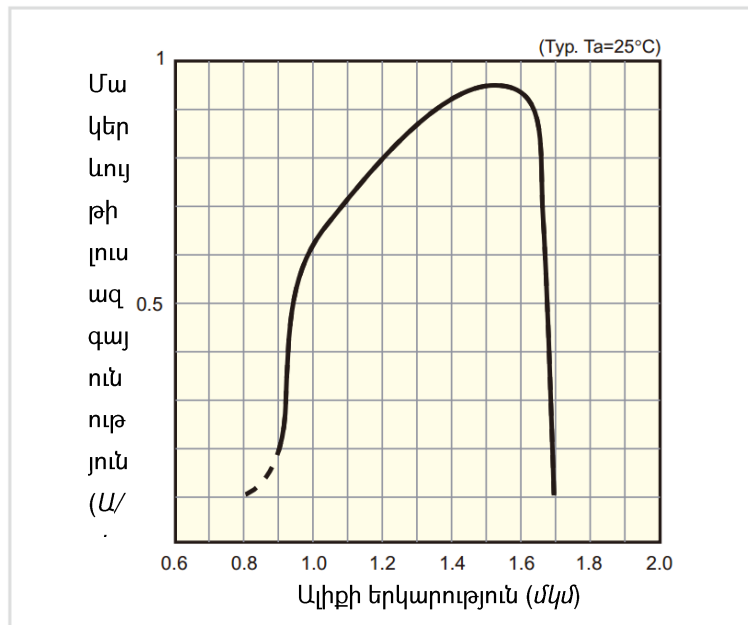
ԼԿՍ մատրիցները վերացնում են լույսի ցրումից հետո լուսաճեղքի միջոցով առանձին պիքսի երկարության ընտրության խնդիրը՝ դետեկտորի վրա ընկնող բոլոր

ալիքները գրանցելով միաժամանակ: Սակայն ԼԿՍ մատրիցներն ունեն հետևյալ կարևոր թերությունները.

- բարձր գին՝ արտադրման բարդ տեխնոլոգիական գործընթացի և բյուրեղի վրա զբաղեցրած մեծ մակերեսի պատճառով,
- անհամատեղելիություն ԿՄՕԿ (անգլ. CMOS) սխեմաների արտադրության տեխնոլոգիական ցիկլի հետ,
- մեծ չափեր՝ առանձին ֆոտոդիոդների համամատությամբ,
- սնուցման համակարգի բարդություն,
- կառավարման համակարգի բարդություն. անհրաժեշտ է գրպանիկների նախալիցքավորում և լիցքի կառավարում (վերալիցքավորում հաստատուն պարբերականությամբ),
- տակտավորման համակարգի բարդություն. պոտենցիալ հորի բարձրությունը ղեկավարվում է բազմափուլ տեղաշարժող տակտային ազդանշանի միջոցով,
- լիցքի զգայուն նախաուժեղարարի անհրաժեշտություն. ազդանշանը ստացվում է փոքր լիցքի տեսքով, որն անհրաժեշտ է ուժեղացնել և վերածել լարման,
- մատրիցից դեպի տեղաշարժող ռեգիստր տվյալների գրանցման պրոցեսը կառավարող ԿՄՕԿ փականի փոխանջատման աղմուկներ,
- լիցքը կարդալու պրեցեսում լիցքի ուժեղարարի առաջացրած աղմուկներ (գերակշռող),
- լիցքի հագեցում երկարատև լուսակայման կամ լույսի մեծ ինտենսիվության պայմաններում. ավելորդ լիցքը տարածվում է դեպի հարևան պիքսելներ՝ աղավաղելով դրանց գրանցման արդյունքը,
- լիցքի տեղաշարժման ընթացքում գրպանիկներում կուտակվող մնացորդային լիցք. աղավաղվում է դրանց հետագա գրանցման արդյունքը,
- շատ մեծ մթնային հոսանքներ (հազարավոր էլեկտրոններ առ պիքսել առ վայրկյան) սենյակային ջերմաստիճանում. շատ հաճախ անհրաժեշտ է լինում կիրառել սառեցման համակարգը (օր.՝ մինչև -40°C),

- տվյալի ստացում բիթ առ բիթ՝ հաջորդաբար տեղաշարժող ռեգիստրի միջոցով, ինչը մեծ թույլատրելիությամբ մատրիցի դեպքում կարող է բավականաչափ երկար տևել:

Մոտակա ինֆրակարմիր տիրույթում նախկինում կիրառվել են PbS (ծծմբային կապար, կապարի սուլֆիդ) լուսաընդունիչ էլեմենտներ (նկ. 1.15.), սակայն վերջին տարիներին շուկայում առկա **InGaAs-ի** (ինդիում-գալիում-արսենիդ) **ֆոտոդիոդները** փոխարինում են դրանց՝ ներառվելով տարբեր գործիքների կազմում: InGaAs-ը կիսահաղորդչային միացություն է: Սիլիցիումի ֆոտոդիոդի նման՝ InGaAs-ի ֆոտոդիոդը նույնպես p-n անցումով ֆոտովոլտաիկ էլեմենտ է: Սակայն InGaAs-ի արգելման գոտու էներգիան ավելի փոքր է, քան սիլիցիումինը, և այդ պատճառով այն կլանում է ավելի երկար ալիքներ: Դա նշանակում է, որ InGaAs-ի ֆոտոդիոդները զգայուն են սիլիցիումային ֆոտոդիոդների գրանցման միջակայքից ավելի մեծ ալիքի երկարությունների նկատմամբ և կիրառելի են որպես դետեկտոր մոտակա ԻԿ միջակայքի սպեկտրաչափության համար [10]: InGaAs-ի ֆոտոդիոդի սպեկտրային զգայնության բնութագիրը բերված է նկ. 1.21.-ում:



Նկ. 1.21. InGaAs-ի ֆոտոդիոդի սպեկտրային զգայնության բնութագիրը [10]

Ջերմային դետեկտորը կարող է կիրառվել ԻԿ միջակայքի ալիքի երկարությունների լայն տիրույթում և աշխատում է սենյակային ջերմաստիճաններում:

Հիմնական թերություններն են արձագանքման մեծ ժամանակը և հարաբերականորեն ցածր զգայնությունը:

Ջերմազույգը կազմված է տարբեր մետաղների զույգի հպակային անցումից. բիսմութի (լատ.՝ Bismuthum (Bi)) ծայրերից մեկը հալեցմամբ զոդվում է ստիբիումի (լատ.՝ Stibium (Sb)) կտորի ծայրերից մեկին: Հպակ-անցումների միջև առաջացած պոտենցիալների տարբերությունը փոխվում է դրանց ջերմաստիճանների միջև եղած տարբերությանը համապատասխան: Հաջորդաբար միացված մի քանի ջերմազույգերը կոչվում են ջերմաէլեկտրական մարտկոց:

Ճառագայթաչափի (բոլոմետր) աշխատանքի սկզբունքը տաքանալու արդյունքում էլեկտրական դիմադրության փոփոխությունն է: Այն կազմված է կա՛մ այնպիսի մետաղներից, ինչպիսիք են պլատինը և նիկելը, կա՛մ կիսահաղորդիչ նյութից:

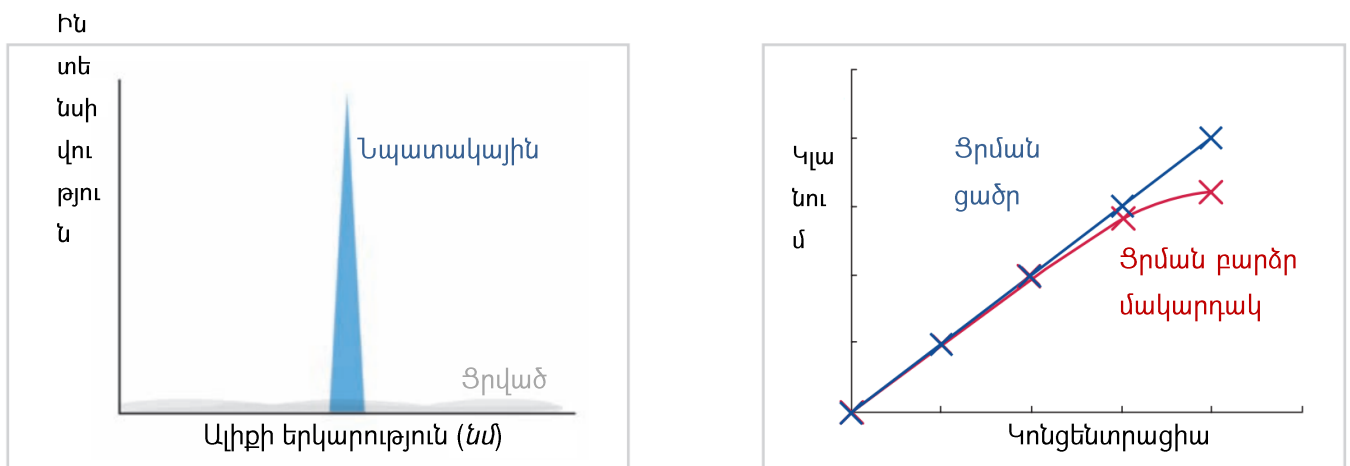
Պիրոէլեկտրական ԻԿ դետեկտորները բաղկացած են պիրոէլեկտրական նյութից, որը հատուկ ջերմային և էլեկտրական հատկություններով մեկուսիչ է: Եռագլիցինի սուլֆատը պիրոէլեկտրական ԻԿ դետեկտորների ամենատարածված նյութն է: Ի տարբերություն մյուս ջերմային դետեկտորների՝ պիրոէլեկտրական էֆեկտը կախված է ոչ թե անմիջականորեն ջերմադետեկտորի ջերմաստիճանից, այլ դրա փոփոխության արագությունից: Դա թույլ է տալիս, որ պիրոէլեկտրական դետեկտորն աշխատի շատ արագ արձագանքման ժամանակով, ինչը դարձնում է այն նախընտրելի դետեկտոր Ֆուրյեի ձևափոխության մեթոդով սպեկտրաչափներում, որոնցում արագ արձագանքն անհրաժեշտություն է [17]:

Լուսահաղորդունակ (ֆոտոկոնդուկտիվ) ԻԿ դետեկտորները ամենազգայունն են: Դրանք հիմնված են կիսահաղորդչի և դրա կողմից կլանված ֆոտոնների փոխազդեցության վրա: Դետեկտորը կազմված է մեկուսիչ ապակու մակերևույթին նստեցված կիսահաղորդչային նյութի բարակ թաղանթից (օր.՝ կապարի սուլֆիդ (PbS), սնդիկ-կադմիումի թելուրիդ (HgCdTe), ինդիումի (In) ծարիրիդ (Sb, լատ.՝ Stibium)), որը հերմետիկ կերպով պարփակված է վակուումային ծրարի մեջ՝ կիսահաղորդիչը մթնոլորտային ազդեցություններից պաշտպանելու համար: Կապարի սուլֆիդի վրա հիմնված դետեկտորները կիրառվում են սպեկտրի մոտակա ինֆրակարմիր տիրույթում: Միջին և հեռու ինֆրակարմիր ճառագայթման համար կիրառելի են սնդիկ-կադմիումի թելուրիդի դետեկտորները: Այն պարտադիր պետք է սառեցնել հեղուկ ազոտով՝ խանգարումները և աղմուկները նվազեցնելու նպատակով [17]:

Հեռավոր ԻԿ տիրույթում հեղուկ հելիումի ջերմաստիճանում աշխատող գերմանիումային կամ վերոնշյալ ինդիումի ծարիրիդի դետեկտորներ են կիրառվում:

«Ցրված լույսը» (անգլ.՝ «stray light») ֆոտոսպեկտրաչափներում կիրառվող ճառագայթի մեջ պարունակվող բայց նպատակային ալիքի երկարությունից տարբեր ալիքի բոլոր երկարություններն են: Այն արտահայտվում է նպատակային ալիքի երկարությամբ լույսի քանակի և դրանից տարբեր երկարությամբ մնացյալ բոլոր ալիքների գումարային լույսի քանակի հարաբերակցությամբ (%):

Նկ. 1.22.-ում գրաֆիկական տեսքով ներկայացված կապույտ հատվածը համապատասխանում է նպատակային ալիքի երկարությանը, իսկ մոխրագույն հատվածը՝ ցրված լույսին: Ցրված լույսը խնդրահարույց է, քանի որ այն ազդում է քանակական չափումների ժամանակ կիրառվող կարգաբերման կորերի վրա [8]:



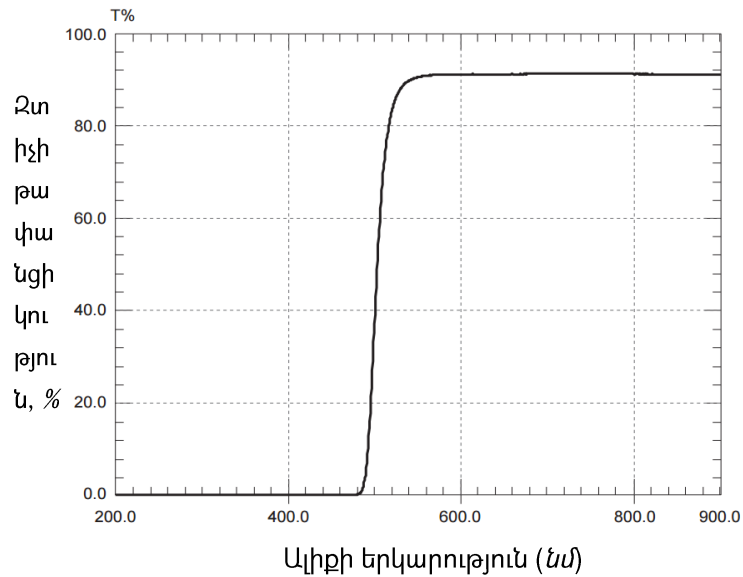
Նկ. 1.22. Ցրված լույսի գրաֆիկական պատկերը (աջից) և ազդեցությունը կարգաբերման կորի վրա (ձախից) [8]

Փոքր կլանման միջակայքում դա դժվար նկատելի է, բայց եթե մեծ կլանմամբ, բարձր կոնցենտրացիայով միջակայքում ցրված լույսի քանակը մեծ է, ապա նկատվում է կարգաբերման կորի թեքում (նկ. 1.22.): Քանի որ ցրված լույսի ալիքի երկարությունը տարբերվում է նպատակային ալիքի երկարությունից, ապա նմուշը այն չի կլանում: Այն պարզապես անցնում է նմուշի միջով, և համաձայն Լամբերտ-Բիորի օրենքի՝ կլանման չափը ստացվում է ավելի փոքր, քան կլանման իրական արժեքը:

Ցրված լույսի ստուգումների համար կիրառվում են լուսազտիչներ (օր.՝ նատրիումի յոդիդի լուծույթ (NaI) և նատրիումի նիտրատի լուծույթ (NaNO₃)), որոնք արգելում են որոշակի ալիքի երկարությամբ լույսի անցումը: Ցրված լույսի քանակը

հաշվարկվում է լուսազտիչի կողմից ամբողջությամբ կլանվող ալիքի երկարության համար զտիչի թափանցիկության չափման իրական (գրոյից տարբեր) արժեքի միջոցով:

Նկ. 1.23.-ում բերված է 200-ից 500 նմ ալիքի երկարությունների միջակայքում լույսը ֆիլտրող և 500 նմ-ից բարձր միջակայքում լույսն անարգել բաց թողնող զտիչի բնութագրի օրինակ: Չտիչի անվան մեջ սովորաբար նշվում է 50 % թափանցիկությամբ ալիքի երկարությունը ցույց տվող թիվ (օր.՝ այս դեպքում Y-500) [19]:



Նկ. 1.23. Y-500 զտիչի ալիքի երկարությունների բնութագիրը [19]

1.2. Հեռասպեկտրաչափության մեջ կիրառվող գործիքների առավելությունները և թերությունները

Գոյություն ունեն ինֆրակարմիր կլանման չափումների վրա հիմնված գործիքների չորս հիմնական տիպեր.

- ցրող ցանցերի (օր.՝ դիֆրակցիոն) վրա հիմնված ֆոտոսպեկտրաչափներ՝ քանակական չափումների համար,
- չցրող լուսաչափներ՝ մթնոլորտում օրգանական մոլեկուլների տեսակների հայտնաբերման համար,

- անդրադարձած լույսի լուսաչափներ՝ պինդ մարմինների հետազոտությունների համար: Լույսի անդրադարձած և կլանված բաղադրիչները բնութագրական են նյութի տվյալ տեսակի համար (անդրադարձման և կլանման գործակիցներ),
- Ֆուրյեի ձևափոխությամբ ինֆրակարմիր սպեկտրաչափներ (անգլ. հապավումը՝ FT-IR), որոնք ունակ են իրականացնել և՛ որակական, և՛ քանակական չափումներ:

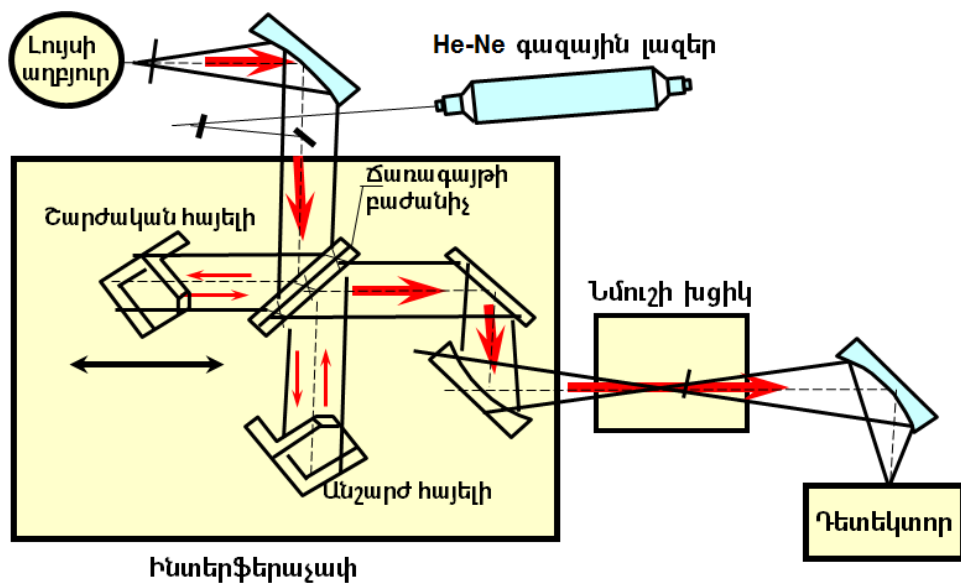
Գրող ցանցերի վրա հիմնված ինֆրակարմիր ֆոտոսպեկտրաչափների պարզեցված դասական կառուցվածքային սխեման արդեն բերվել է նկ. 1.4.-ում և 1.5.-ում: Դրանք ճիշտ են նաև ԻԿ տիրույթի դեպքում: Հիմնական բաղկացուցիչ մասերը ներառում են ճառագայթի աղբյուրը, մոնոքրոմատորը և դետեկտորը: Ընդհանուր առմամբ այս տիպի գործիքներն ունեն երկճառագայթ կառուցվածք՝ երկու նույնական ճառագայթներով, որոնք դուրս են գալիս նույն աղբյուրից: Դրանցից մեկն անցնում է նմուշի միջով, իսկ մյուսը էտալոնային խցիկով որպես երկու անկախ ճառագայթներ: Օպտիկական հատիչների, մասնավորապես, սեկտորային հայելու կիրառմամբ էտալոնային և նմուշի ճառագայթները, հաջորդաբար իրար փոխարինելով, կենտրոնանում են դետեկտորի վրա: Նմուշի միջով անցած ճառագայթը և էտալոնային միջավայրով անցած ճառագայթը ենթարկվում են վերլուծական համեմատության՝ նյութի կողմից կլանված ֆոտոնների ալիքի երկարություններն առանձնացնելու համար: Երբ ընկնող ճառագայթն անցնում է նմուշի միջով, դրանից դեպի դուրս ճառագայթվող ալիքները մոնոքրոմատորի կողմից (ցրող ցանցեր և ճեղքեր) բաժանվում են առանձին բաղկացուցիչ հաճախականությունների: Պրիզմաների համախումբը կամ փոփոխվող ճեղքերի մեխանիզմով ցրող ցանցերը, հայելիները կազմում են ցրող համակարգը: Ճեղքերի նեղացումը լավացնում է թուլատրելիության ունակությունը՝ ճառագայթի մեջ տարբերակելով ավելի մոտ տեղակայված հաճախականությունները: Դրան հակառակ՝ լայն ճեղքերը թույլ են տալիս ավելի շատ լույս հասցնել դետեկտորին, ինչը բարձրացնում է համակարգի զգայնությունը: Նմուշից ճառագայթված ալիքների բազմությունը (անալոգային սպեկտրային ելք) դիպչում է դետեկտորին, և որպես արձագանք գեներացվում է էլեկտրական ազդանշան: Նմուշի կողմից ԻԿ ճառագայթի կլանումը հանգեցնում է դրա ինտենսիվության փոփոխության, ինչն էլ գրանցվում է

դետեկտորի ելքում որպես ազդանշան: Սինքրոն շարժիչների գործողությունների միջոցով ստացվող այդ ազդանշանի տարբերությունը էտալոնային ազդանշաններից վերաձվում է գրանցող սարքի արձագանքի: Նմուշով անցնող յուրաքանչյուր հաճախականություն դետեկտորով առանձին է չափվում, ինչի հետևանքով դանդաղում է ԻԿ տիրույթի ամբողջական սքանավորման գործընթացը: Սա այս կառուցվածքի հիմնական թերությունն է [12-17]:

Երկրորդ տարբերակում (անգլ. հապավումը՝ **ND-IR**) նմուշի խցիկով անցնող ալիքները նախնական զտման չեն ենթարկվում: Դրա փոխարեն օպտիկական ֆիլտրը տեղադրվում է դետեկտորի դիմաց՝ ընտրված գազի մոլեկուլների կողմից կլանվող ալիքի երկարությունից բացի, մնացած ամբողջ լույսը չանցկացնելու համար: Այն հաճախ կիրառվում է գազերի հայտնաբերման և ածխածնի օքսիդների (մոնօքսիդ, երկօքսիդ) կոնցենտրացիաները չափելու համար: Ինֆրակարմիր ճառագայթն անցնում է նմուշի խցիկի միջով, և գազային խառնուրդի յուրաքանչյուր բաղադրիչ կլանում է որոշակի ինֆրակարմիր ալիք: Խառնուրդային ելակետային գազերը (սովորաբար ազոտ) չափվում են մեկ այլ խցիկում: Անհրաժեշտ ինֆրակարմիր ալիքի կլանման քանակը չափելով՝ կարելի է որոշել գազի բաղադրիչի կոնցենտրացիան [12-13, 15]:

Ամենաժամանակակից միջին ինֆրակարմիր տիրույթի ֆոտոսպեկտրաչափները սպեկտրային ինֆորմացիան ստանալու համար օգտագործում են **Ֆուրյեի ձևափոխության մեթոդը** (անգլ. հապավումը՝ **FTIR**): Այն մշակվել է ցրող ցանցերի վրա հիմնված գործիքներում նկատվող դանդաղ աքանավորմա սահմանափակումները հաղթահարելու համար: Այս մեթոդի կիրառման դեպքում ինֆրակարմիր ճառագայթն անցնում է նմուշի միջով: Չափված ազդանշանը կոչվում է ինտերֆերագիր: Այս ազդանշանը ենթարկելով Ֆուրյեի ձևափոխության՝ ստանում ենք սպեկտրային տեղեկություն, որը նույնական է ավանդական (ցրող ցանցերի վրա հիմնված) գործիքներով ստացված արդյունքին, սակայն արդյունքները շատ ավելի արագ են ստացվում՝ վայրկյաններ ընթացքի փոխարեն: Ֆուրյեի ձևափոխության մեթոդով ֆոտոսպեկտրաչափները լայնորեն կիրառվում են օրգանական սինթեզի, պոլիմերային գիտության, նավթաքիմիական ճարտարագիտության, դեղագործական արդյունաբերության և սննդի հետազոտության ոլորտներում [12-17]:

Ֆուրյեի ձևափոխության մեթոդով ԻԿ ֆոտոսպեկտրաչափների **հիմնական կառուցվածքային մասերն** են ԻԿ լույսի աղբյուրը, ինտերֆերաչափը, նմուշի խցիկը, դետեկտորը, ազդանշանի ուժեղարարը, անալոգաթվային փոխակերպիչը և համակարգիչը (ազդանշանի թվային մշակում մաթեմատիկական ալգորիթմներով): Աղբյուրը գեներացնում է ճառագայթ, որն անցնում է նմուշի, ապա ինտերֆերաչափի միջով և հասնում է դետեկտորին: Այնուհետև ազդանշանն ուժեղացվում է ուժեղարարով և փոխանցվում անալոգաթվային փոխակերպիչին՝ ելքում ստանալով թվային ազդանշան: Այդ արդյունարար ազդանշանը փոխանցվում է համակարգչին, որտեղ էլ իրականացվում է Ֆուրյեի ձևափոխությունը [12-17]: Նկ. 1.24.-ում պատկերված է Ֆուրյեի ձևափոխությամբ սպեկտրաչափի կառուցվածքային սխեման:



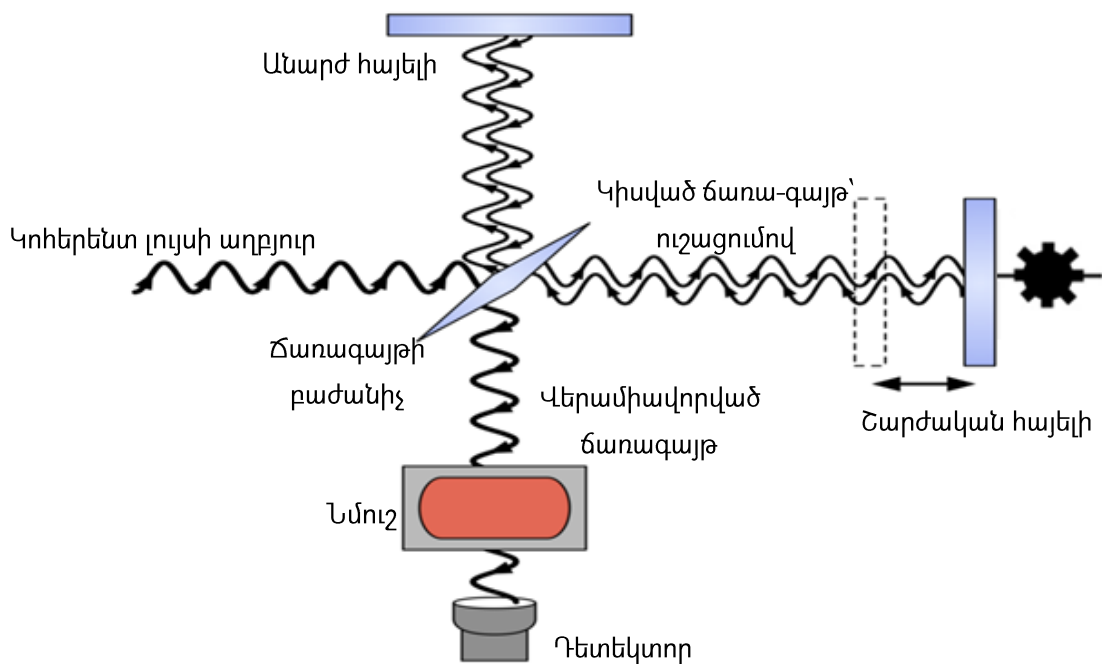
Նկ. 1.24. Ֆուրյեի ձևափոխությամբ սպեկտրաչափի կառուցվածքը [12-16]

Ֆուրյեի ձևափոխությամբ և ցրման սկզբունքով ԻԿ սպեկտրաչափների գլխավոր հանգույցը **Միքելսոնի ինտերֆերաչափն** է: Այն Ֆուրյեի ձևափոխությամբ սպեկտրաչափների միջուկն է և կիրառվում է լույսի մեկ նախնական ճառագայթը երկուսի բաժանելու համար այնպես, որ ճառագայթների անցման հետագա ճանապարհները տարբեր լինեն:

Այնուհետև Միքելսոնի ինտերֆերաչափը վերամիավորում է այդ երկու ճառագայթները և հաղորդում է դրանք դետեկտորին, որտեղ չափվում է այս երկու

առանձին ճառագայթների ինտենսիվությունների տարբերությունը՝ որպես ֆունկցիա անցած ճանապարհների տարբերությունից:

Նկ. 1.25.-ում բերված է Միքելսոնի ինտերֆերաչափի սխեմատիկ պատկերը: Միքելսոնի տիպիկ ինտերֆերաչափը կազմված է երկու ուղղահայաց հայելիներից և ճառագայթի բաժանիչից: Նյութը, որից պատրաստվում է ճառագայթի բաժանիչը, պետք է ընտրվի հետազոտվող ԻԿ տիրույթին համապատասխան: Այդպիսի նյութերի օրինակներ են գերմանիումը և երկաթի օքսիդը, որոնցով ծածկելով ԻԿ-թափանցիկ հարթակը (օր.՝ կալիումի բրոմիդ կամ ցեզիումի յոդիդ)՝ կարելի է ստանալ ճառագայթի բաժանիչներ միջին և մոտակա ԻԿ տիրույթների համար: Բարակ օրգանական թաղանթները (օր.՝ պոլիէթիլեն տերեֆտալատ (PET)) կիրառվում են հեռավոր ԻԿ տիրույթում: Հայելիներից մեկն անշարժ է, իսկ մյուսը՝ շարժական [14-16]:



Նկ. 1.25. Միքելսոնի ինտերֆերաչափի սխեմատիկական պատկերը [14-16]

Ճառագայթի բաժանիչը նախագծված է այնպես, որ ընկնող ճառագայթի լույսի կեսն անդրադարձնի, իսկ մյուս կեսը՝ հաղորդի (անցկացնի իր միջով): Դրանից հետո հաղորդված լույսը բախվում է անշարժ հայելուն, իսկ անդրադարձած լույսը՝ շարժական հայելուն: Հայելուց հետ անդրադառնալով՝ լույսի երկու ճառագայթները վերամիավորվում են ճառագայթի բաժանիչի վրա: Եթե երկու ճառագայթների անցած

հեռավորությունները նույնն են, ինչը նշանակում է, որ երկու հայելիների և ճառագայթի բաժանիչի միջև հեռավորությունները նույնն են, ապա իրավիճակը նկարագրվում է որպես ճանապարհի գրոյական տարբերություն (այսուհետ՝ ՃՁՏ, անգլ. հապավումը՝ ZPD): Բայց եթե շարժական հայելին շարժվելով հեռանո ճառագայթի բաժանիչից, ապա լույսի ճառագայթը, որն ընկնում է շարժական հայելու վրա, ավելի երկար հեռավորություն կանցնի, քան անշարժ հայելու վրա ընկնող ճառագայթը: Այն հեռավորությունը, որով շարժական հայելին հեռացված է ՃՁՏ-ից, սահմանվում է (1.7) որպես հայելու տեղաշարժ (շեղում) և ներկայացվում է Δ սիմվոլով: Ակնհայտ է, որ շարժական հայելուն բախվող ճառագայթի անցած հավելյալ հեռավորությունը 2Δ է: Այդ հավելյալ հեռավորությունը սահմանվում է որպես օպտիկական ճանապարհի տարբերություն (այսուհետ՝ ՕՃՏ, անգլ. հապավումը՝ OPD) և ներկայացվում է δ -ով: Հետևաբար.

$$\delta = 2\Delta :$$

ՕՃՏ-ի միավորը սմ-ն է, հետևաբար՝ ՕՃՏ-ի հակադարձի չափման միավորը սմ⁻¹ ի հակադարձն է՝ սմ⁻¹-ը, որը հաճախ կոչում են նաև «ալիքային թիվ»: Այն արտահայտում է 1 սմ հատվածում տեղավորվող ալիքների թիվը: Հաստատված է, որ երբ ՕՃՏ-ն ալիքի երկարությանը պատիկ է, առաջանում է կառուցողական ինտերֆերենցիա, որովհետև ալիքների և՛ կատարները, և՛ իջվածքները համընկնում են [16]:

$$\delta = n\lambda , \tag{1.8}$$

որտեղ $n = 0, 1, 2, 3, \dots$:

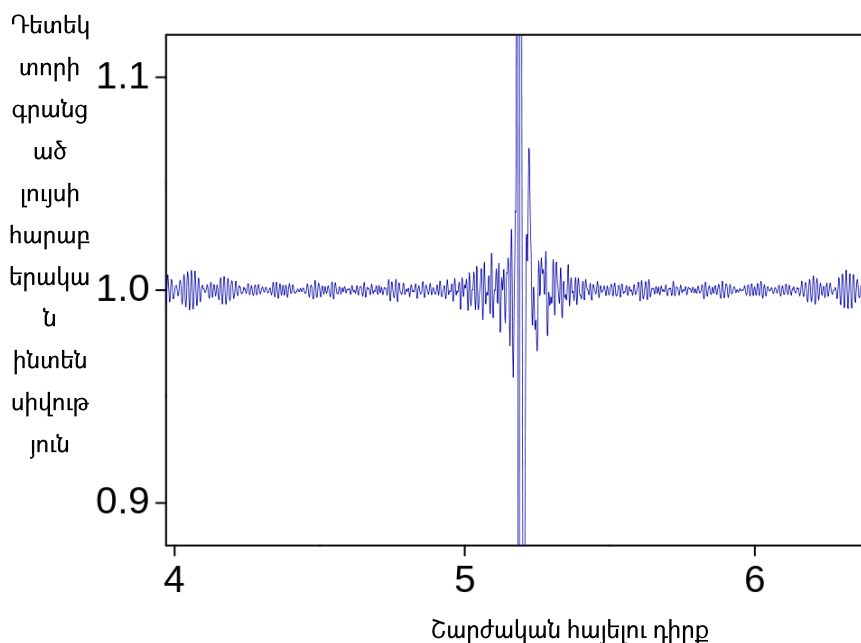
Ի հակադրություն դրա, երբ ՕՃՏ-ն հավասար է ալիքի երկարության կեսին կամ ալիքի երկարության պատիկն է՝ գումարած ալիքի երկարության կեսը, ապա առաջանում է ապակառուցողական ինտերֆերենցիա, որովհետև ալիքների կատարները համընկնում են իջվածքներին: Արդյունքում՝ դետեկտորի ազդանշանը կլինի նվազագույն ինտենսիվությամբ: Իրավիճակը կարելի է նկարագրել հետևյալ հավասարմամբ.

$$\delta = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda , \tag{1.9}$$

երբ $n = 1, 2, 3, \dots$:

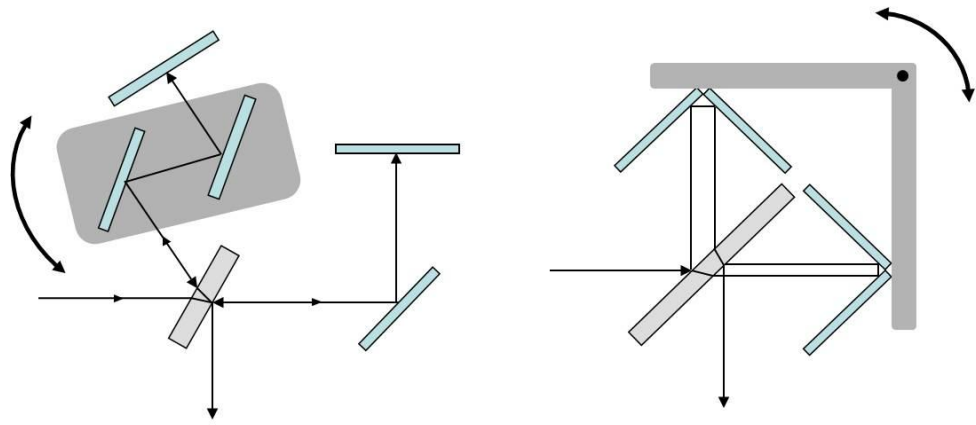
Վերոնշյալ երկու դեպքերը ծայրագույն իրավիճակներ են, և եթե ՕՃՏ-ն ո՛չ ալիքի երկարության n -պատիկն է, ո՛չ էլ $(n+1/2)$ -պատիկը, ապա ինտերֆերենցիան կստացվի կառուցողականի և ապակառուցողականի միջև եղած որևէ միջանկյալ տարբերակով: Այդպիսով, ազդանշանի ինտենսիվությունը կունենա հնարավոր առավելագույն և նվազագույն արժեքների միջև ընկած որևէ միջանկյալ արժեք: Քանի որ հայելին հետ ու առաջ է շարժվում (կամ պտտվում), ազդանշանի ինտենսիվությունն էլ աճում ու նվազում է, ինչը հանգեցնում է ալիքի կոսինուսային աճին: Այս բոլոր քայլերի արդյունքում ստացված դիագրամը սահմանվում է որպես ինտերֆերագիր [16]:

Երբ դետեկտվում է ոչ թե միալիքային, այլ լայնաշերտ աղբյուրից եկող ճառագայթ, ապա ինտերֆերագրի վրա հայտնվում է պիկ՝ ճանապարհի գրոյական տարբերություն (ՃՁՏ) կետում, որտեղ ամենամեծ քանակով լույսն է անցնում ինտերֆերաչափից դեպի դետեկտոր: Այլ հեռավորությունների սքանավորման ժամանակ նկատվում է ազդանշանի արագ անկում, քանի որ հայելիները շարունակաբար հետ ու առաջ են շարժվում: Նկ. 1.26.-ը ցույց է տալիս լայնաշերտ աղբյուրի ինտերֆերագիրը:



Նկ. 1.26. Ինտերֆերագրի օրինակ. կենտրոնական պիկը ՃՁՏ կետում [15]

Այն համակարգերը, որտեղ ՕՃՏ-ն գեներացվում է շարժական հայելու պտտողական շարժման արդյունքում, մեծ արդյունավետություն են ապահովում (նկ. 1.27.) [15]:



Նկ. 1.27. Ինտերֆերաչափում շարժական հայելու պտտողական շարժմամբ ՕՃՏ-ի փոփոխության մոդելը [15]

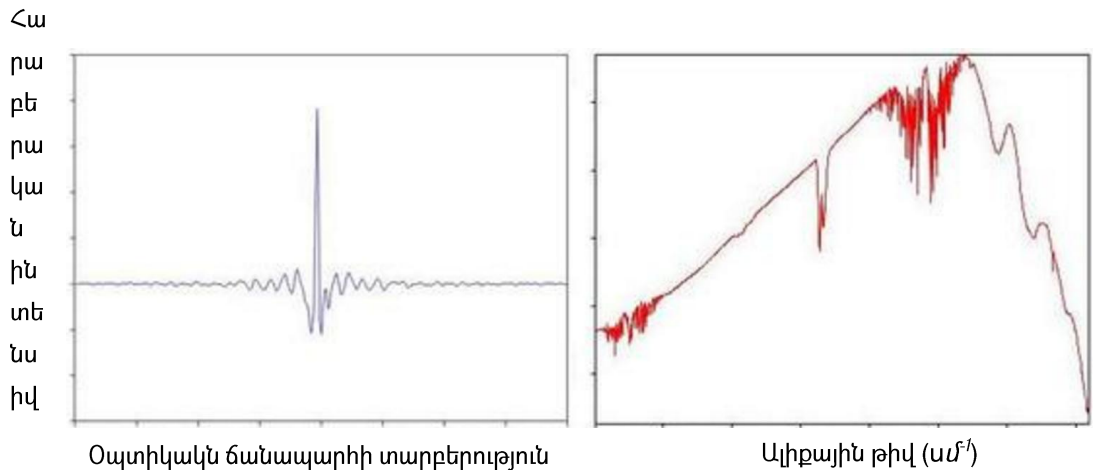
Տարածված համակարգերից մեկում ճառագայթներից մեկի ճանապարհը ներառում է զուգահեռ հայելիների զույգ, որոնք կարող են պտտվել՝ փոփոխելով օպտիկական ճանապարհը, առանց շեղելու վերադարձող ճառագայթը:

Մեկ այլ օրինակ է կրկնակի ճոճանակներով մոդելը, որտեղ ինտերֆերաչափի մի թևում օպտիկական ճանապարհի աճը զուգորդվում է մյուս թևում դրա նվազման հետ:

Ինտերֆերագրի Ֆուրյեի ձևափոխությունը սպեկտրի:

Առաջինը Լորդ Ռեյլին է բացահայտել, որ սպեկտրը և իր ինտերֆերագիրն իրար հետ կապակցված են **Ֆուրյեի ձևափոխությամբ**: Այս հայտնագործությունը նա կատարել է 1892 թ.-ին: Բայց առաջինը Ֆելգերին է հաջողվել ինտերֆերագիրը փոխակերպել սպեկտրի: Այս արդյունքին նա հասել է ավելի քան կես դար հետո: Ֆուրյեի արագ ձևափոխության մեթոդը, որի վրա հիմնված են ժամանակակից ԻԿ սպեկտրաչափները, ներմուծվել է 1965 թ.-ին Քուլեի և Տուկեի կողմից (Քուլե-Տուկեի ալգորիթմ): Այն լայնորեն կիրառվում է սպեկտրաչափության վերլուծական մեթոդներում՝ անընդհատ-ալիքային (ցրող ցանցերի վրա հիմնված) սպեկտրաչափության համեմատ ունեցած մի քանի ակնառու առավելությունների շնորհիվ [16]:

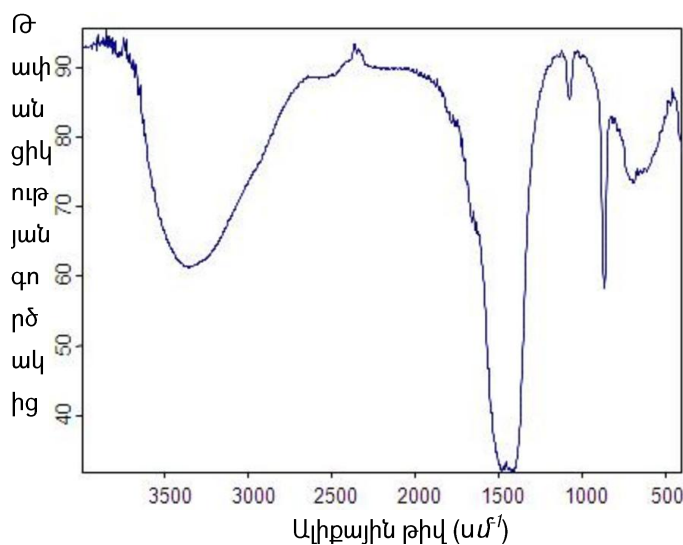
Նկ. 1.28.-ը ցույց է տալիս Ֆուրյեի արագ ձևափոխությամբ բազմազույն լույսի ինտերֆերագրից ստացված սպեկտրը:



Նկ. 1.28. Բազմազույն լույսի ինտերֆերագիրը (ω) և դրա սպեկտրը (ρ) [16]

Ինտերֆերագիրը ժամանակի ֆունկցիա է, և ընդունված է ասել, որ այս ֆունկցիայի ելքային արժեքները գտնվում են ժամանակային տիրույթում: Ժամանակային տիրույթը Ֆուրյեի ձևափոխության ենթարկելով՝ ստացվում է հաճախականային տիրույթը, ինչի վերձանմամբ էլ ստացվում է սպեկտրը:

Ինտերֆերագիրը փոխակերպվում է ԻԿ կլանման սպեկտրի (նկ. 1.29.), որը սովորաբար գրաֆիկորեն ներկայացվում է կլանման ինտենսիվության կամ թափանցիկության գործակցի (տոկոսներով, %)՝ ալիքի երկարությունից կամ ալիքային թվից ունեցած կախվածությամբ:



Նկ. 1.29. Նմուշի ԻԿ կլանման սպեկտրը [16]

1.2.1. Ֆուրյեի ձևափոխությամբ ԻԿ սպեկտրաչափների առավելությունները

Ֆուրյեի ձևափոխության մեթոդը կիրառող ժամանակակից ԻԿ տիրույթի սպեկտրաչափներն անընդհատ-ալիքային (ցրող ցանցերի վրա հիմնված) սպեկտրաչափների համեմատ ունեն մի քանի ակնառու առավելություններ. մոտ 10.000 անգամ մեծ արագություն, մոտ 100 անգամ մեծ ազդանշան-աղմուկ հարաբերություն և չափումների ու հաշվարկների ավտոմատացման հնարավորություն: Այս առավելություններն են պատճառը, որ Ֆուրյեի ձևափոխության մեթոդով աշխատող սպեկտրաչափները ստացել են լայն տարածում և շատ դեպքերում դուրս են մղել ցրող ցանցերի վրա հիմնված գործիքները:

Ազդանշանի ընտրանքի կամ Ֆելգերի առավելություն: Ինչպես նշվել է, չափման ժամանակ ինտերֆերաչափը էներգիան չի բաժանում առանձին բաղկացուցիչ հաճախականությունների: Ինտերֆերագրի յուրաքանչյուր կետ տեղեկատվություն է պարունակում չափվող լույսի յուրաքանչյուր ալիքի երկարության վերաբերյալ: Շարժական հայելու ամեն մի քայլ նշանակում է ԻԿ սպեկտրի ամբողջական սքանավորում: Առանձին սքանավորման արդյունքները կարող են միավորվել՝ առաջացնելով միջինացված ազդանշան: Այս առավելությունը նշանակում է, որ ցրող ցանցերով գործիքների մեծ մասի մեկ լրիվ սքանավորումից էլ կարճ ժամանակում Ֆուրյեի ձևափոխության մեթոդով աշխատող գործիքները կարող են բազմաթիվ սքանավորումներ կատարել և միջինացնելով տվյալները՝ առաջացնել չափման ավելի ճշգրիտ արդյունք: Կարելի է կատարել նաև միջանկյալ հաշվարկներ՝ ազդանշանի վերականգնելիությունը ստուգելու մամար: Դա որոշակի հաշվարկային ժամանակ է խլում, բայց ԻԿ տիրույթի դեպքում դրանք շատ կարճ են տևում (մի քանի մկվ) [12-14]:

Թողունակության կամ ժակկինոյի առավելությունը: Քանի որ Ֆուրյեի ձևափոխությամբ սպեկտրաչափները չեն պարունակում լուսաճեղք, ապա չի սահմանափակվում դետեկտորին հասնող լույսի քանակությունը: Կիրառված հայելիների քանակի նվազեցման և որակի բարձրացման շնորհիվ կարելի է

փոքրացնել անդրադարձման կորուստները: Արդյունքում՝ դետեկտորին առաքվում է ավելի մեծ էներգիա՝ ցրող ցանցերով սպեկտրաչափների համեմատությամբ: Ավելի ուժեղ ազդանշանը հանգեցնում է ազդանշան-աղմուկ հարաբերակցության լավարկման: Դա էլ իր հերթին նշանակում է, որ փոքր քանակով կլանումների դեպքում գործիքի զգայնությունը ավելի մեծ կլինի, իսկ նմուշի համար սպեկտրում ստացված մանրամասներն ավելի հստակ և զանազանելի կլինեն: Օրինակ, սպիտակուցների ԻԿ վերլուծությունը գրեթե անհնար է անել դասական ցրող ցանցային գործիքով, մինչդեռ Ֆուրյեի ձևափոխության մեթոդով դա սովորական չափում է:

Գերբարձր կետայնությամբ սպեկտր ստանալու համար Ֆուրյեի ձևափոխությամբ ԻԿ սպեկտրաչափները նույնպես լոսաճեղք (դիաֆրագմա/ապերտուրա) են կիրառում, սակայն լույսի սահմանափակումը շատ խիստ չէ, և ընտրանքի առավելությունը հավասարակշռում է կորուստը [12-14]:

Կոնսսի ճշգրտության առավելությունը: Ֆուրյեի ձևափոխությամբ սպեկտրաչափներում շարժական հայելու արագությունը և հայելու շարժման ամբողջ ընթացքի յուրաքանչյուր քայլում տվյալների հավաքագրումը կառավարելու համար կիրառվում է կոհերենտ լույսի աղբյուր՝ լազեր: Պարբերաբար, երբ լազերի ազդանշանը հատում է զոյական կետը, միացվում է անալոգաթվային փոխակերպիչը՝ ԻԿ ազդանշանը չափելու համար: Այս լազերի ճառագայթն օգտագործվում է նաև որպես էտալոնային ազդանշան: Սա վերացնում է աշխատանքից առաջ նախնական ճշտաբերման անհրաժեշտությունը: Այս դեպքում Ֆուրյեի ձևափոխությամբ սպեկտրաչափով տարբեր ժամանակներում ստացված սպեկտրները կարելի է վստահորեն համեմատել՝ անկախ դրանց ստացման ժամանակային (նույնիսկ տարիների) տարբերությունից: Այս հնարավորությունը առկա չէ դիսպերսիվ (ցրող ցանցերով) համակարգերում կամ արտաքին ճշտաբերման ստանդարտներ պահանջող որևէ այլ համակարգում [12-14]:

1.2.2. Ֆուրյեի ձևափոխությամբ ֆոտոսպեկտրաչափի թերությունները

Չնայած Ֆուրյեի ձևափոխությամբ ժամանակակից ԻԿ սպեկտրաչափները բավականաչափ հզոր են և դասական ցրող ցանցերով սպեկտրաչափների համեմատ ունեն կատարողականության բազմաթիվ անվիճելի առավելություններ, սակայն դրանք շատ հաճախ կիրառելի չեն դաշտային պայմաններում իրական ժամանակում չափումների, մոնիտորինգի և հեռավերլուծության համար: Գործիքի չափը փոքրացնելիս սովորաբար տուժում է սպեկտրաչափի թույլատրող ունակությունը (10 սմ ՕՃՏ-ն տեսականորեն ապահովում է 0.1 սմ² սահմանային թույլատրող ունակություն): Կառուցվածքի անբաժան մաս հանդիսացող բարձր ճշգրտությամբ արտադրված հայելիները, ճառագայթի բաժանիչը և մեխանիկական հանգույցները շատ թանկարժեք են, փխրուն և զգայուն կիրառության պայմանների նկատմամբ: Ավելին, ՕՃՏ-ի մեծացմանը զուգընթաց դժվարանում է օպտիկական ճանապարհների շեղման մեծ տիրույթում դրանց անհրաժեշտ ճշգրտության ապահովումը, ինչը խնդրահարույց է դարձնում թույլատրող ունակության հետագա մեծացումը: Լինելով մեծ, ծանր և դժվար տեղաշարժելի՝ սահմանափակվում է նաև դրանց կիրառությունը բազմաթիվ ոլորտներում (օր.՝ գյուղատնտեսություն, սննդի որակի փորձաքննություն):

Եզրակացություն

- Սպեկտրային վերլուծության համար ներկայումս հասանելի ֆոտոսպեկտրաչափական համակարգերը բազմակի կիրառության չեն և յուրաքանչյուր նոր կիրառության ապահովման համար պահանջում են լրացուցիչ սարքեր և ծրագրային ապահովման փոփոխություն կամ լրացում: Այդպիսով դրանք դառնում են թանկ և դաշտային պայմաններում տեղակայման և կիրառման համար անհարմար:
- Լինելով մեծ, ծանր և դժվար տեղաշարժելի՝ ժամանակակից ֆոտոսպեկտրաչափների կիրառությունը բազմաթիվ ոլորտներում (օր.՝ գյուղատնտեսություն, սննդի որակի փորձաքննություն) սահմանափակ է:
- Ցրող ցանցերով գործիքներում սպեկտրի յուրաքանչյուր ալիքի երկարություն պետք է առանձին չափվի՝ ցանցի միջոցով իրականացվող սքանավորման գործընթացին զուգընթաց: Քանի որ նմուշի ամբողջական սպեկտրային

սքանավորումը կարող է շատ դանդաղ գործընթաց լինել, ցրող ցանցերով գործիքներում այն սովորաբար միայն մեկ անգամ է կատարվում:

- Սպեկտրի թույլատրելիության աճին զուգընթաց՝ ցրող ցանցերով գործիքներում լուսաճեղքը դառնում է ավելի ու ավելի սահմանափակող գործոն: Ալիքների ավելի նեղ շերտով փունջ ստանալու համար լուսաճեղքը ավելի շատ է փակվում՝ կրճատելով գործիքի մեջ մտնող լույսի քանակը (ճառագայթի ինտենսիվությունը), ինչի արդյուքում բոլոր ոչ իդեալական նմուշների համար ցածր որակի սպեկտրային բնութագիր է ստացվում:
- Բարձր թույլատրելիությունը (սպեկտրի բարձր կետայնություն) ենթադրում է նաև սքանավորման շատ ցածր արագություն, հետևաբար՝ բարձր թույլատրելիությամբ դիսպերսիոն (ցրման) սպեկտր ստանալու համար տվյալների հավաքագրումը կարող է շատ երկար տևել:
- ԼԿՍ մատրիցները վերացնում են լույսի ցրումից հետո լուսաճեղքի միջոցով առանձին ալիքի երկարության ընտրության խնդիրը՝ դետեկտորի վրա ընկնող բոլոր ալիքները գրանցելով միաժամանակ: Սակայն վերջիններս ունեն մի շարք կարևոր թերություններ (օր.՝ կառավարման և տակտավորման համակարգերի բարդությունը, տվյալի բիթ առ բիթ ստացումը, երկարատև լուսակայման կամ լույսի մեծ ինտենսիվության պայմաններում լիցքի հագեցումը, կուտակվող մնացորդային լիցքը, շատ մեծ մթնային հոսանքները սենյակային ջերմաստիճանում), որոնք սահմանափակում են դրանց լայն տարածումը:

Վերոնշյալի համադրմամբ ակնհայտ է դառնում, որ բազմաթիվ ոլորտներում կիրառության նպատակային պահանջները անհրաժեշտ են դարձնում նոր կառուցվածքով, դյուրակիր, էժան և արագագործ գործիքի մշակումը:

Խնդիրներն արդյունավետ կերպով կարող են լուծվել լույսի ընտրողական զգայնությամբ, զգայուն, փոքր աղմուկներով նոր տիպի կիսահաղորդչային (սիլիցիումային) ֆոտոդետեկտորի կիրառմամբ՝ օժտված լուսային ազդանշանի գրանցման, չափման և առանձին չափումների համադրմամբ վերջնական սպեկտրային բնութագրի ստացման նոր սկզբունքով: Դա թույլ կտա մեկ ֆոտոսպեկտրաչափական սարքի մեջ ամփոփել սիլիցիումային դետեկտորների բոլոր առավելությունները՝ խուսափելով ԼԿՍ մատրիցների կառավարման բարդության և աղմկակայունության

հետ կապված խնդիրներից: Միևնույն ժամանակ, դա կվերացնի բարդ, զգայուն և թանկ օպտիկական ու մեխանիկական համակարգերի անհրաժեշտությունը:

Վերջնարդյունքում՝ հնարավորություն կստեղծի չափման նոր սկզբունքով աշխատող, բավականաչափ արագագործ և ճշգրիտ, դյուրակիր և էժան, օբյեկտները հեռավերլուծելու ունակությամբ ֆոտոսպեկտրաչափի մշակման համար:

ԳԼՈՒԽ 2. Նոր տիպի կիսահաղորդչային դետեկտորի մշակումը և փորձարկումը

2.1. Օպտիկական սպեկտրաչափությամբ վտանգավոր նյութերի հայտնաբերման և հետազոտության կարևորությունը

Ֆոտոսպեկտրաչափական մեթոդով նյութերի հեռահար հայտնաբերումը թույլ է տալիս ճանաչել վտանգավոր նյութերը ապահով հեռավորության վրա՝ հեռու մնալով խոցման տիրույթից: Ընթանում են աշխատանքներ այս մեթոդաբանությունը նույնիսկ կենսաբանական վտանգների հայտնաբերման ոլորտ ընդլայնելու ողղությամբ: Հետևաբար՝ այսպիսի մեթոդների և լուծման ճանապարհների արդյունավետության բարձրացումը առաջնային կարևորություն ունի, ինչը թույլ կտա արագ արձագանքել կրիտիկական իրավիճակներին: Մասնավորապես, կարևոր է հեշտ կիրառելի

առաջնային տվիչների հարթակի ստեղծումը, որը թույլ կտա կատարել տարբեր միջավայրերում գտնվող զանազան նյութերի հեռավերլուծություն:

Հեռաֆոտոսպեկտրաչափական տվիչները մեր օրերում հատուկ ուշադրության են արժանանում, քանի որ դրանք անհրաժեշտ տեղեկություններ են տալիս հետազոտվող միջավայրի բաղադրության մասին՝ այդպիսով անվտանգության տեսակետից լուծելով նյութերի ճանաչման խնդիրը [21-26]: Այնուամենայնիվ, գոյություն ունեցող միջոցներով բնական մարմինների հետազոտություններից ստացված տեղեկատվությունը բավարար չէ դրանց որակական և քանակական վերլուծություններն իրականացնելու համար: Զգալի բաց կա նույնական մարմինների սպեկտրային բնութագրերի ցրման իմաստով՝ նույնիսկ օպտիկական սպեկտրի հետազոտության առաջադեմ մեթոդների պարագայում, որոնք հաճախ հաշվի չեն առնում չափման արդյունքների հարաբերակցությունը: Սպեկտրային տեղեկատվության մշակումը ստացվում է քանակական վերլուծությամբ, և այդպիսի արդյունքների հուսալիությունը ուղիղ կերպով կախված է կիրառվող սարքի պարամետրերից:

Շատ կարևոր է, որ մեծ մակերեսների մոնիտորինգի համար պահանջվում են շատ տվիչներ: Տարածքների աղտոտման սցենարների վերաբերյալ հավաստի տեղեկատվության ապահովման հնարավորություն ընձեռող տվիչների ռազմավարորեն ճշգրիտ տեղադրման և դրանց գնի լավարկման համար խիստ անհրաժեշտ է մշակել.

ա) սպեկտրային բարձր զգայնությամբ, էժան և փոքր չափերով տվիչներ, որոնք հարմար կլինեն դաշտային պայմաններում նյութերի նույնականացման համար,

բ) այդ տվիչների միջոցով չափված տվյալների ճշգրիտ գրանցման և մշակման ալգորիթմներ:

Վերոնշյալ խնդիրների արդյունավետ լուծում է այնպիսի կիսահաղորդչային կառուցվածքի մշակումը, որում ընթացող էլեկտրոնային պրոցեսները կապահովեն ընկնող էլեկտրամագնիսական ճառագայթման բարձր ճշգրտությամբ վերլուծությունը: Մի շարք հետազոտողներ իրենց ուսումնասիրությունները կատարել են՝ օգտագործելով բազմագույն ֆոտոընդունիչներ [27-35], որոնցում կիրառվում են կա՛մ բազմաշերտ կառուցվածքներ, կա՛մ բազայի տարբեր հաստություններով ակտիվ շերտերի կասկադային շղթա: Այդպիսի ֆոտոընդունիչներում ընկնող ճառագայթման առանձին ալիքների թափանցման տարբեր խորություններն ապահովում են

Ֆոտոհաղորդականության տարբեր մակարդակներ: Չափման արդյունքների մաթմատիկական մոդելավորումը տեղեկատվություն է տրամադրում ինտենսիվության սպեկտրային բաշխման մասին: Վերոնշյալ կառուցվածքներում գրանցման բարձր ճշգրտության համար շատ կարևոր է բազմակի լուսադիոդների և բազմաշերտ կառուցվածքների նանոմետրական ճշտության և նույնական կլանման պայմանների առկայությունը: Լուսադիոդների և բազմաշերտ կառուցվածքների արտադրության բարդությունները և արտաքին լարմամբ սպեկտրային զգայնության ղեկավարման դժվարությունները խոչընդոտում են դրանց մշակմանը, պատրաստմանը և կիրառմանը:

Այս հետազոտությամբ առաջարկվում են ճշտության բարձր մակարդակով սպեկտրային վերլուծության կենսունակ հնարավորություններ՝ n^+p-n^+ կառուցվածքներում ընթացող էլեկտրոնային պրոցեսների միջոցով:

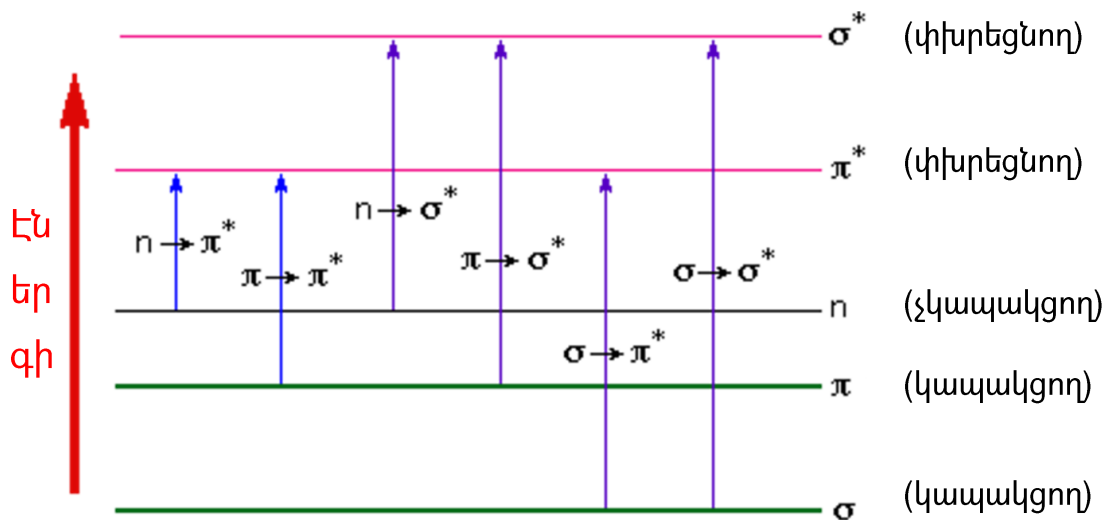
2.2. Նյութերի հայտնաբերումը և հեռավերլուծությունը՝ ճառագայթի մոտակա ՈւՄ և տեսանելի միջակայքի սպեկտրաչափություն միջոցով

2.2.1. Կլանման սպեկտրի վերլուծությունը

Նյութի վրա ընկնող ՈւՄ և տեսանելի բարձր հախախականության (ալիքի փոքր երկարություն) ճառագայթի կլանումը պայմանավորված է նյութի մոլեկուլում ազատ էլեկտրոնների գրգռմամբ: Էլեկտրոնների գրգռումը կամ «անցումը» տեղի է ունենում տարբեր էներգետիկ վիճակների միջև և ներկայացնում է բարձր էներգիայով գործընթաց (~ 100 կԿալ/մոլ): Սպեկտրի տեսանելի միջակայքը ներառում է 36-ից մինչև 72 կԿալ/մոլ էներգիայով ֆոտոններ, իսկ ՈւՄ միջակայքը՝ էներգիաների այդ միջակայքն ընդլայնում է մինչև 143 կԿալ/մոլ: 200 նմ-ից կարճ (վակուումային) ՈւՄ ալիքների միջակայքի կիրառությունը տեսանելի տիրույթի հետ միասին պայմանավորված է որոշ բարդություններով (օր.՝ սիլիցիումային դետեկտորների մեծ մասնը չի գրանցում այդ միջակայքը), և այդ միջակայքը գրեթե կիրառելի չէ որպես կառուցվածքային վերլուծության միջոց [18]:

Վերոնշյալ էներգիաները բավարար են մոլեկուլում էլեկտրոնի գրգռման և դեպի ավելի բարձր էներգետիկ մակարդակներ (ուղեծրեր) անցում կատարելու համար: Այդ

պատճառով սպեկտրի այս միջակայքում իրականացվող սպեկտրաչափությունը երբեմն անվանում են նաև «էլեկտրոնային սպեկտրաչափություն»: Ստորև բերված դիագրամը (նկ. 2.1.) ցույց է տալիս էլեկտրոնային գրգռման հնարավոր տարբեր տեսակները, որոնք կարող են տեղի ունենալ օրգանական մոլեկուլներում:



Նկ. 2.1. Օրգանական մոլեկուլներում հնարավոր էլեկտրոնային գրգռման տարբեր տեսակները [18]

Հնարավոր անցումների նշված վեց տեսակներից միայն նվազագույն էներգիայով երկուսն են (նկ. 2.1.-ի ձախ կողմում) համապատասխանում սպեկտրի 200-ից 800 նմ միջակայքի ալիքների կլանման դեպքերին: Որպես կանոն, էներգիապես նպաստավոր էլեկտրոնային անցումը տեղի է ունենում ամենաստորին զբաղեցված մոլեկուլային ուղեծրից դեպի ամենավերին ազատ մոլեկուլային ուղեծիր, ինչից հետո էլեկտրոնը հայտնվում է գրգռված վիճակում: Երբ նմուշի մոլեկուլները բաց են լույսի առաջ, որի ֆոտոնների էներգիան համընկնում է մոլեկուլի ներսում հնարավոր էլեկտրոնային անցման էներգիային, ապա ավելի բարձր էներգետիկ ուղեծիր անցնող էլեկտրոնները կկլանեն լույսի էներգիայի մի մասը:

2.2.2. Լույսի կլանումը և ֆլուորեսցենցիան

Երբ որոշակի նյութ ճառագայթվում է, ապա այն, պայանավորված նյութի մոլեկուլային կառուցվածքով, ընկնող ճառագայթից կլանում է իրեն բնորոշ որոշակի երկարության ալիք (կամ ալիքներ): Դա նշանակում է, որ մոլեկուլում կայուն (հանգստի)

վիճակում գտնվող էլեկտրոնները կլանել են էներգիա և անցել են գրգռված (ավելի բարձր էներգիայով և անկայուն) վիճակի: Այնուհետ, գրգռված վիճակի անցած էլեկտրոնները կորցնում են էներգիան ջերմության արձակման, այլ մոլեկուլների հետ բախման կամ այլ գործոնների պատճառով և վերադառնում են իրենց հիմնական վիճակին: Այդ գործընթացը կոչվում է չճառագայթող անցում: Երբ տեղի է ունենում անցում հիմնական վիճակին, ապա նախապես կլանված լույսի էներգիան կարող է արձակվել կրկին լույսի տեսքով: Աղ. 2.1.-ում ներկայացված են էլեկտրոնների այդպիսի անցման դեպքում հնարավոր լույսի ճառագայթման տարբեր տիպերը:

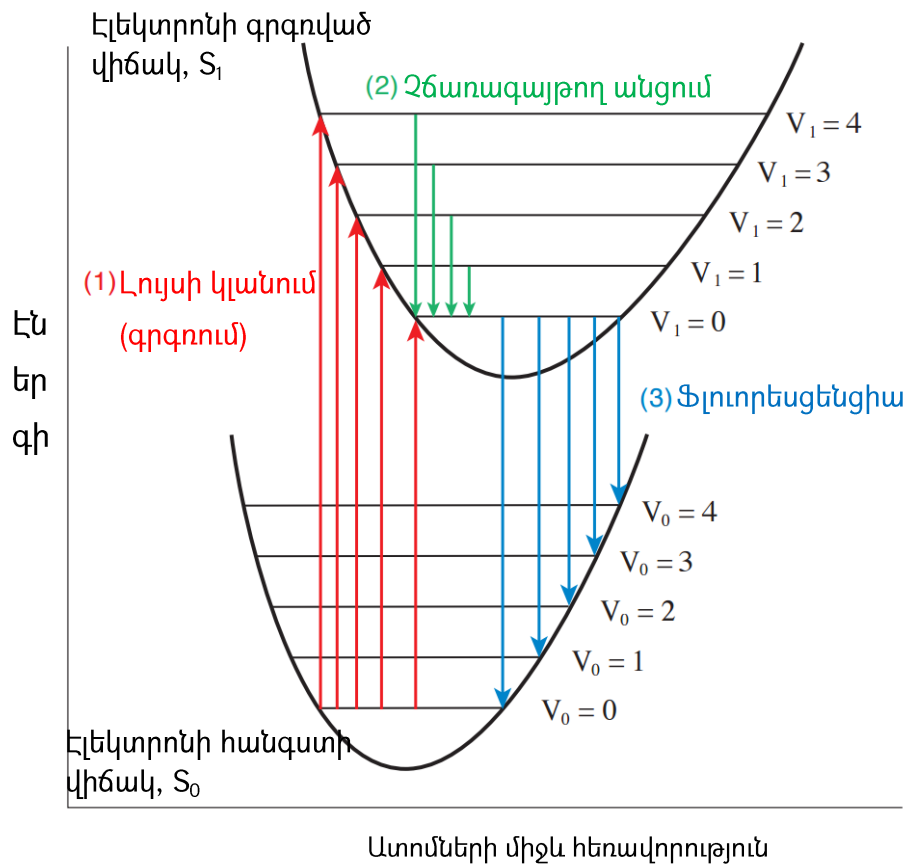
Աղյուսակ 2.1. Լույսի ճառագայթման տիպերը [19]

| Լույսի ճառագայթման տիպերը (լյումինեսցենցիա) | Գրգռման աղբյուրը (էներգիայի ստացման ճանապարհը) |
|--|---|
| ջերմային ճառագայթում | Ջերմություն |
| ֆոտոլյումինեսցենցիա (ֆլուորեսցենցիա, ֆոսֆորոսցենցիա) | լուսային ճառագայթ |
| էլետրոլյումինեսցենցիա | էլետրական լարում |
| քեմիլյումինեսցենցիա | քիմիական ռեակցիա |
| բիոլյումինեսցենցի | քիմիական ռեակցիա օրգանիզմներում (ֆերմենտների օքսիդացում, որոնցից շատերը համարվում են նաև քեմիլյումինեսցենցիա) |

Ուլտրամանուշակագույն և տեսանելի ֆոտոսպեկտրաչափի պարագայում լույսի կլանումը կախված է որոշակի նյութի առկայությունից, և կլանման սպեկտրով կարելի է հայտնաբերել նյութը և չափել դրա խտությունը: Մինչդեռ ֆլուորոսպեկտրաչափը ստանում է ճառագայթման սպեկտր՝ ճառագելով նյութի վրա և չափելով դրա արդյունքում գրգռված նյութից ճառագայթված լույսը [19]:

Նկ. 2.2.-ում մոլեկուլում էլեկտրոնի հանգստի վիճակը ներկայացված է S_0 -ով, իսկ գրգռված վիճակը՝ S_1 -ով: Յուրաքանչյուր վիճակ ներառում է շատ ավելի փոքր տատանողական մակարդակների էներգիաներ, քան էլեկտրոնի էներգիան է: Այդ մակարդակները ներկայացված են են $V_0 = j$ ($j = 0, 1, 2, \dots$) տեսքով, որտեղ էլեկտրոնի հանգստի վիճակում $V_1 = 0$, իսկ էլեկտրոնի գրգռված վիճակում $V_1 = j$: Էներգիան ցույց

է տրված ուղղահայաց առանցքով, իսկ ատոմների միջև հեռավորությունը՝ հորիզոնական առանցքով:

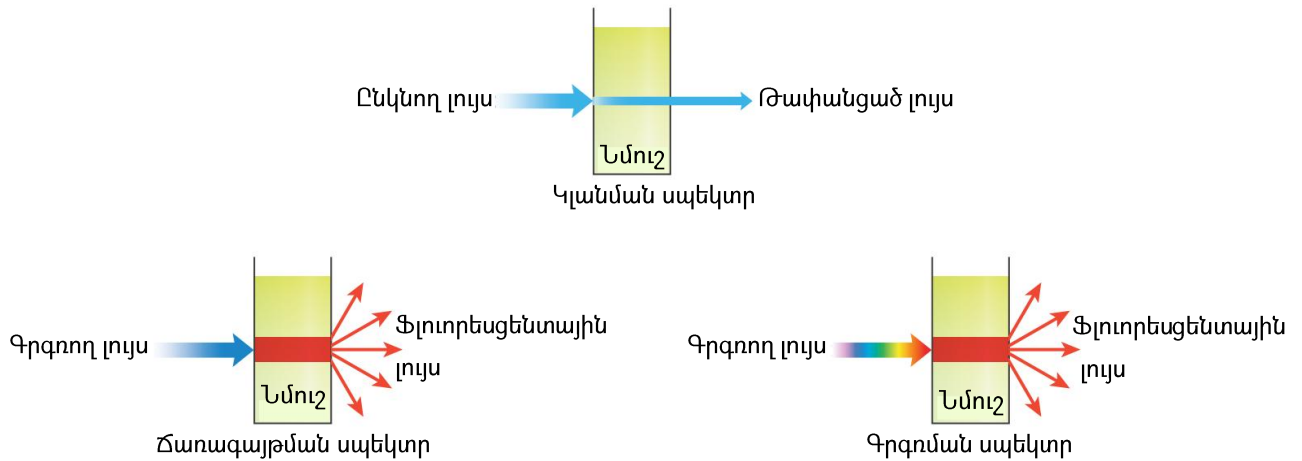


Նկ. 2.2. Կլանում, ֆլուորեսցենցիա և էներգետիկական մակարդակներ [19]

Սենյակային ջերմաստիճանում մոլեկուլը գտնվում է նվազագույն էներգետիկ մակարդակում՝ S_0 -ում $V_0 = 0$: Երբ մոլեկուլը կլանում է S_0 -ի և S_1 -ի էներգիաների միջև եղած տարբերությանը համապատասխան ալիքի երկարությամբ (հաճախականությամբ) լույս, ապա էլեկտրոնը կատարում է նկ. 2.2.-ի (1) դեպքին համապատասխան անցում: Ուլտրամանուշակագույն և տեսանելի ֆոտոսպեկտրաչափը չափում է այս անցումը որպես կլանման սպեկտր, իսկ ֆլուորոսպեկտրաչափը՝ որպես գրգռման սպեկտր: S_0 -ի և S_1 էլեկտրոնի անցման համար անհրաժեշտ ժամանակը 10^{-15} վրկ է: Հետևաբար՝ էլեկտրոնի անցումը կատարվում է ավելի վաղ, քան ատոմի միջուկի դիրքի հնարավոր փոփոխությունը մոլեկուլի լայնական տատանման կամ այլ գործոնների պատճառով: Որպես հետևանք, ատոմի միջուկի դիրքը մոլեկուլում չի փոխվում էլեկտրոնի անցումից անմիջապես հետո կամ առաջ: Այս կանոնը նշվում է որպես Ֆրանկ-Կոնդոնի սկզբունք: Քանի որ մոլեկուլի

ներսում էլեկտրոնի դիրքը S_1 վիճակում տարբերվում է S_0 վիճակի դիրքից, ապա ատոմի միջուկի դիրքը S_1 -ի յուրաքանչյուր տատանողական էներգիայի մակարդակում նույնը չէ, ինչ որ S_0 -ի դեպքում, չնայած որ էլեկտրոնի անցումը S_1 -ի պահպանում է միջուկի դիրքը՝ S_0 -ի $V_0 = 0$ մակարդակում: Գրգռված վիճակում այն անկայուն է բարձր տատանողական էներգիայի պատճառով: Այս բարձր էներգիայով վիճակը նշվում է որպես Ֆրանկ-Կոնդոնի վիճակ: Նվազագույն էներգիայով՝ $V_1 = 0$ մակարդակում, ատոմական միջուկի կայուն դիրքի հասնելու համար Ֆրանկ-Կոնդոնի վիճակում գոյություն ունեցող մոլեկուլը ավելցուկային էներգիայի ցանկացած չափաբաժին կարծակի որպես տատանողական էներգիա՝ տեղաշարժելով միջուկը այնպես, որ չճառագայթող անցումը դեպի $V_1 = 0$ տեղի է ունենում առանց որևէ լույսի ճառագայթման: Երբ էլեկտրոնը $V_1 = 0$ մակարդակից կրկին վերադառնում է S_0 վիճակը ((3) անցումը նկ. 2.2.-ում), ավելցուկային էներգիան արձակվում է լույսի տեսքով: Այդ լույսը կոչվում է **ֆլուորեսցենցիա**: Գրգռման գործընթացի հետ համեմատած ((1) անցումը՝ նկ. 2.2.-ում)՝ ճառագայթման գործընթացի էներգետիկ գոտին ավելի նեղ է: Այդ է պատճառը, որ լուսարձակումը տեղի է ունենում սպեկտրի ավելի երկար ալիքների միջակայքում, քան կլանումն է (նյութի գրգռումը) [19]:

Կան ֆլուորոսպեկտրաչափների դեպքում կիրառվող հիմնականում երկու չափման մեթոդներ: Դրանցից առաջինը, չափելով ֆիքսված գրգռող լույսին ի պատասխան նմուշից ճառագայթվող ֆլուորեսցենցիան, որոշում է ճառագայթման սպեկտրը: Մյուս մեթոդը չափում է շարունակաբար փոփոխվող գրգռող լույսին ի պատասխան ստացվող ֆիքսված երկարությամբ ալիքով գրգռված ճառագայթման սպեկտրը: Նկ. 2.3.-ը պատկերում է սպեկտրային չափման մեթոդներից յուրաքանչյուրի չափման գործընթացը:



Նկ. 2.3. Կլանման, ճառագայթման և գրգռման սպեկտրների ստացումը [19]

Չափելով նմուշից ճառագայթված ֆլուորեսցենցիայի ալիքի երկարությունը և ինտենսիվությունը՝ ճառագայթման սպեկտրը ցույց է տալիս, թե նմուշը լույսի ճառագայթի ո՞ր ալիքի երկարությունն է ամենաինտենսիվ ճառագայթում: Ի հակադրություն դրա՝ գրգռման սպեկտրը կարող է չափել, թե գրգռման լույսի ո՞ր ալիքի երկարությունն է առաջացնում ֆլուորեսցենցիայի ամենաինտենսիվ ճառագայթում (օպտիմալ գրգռման ալիքի երկարություն): Շատ դեպքերում մեծ կլանում ունեցող ալիքի երկարությունները նաև առաջացնում են գրգռվածության բարձր աստիճան և մեծ ինտենսիվությամբ ֆլուորեսցենցիա: Նույն կերպ՝ քիչ կլանվող ալիքի երկարություններն առաջացնում են նվազագույն գրգռվածություն և ֆլուորեսցենցիայի փոքր ինտենսիվություն:

Կլանումը նկատվում է, երբ նմուշը դրված է գրգռված և հանգստի վիճակների էներգիաների տարբերությանը համապատասխան ալիքի երկարությամբ լույսի առջև: Այդ պատճառով տեսանելի և ՈւՄ տիրույթի ֆոտոսպեկտրաչափը, որը չափում է ընկնող և թափանցած լույսերը, ի վիճակի է չափելու տեսանելի և ՈւՄ միջակայքում կլանող բոլոր մոլեկուլների սպեկտրը: Ի հակադրություն դրա (քանի որ ոչ բոլոր մոլեկուլներն են ճառագայթում՝ ֆլուորեսցենտում)՝ անցումները չճառագայթող են, երբ ավելցուկային էներգիան արձակվում է ջերմության տեսքով: Ֆլուորոսպեկտրաչափի միջոցով սպեկտրի չափելի լինելը որոշվում է այն հանգամանքով, թե ինչ գործընթացի պատճառով է տեղի ունեցել էներգիայի չեզոքացումը՝ չճառագայթող թե՛ լույսի ճառագայթմամբ: Նույնիսկ եթե մոլեկուլը ճառագայթում է ֆլուորեսցենցիա, հանգստի

վիճակ վերադառնալիս այն իր գրգռված վիճակի ավելցուկային էներգիան ամբողջությամբ չի արձակում որպես լույս. դրա մի մասը արձակվում է ջերմության տեսքով [19]:

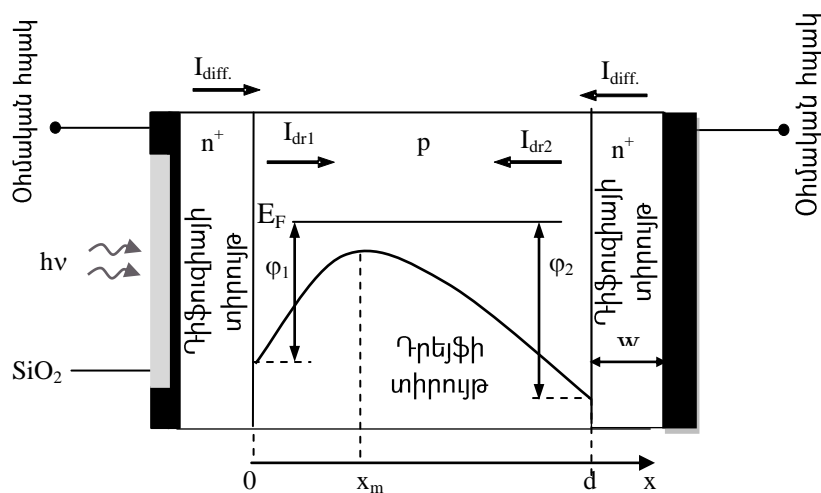
Ցրված կամ բարձր կարգի լույսի (նկ. 1.22.) ֆիլտրման համար կիրառվում են լուսազտիչներ (նկ. 1.23.), որոնք միևնույն ժամանակ պետք է անարգել բաց թողնեն նմուշի լուսարձակման ալիքների միջակայքը:

2.3. Կիսահաղորդչային ֆոտոդետեկտորային սարքի կառուցվածքը

Հետազոտման օբյեկտը սիլիցիումային կառուցվածք է, որը համատեղելի է ինտեգրալ սխեմաների պատրաստման տեխնոլոգիական ցիկլի հետ և հնարավոր է ամբողջությամբ ստանալ դրա ընթացքում: Այն բաղկացած է n^+p-n^+ երեք տիրույթներից (նկ. 2.4.): p - բազան գրավված է երկու հանդիպակաց արգելքների աղքատացած շերտերով (նկ. 2.4.): Կառուցվածքով հոսող արդյունարար հոսանքը երկու հանդիպակաց պոտենցիալ արգելքների հոսանքների տարբերությունն է: Աղքատացած շերտերի հպման x_m կետի դիրքը (նկ. 2.4.) կախված է կառուցվածքին կիրառված արտաքին լարման բևեռականությունից և շարժվում է դեպի ուղիղ շեղված n^+p անցման (օհմական հպակ) մակերևույթ: x_m կետում էլեկտրոնի պոտենցիալ էներգիան նվազագույնն է: Ինչպես ցույց է տրված նկ. 13-ում, էլեկտրամագնիսական ճառագայթն ընկնում է ձախ օհմական հպակի վրա: Ճառագայթման կլանման հիմնական միջավայրերը աղքատացած շերտերն են և հենց դրանց միջոցով էլ տեղի է ունենում գրանցման գործընթացը [41, 43]:

Համապատասխան բևեռականությամբ կիրառված լարման առկայության պայմաններում գերակշռում է հակառակ շեղված n^+p անցման ազդեցությունը, և դրա հետևանքով անցման աղքատացած շերտը լայնանում է: Այդ նույն ընթացքում ուղիղ շեղված անցման աղքատացած շերտը նեղանում է: Որպես արդյունք՝ հոսանքը հիմնականում որոշվում է հակառակ շեղված $p-n^+$ անցմամբ: Ընկնող էլեկտրամագնիսական ալիքներն ունեն իրենց ալիքի երկարություններին և ինտենսիվություններին համապատասխան թափանցման տարբեր խորություններ:

Քանի որ x_m -ի տեղաշարժը դեպի մակերևույթ (նկ 2.4.-ում «0»-ի ուղղությամբ) լայնացնում է հոսանքի գեներացման տիրույթը, ուստի տարբեր նոր ալիքներ մասնակցում են ֆոտոհոսանքի ձևավորմանը: Ձախ կողմի մակերևույթի ուղղությամբ գոյություն ունեցող բարձր հաղորդականությամբ նեղ p^+ շերտը կարելի է արհամարհել, «0» կետը կարող է ընդունվել որպես մակերևույթ, և լարման անկումը դիմային հպակի վրա նույնպես կարելի է արհամարհել: Սա մեզ թույլ է տալիս չափել ֆոտոհոսանքը, որը տեղեկություն է պարունակում կլանված ալիքների մասին՝ իրենց ալիքի երկարություններին և ինտենսիվություններին համապատասխան:



Նկ. 2.4. n^+ - p - n^+ կառուցվածքը և հոսանքների ուղղությունները դրա կազմում [41, 43]

Առանձին ալիքների մասին տեղեկություն կարելի է ստանալ համապատասխան ալգորիթմի կիրառմամբ: Այդպիսի ալգորիթմի մշակման համար անհրաժեշտ է գտնել x_m -ի, կիրառված V լարման, կլանման α գործակցի և ալիքի F ինտենսիվության միջև եղած կապը:

Հաշվի առնելով, որ բազան ծածկված է հակառակ արգելքների աղքատացած տիրույթներով, կարելի է որոշել պոտենցիալի բաշխումը երկարգեղ կառուցվածքի տարածական լիցքերի տիրույթում, ինչպես ցույց է տրված նկ. 2.5.-ում: Դրա համար լուծենք Պուասոնի հավասարումը, որը դաշտի $V(x)$ պոտենցիալը կապում է այդ դաշտը ստեղծող լիցքերի ծավալային խտության հետ.

$$\frac{d^2V(x)}{dx^2} = -\frac{\rho}{\epsilon_0} : \quad (2.1)$$

Պուասոնի հավասարման մեջ $V(x)$ պոտենցիալը կարելի է կապել էլեկտրոնների $\varphi(x)$ պոտենցիալ էներգիայի հետ. $\varphi(x) = -qV(x)$:

Քանի որ $\rho = qN_a$, ուստի ստանում ենք՝

$$\frac{d^2\varphi}{dx^2} = \frac{N_a q^2}{\varepsilon_0}, \quad (2.2)$$

որտեղ N_a -ն ակցեպտորային խառնուրդների կոնցենտրացիան է, ε -ը՝ նյութի հարաբերական դիէլեկտրիկ թափանցելիությունը, ε_0 ՝ վակուումի դիէլեկտրիկ թափանցելիությունը և q -ն՝ էլեկտրոնի լիցքը:

Տրված հավասարման համար սահմանային պայմանները $x = x_m$ կետում հետևյալն են. $\left(\frac{d\varphi}{dx}\right) = 0$ (նկ. 2.4.-ում x_m -ը էլեկտրոնների պոտենցիալ էներգիաների մինիմումն է) և $x = 0$ կետում $\varphi(x) = \varphi_1$ (նկ. 2.4.): Հաշվի առնելով սահմանային պայմանները՝ ինտեգրենք հավասարում (2.2)-ը.

$$\varphi(x) = \frac{q^2 N_a}{2\varepsilon_0} x^2 - \frac{q^2 N_a}{\varepsilon_0} x_m x + \varphi_1 : \quad (2.3)$$

Երբ $x = d$ (նկ. 2.4.), ապա հավասարում (2.3)-ը կստանա հետևյալ տեսքը.

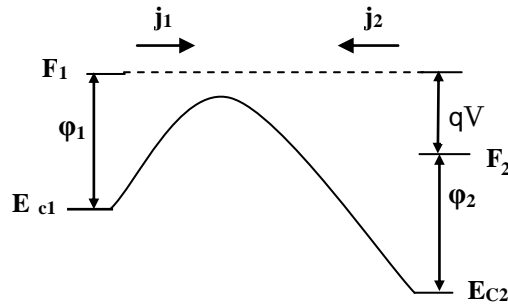
$$\varphi(x) = \frac{q^2 N_a}{2\varepsilon_0} d^2 - \frac{q^2 N_a}{\varepsilon_0} x_m d + \varphi_1 = \varphi_2 + qV : \quad (2.4)$$

Հնարավոր է գտնել x_m -ի և $d - x_m$ -ի կախվածությունը արտաքին լարումից.

$$d - x_m = \frac{d}{2} + \frac{\varepsilon_0(\Delta\varphi + V)}{q^2 N_a d}, \quad (2.5)$$

որտեղ $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$: Եթե արգելքները նույնական են, ապա $\varphi_2 - \varphi_1 = 0$ (նկ. 2.5.), որից բխում է.

$$d - x_m = \frac{d}{2} + \frac{\varepsilon_0 V}{q^2 N_a d}, \quad x_m = \frac{d}{2} - \frac{\varepsilon_0 V}{q^2 N_a d} : \quad (2.6)$$



Նկ. 2.5. Էներգետիկ մակարդակների փոփոխությունը արտաքին լարման ազդեցությամբ [43]

Հավասարում (2.6)-ի միջոցով կարելի է որոշել աղքատացած շերտերի մոդուլացման խորությունը և x_m կետի դիրքը: Օգտագործելով $\Delta x_m = x_{m2} - x_{m1}$ փաստը, մենք կարող ենք որոշել կլանվող ճառագայթման ալիքների երկարությունները և ինտենսիվությունները: Դրա համար նախ որոշում ենք կառուցվածքով հոսող արդյունարար ֆոտոհոսանքը: Ուսումնասիրված ֆոտոդետոկտորներում ֆոտոհոսանքն ունի դիֆուզիոն և դրեյֆային բաղադրիչներ: Դիֆուզիոն ֆոտոհոսանքը որոշելու համար անհրաժեշտ է գտնել n - տիպի կիսահաղորդչում ոչ հիմնական լիցքակիրների խոռոչների p_n խտությունը: Դրա համար լուծվել է հետևյալ միաչափ դիֆուզիոն հավասարումը [36].

$$\frac{\partial^2 p_n}{\partial x^2} - \frac{p_n}{L_p^2} = -\frac{p_{n0}}{L_p^2} - \frac{G(x)}{D_p}, \quad (2.7)$$

որտեղ $L_p = \sqrt{D_p \tau_p}$ -ը n^+ տիրույթում ակցեպտորների դիֆուզիայի երկարությունն է, $G(x) = F_0 \alpha e^{-\alpha x}$ -ը՝ էլեկտրոն-խոռոչ զույգերի գեներացիայի արագությունը, F_0 -ն՝ լուսազգայուն մակերևույթին ընկնող ֆոտոնների ընդհանուր հոսքը, α -ն՝ էլեկտրամագնիսական ճառագայթի կլանման գործակիցն է, D_p -ն՝ n^+ տիրույթում ակցեպտորների դիֆուզիայի գործակիցը, τ_p -ն՝ ավելցուկային ակցեպտորային լիցքակիրների կյանքի տևողությունը և p_{n0} -ն՝ n - տիրույթում ակցեպտորների հավասարակշռված խտությունը: (2.7) հավասարման լուծումը $p_n = p_{n0}$ ՝ $x = \infty$ և $p_n = 0$ ՝ $x = d$ կետում սահմանային պայմանների դեպքում (p_n -ը ոչ հիմնական լիցքակիրների կոնցենտրացիան է թիկունքային n^+ տիրույթում) հետևյալն է.

$$I_{diff} = S \left(q p_{n0} \frac{D_p}{L_p} + q F_0 \frac{\alpha L_p}{1 + \alpha L_p} e^{-\alpha d} \right) : \quad (2.8)$$

[40, 42, 44]-ում ստացվել են այս տիպի կառուցվածքների բազայի երկու արգելքներում գեներացված դրեյֆային հոսանքների արտահայտությունները.

$$I_{dr1} = q F_0 S (1 - e^{-\alpha x_m}), \quad (2.9)$$

$$I_{dr2} = q F_0 S (e^{-\alpha x_m} - e^{-\alpha d}), \quad (2.10)$$

որտեղ α -ն էլեկտրամագնիսական ճառագայթման կլանման գործակիցն է, S -ը լուսազգայուն մակերևույթի մակերեսը, $F_0 = P_{opt}(1 - R) / S h \nu$ -ն՝ միավոր մակերեսին ընկնող ֆոտոնների ընդհանուր հոսքը, որտեղ P_{opt} -ը ճառագայթման հզորությունն է, R -ը՝ անդրադարձման գործակիցը, h -ը՝ Պլանկի հաստատունը, ν -ն՝ էլեկտրամագնիսական ճառագայթման հաճախականությունը և q -ն՝ էլեկտրոնի լիցքը:

Հաշվի առնելով (2.8), (2.9) և (2.10) հավասարումները՝ կառուցվածքով հոսող ընդհանուր հոսանքի արտահայտությունը կլինի.

$$I_{tot} = I_{dr1} - I_{dr2} - I_{diff} = S \left[q F_0 \left(1 - 2e^{-\alpha x_m} + \frac{e^{-\alpha d}}{1 + \alpha L_p} \right) - q n_{p0} \frac{D_p}{L_p} \right] : \quad (2.11)$$

Աշխատանքային բնականոն ռեժիմում n_{p0} -ից կախված արտահայտությունը շատ ավելի փոքր է, քան առաջին անգամը: Հետևաբար՝ այն կարելի է արհամարհել, և (2.11) հավասարումը կստանա հետևյալ տեսքը.

$$I_{tot} = q S F_0 \left(1 - 2e^{-\alpha x_m} + \frac{e^{-\alpha d}}{1 + \alpha L_p} \right) : \quad (2.12)$$

Ինտեգրալ հոսքով (օր.՝ արևի լույսը) ճառագայթման դեպքում ֆոտոհոսանքի (2.12) հավասարումը կստանա հետևյալ տեսքը.

$$\sum_{i,j} I_{Ph\ i,j} = \sum_{i,j} I_{dr1\ i,j} - \sum_{i,j} I_{dr2\ i,j} - \sum_{i,j} I_{dif\ i,j} =$$

$$S q \sum_{i,j} F_0(\lambda_i) \left(1 - 2e^{-\alpha_i x_{mj}} + \frac{e^{-\alpha_i d}}{1 + \alpha_i w} \right), \quad (2.13)$$

որտեղ ($i = 1, 2, 3, \dots$)-ը փոխվում է ինտեգրալ հոսքի մեջ ճառագայթման ալիքի երկարության հետ միասին, իսկ ($j = 1, 2, 3, \dots$)-ը՝ շեղման լարման հետ միասին, $F_0(\lambda_j)$ -ն λ_j ալիքի երկարությամբ ընկնող ֆոտոնների ընդհանուր հոսքն է:

Քանի որ n - տիրույթի լայնությունը (2.12) հավասարման մեջ ավելի փոքր է, քան L_p -ն, (2.13) հավասարման մեջ L_p -ն փոխարինված է w -ով (նկ. 2.4.): Ստորև ներկայացված ալգորիթմի կիրառմամբ, արտաքին շեղման լարումը ΔV քայլով փոփոխելով, հնարավոր է առանձին λ_i ալիքի երկարության և դրա ինտենսիվության գրանցումը՝ այդպիսով ստանալով ալիքների ինտենսիվությունների սպեկտրային կախվածությունը [40, 42, 44]:

Դիտարկվել են հակառակ ուղղված պոտենցիալ արգելքներ պարունակող կառուցվածքի կիրառմամբ ճառագայթման ինտեգրալ հոսքում առանձին ալիքների հայտնաբերման որոշ առանձնահատկություններ: Այդպիսի սցենարներ են կիրառվում հետազոտվող օբյեկտից կլանման և միաժամանակյա ճառագայթման (ֆլուորեսցենցիա) պայմաններում որոշակի ալիքի երկարության և դրա ինտենսիվության հայտնաբերման համար:

Այս հետազոտության մեջ կիրառվել է AMO (ASTM E-490) ստանդարտ արեգակնային ճառագայթման ինտենսիվության սպեկտրային բաշխվածությունը սիլիցիումի (Si) դեպքում և լուսադիոդ (L-813SRC-J4)՝ 660 նմ գերիշխող ալիքի երկարությամբ (նկ. 2.12.) [38]: Քանի որ կիրառված շեղման լարման աճին զուգընթաց թիկունքային արգելքի գրանցման տիրույթը լայնանում է դեպի մակերևույթ [39, 41, 43], դա թույլ է տալիս հաջորդաբար գրանցել ալիքները՝ շարժվելով կառուցվածքի խորքից դեպի դրա մակերևույթ:

Էլեկտրամագնիսական ճառագայթման ինտեգրալ հոսքի սպեկտրային կազմը որոշելու համար ճառագայթման բոլոր առանձին ալիքների ինտենսիվությունները հավասարապես բաժանված են այնպես, որ ներթափանցման խորությունը համապատասխանում է գրանցող միջավայրի հաստությանը ($\sim 4-6$ մկմ): x -ի այդ

առավելագույն արժեքին համապատասխանող ֆոտոհոսանքը կարգավորվում է ամենախոր ներթափանցող ալիքով: Այս պայմաններում ճառագայթման ինտեգրալ հոսքից առանձին ալիքների և դրանց ինտենսիվությունների ընտրության գործընթացը կարելի է նկարագրել ստորև բերված եղանակով:

Ընդունենք, որ առաջնային տեղեկություն պարունակող ազդանշանը ֆոտոհոսանքն է: Նաև ընդունում ենք, որ x_m -ի առավելագույն x_{m1} և x_{m2} արժեքները համապատասխանում են շեղման լարման 1 մՎ փոփոխությանը և ֆոտոհոսանքի I_1 և I_2 արժեքներին: Դրանք ստացվում են միայն ամենախոր ներթափանցած λ_1 ալիքի կլանման արդյունքում: Այդ ֆոտոհոսանքներով, նաև կիրառելով համասեռ միջավայրերում ճառագայթի կլանման՝ Լամբերտի օրենքը, ստանում ենք ալիքի կլանման α գործակիցը.

$$\alpha_i = \frac{1}{\Delta x} \ln \frac{I_2}{I_1}, \quad (2.14)$$

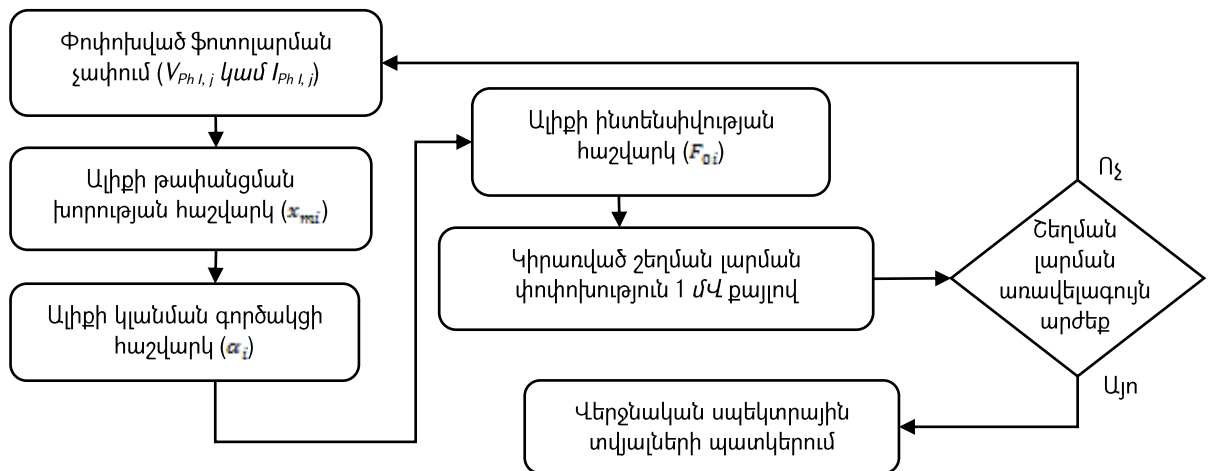
որտեղ $\Delta x = x_{m2} - x_{m1}$:

Օգտագործելով $\alpha = f(\lambda_i)$ կախումն ու (2.14) հավասարումը, կիրառելով մշակված համապատասխան սարքային և ծրագրային լուծումները (3.3. ենթագլուխ)՝ կարող ենք որոշել ալիքի երկարությունը ֆոտոդետեկտորի հիմնական նյութի՝ սիլիցիումի (Si) դեպքում: Իսկ ֆոտոհոսանքի (2.13) բանաձևով կարող ենք ստանալ կլանված ճառագայթման մեջ առանձին ալիքների ինտենսիվությունները.

$$F_{0i} = \frac{I_i}{q S \left(1 - 2e^{-\alpha_i x_{mj}} + \frac{e^{-\alpha_i d}}{1 + \alpha_i w} \right)} : \quad (2.15)$$

Արդյունքում՝ (2.6), (2.14) և (2.15) հավասարումների միջոցով որոշում ենք ամենախոր ներթափանցած ալիքի կլանման գործակիցը, ալիքի երկարությունը և դրա ինտենսիվությունը: Այնուհետ (2.13) արտահայտությամբ, հաշվի առնելով կլանող մակերեսը, ձևավորում ենք $I_i=f(V)$ կախվածությունը: Հանելով այն գումարային հոսանքի համար փորձնական ճանապարհով ստացված $I=f(V)$ կախվածությունից՝ որպես արդյունք ստանում ենք գումարային ֆոտոհոսանքի՝ V լարումից ունեցած նոր կախվածությունը՝ արդեն առանց $I_i=f(V)$ բաղադրիչի [39, 41]:

Վերոնշյալ մեծությունների արժեքների որոշման պարզեցված ալգորիթմը բերված է նկ. 2.6.-ում: Համապատասխան սարքային և ծրագրային լուծման կիրառմամբ (մշակումը և սարքի նախատիպը ներկայացված են «Գլուխ 3.»-ում) ներկայացված մեթոդը հնարավորություն է տալիս որոշելու ճառագայթման բոլոր ալիքների երկարությունները և դրանց ինտենսիվությունները:

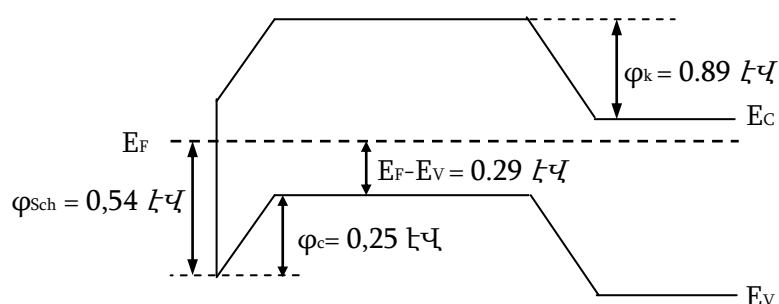


Նկ. 2.6. Ճառագայթի ինտենսիվության սպեկտրային բաշխվածության քայլ առ քայլ ստացման պարզեցված ալգորիթմը [39, 41]

2.4. Կիսահաղորդչային դետեկտորի փորձնական նմուշների փորձարկման արդյունքները

Փորձարկումներն իրականացվել են մշակված $n^+(Ag\text{-ի սիլիցիդ}) - p(Si) - n^+(Si)$ կառուցվածքի նմուշների վրա: Սպեկտրային չափումների համար օգտագործված մոնոքրոմատորի սպեկտրային միջակայքը 300 նմ-ից 1150 նմ է:

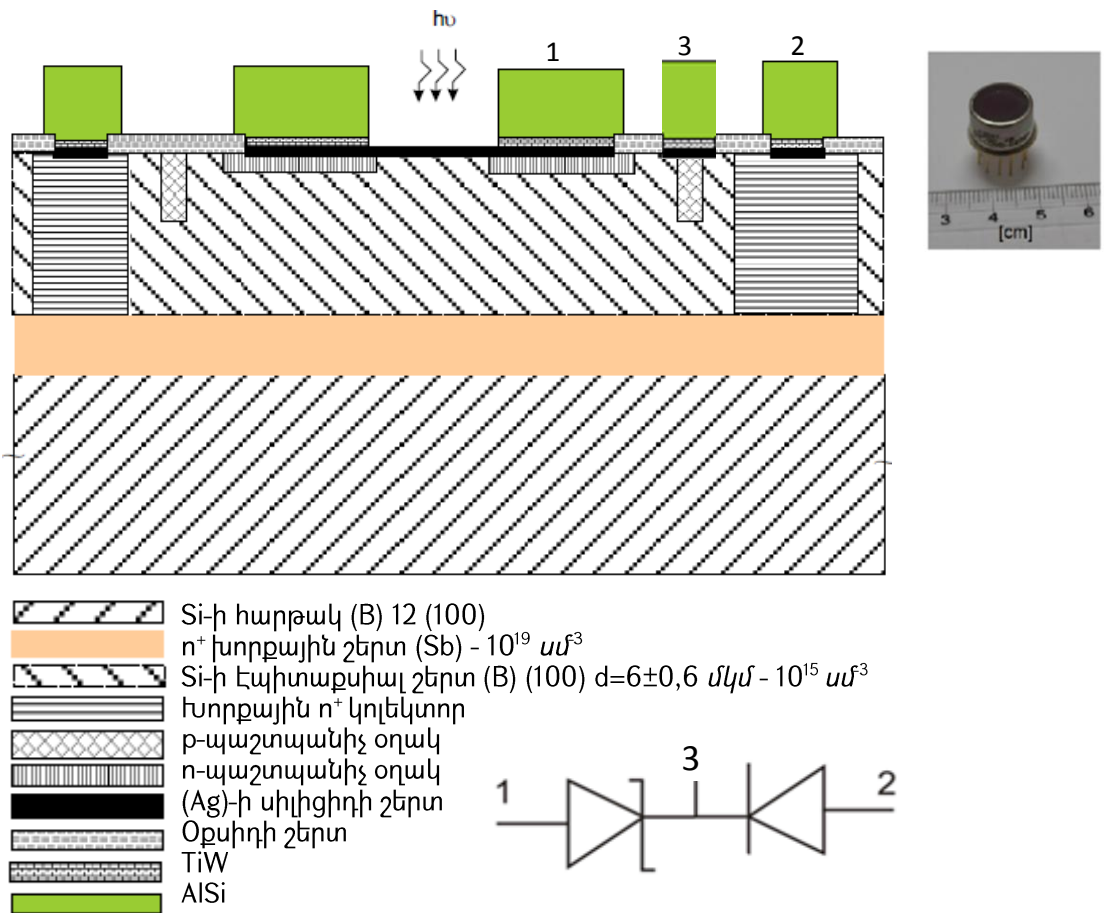
Հիմնվելով կառուցվածքի շերտերի պարամետրերի վրա՝ թիկունքային արգելքի հաշվարկային բարձրությունը ստացվել է $\varphi_k = 0.89$ էՎ, իսկ Ֆերմիի մակարդակի հեռավորությունը p - էպիտաքսիալ շերտի վալենտականության գոտու առաստաղից՝ $E_F - E_V = 0.29$ էՎ (նկ. 2.7.):



Նկ. 2.7. Կառուցվածքի էներգետիկական գոտիական դիագրամը [43]

p- տիպի սիլիցիումի մակերեսին արծաթի սիլիցիդի Շոտկիի արգելքի բարձրությունը կազմել է 0.54 էՎ [36]: Արդյունքում՝ մակերևութային արգելքի բարձրությունը ստացվել է $\varphi_c = 0,25$ էՎ:

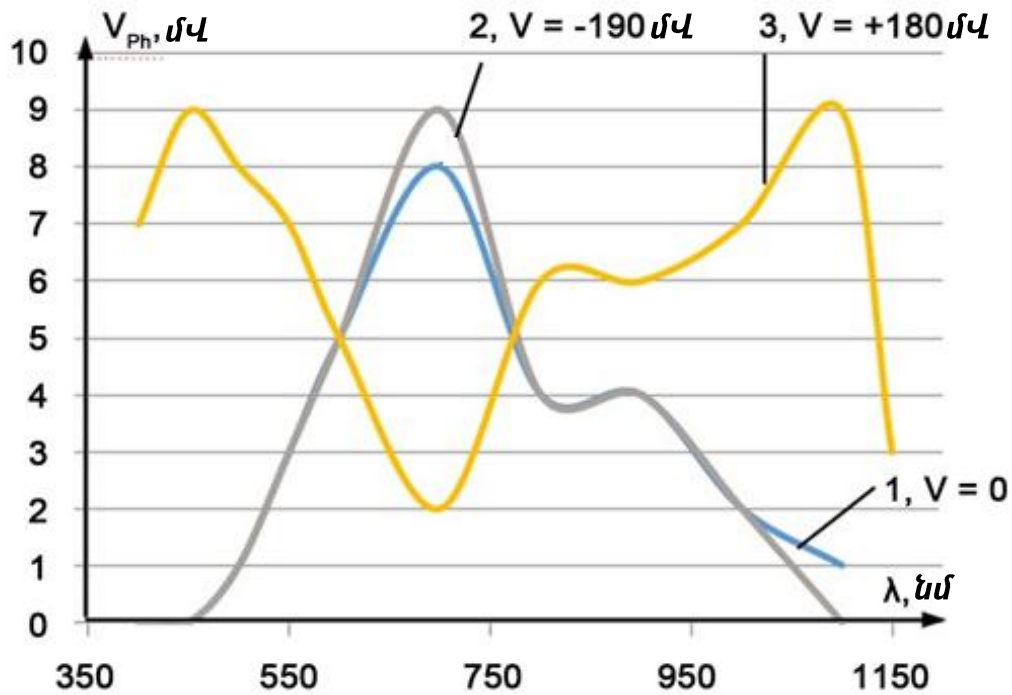
Կառուցվածքի լայնական հատույթը՝ բոլոր շերտերի պարամետրերով, ներկայացված է նկ. 2.8.-ում:



Նկ. 2.8. Կառուցվածքի լայնական հատույթը և առանձին շերտերի պարամետրերը [43]

Երկու հակառակ ուղղված արգելքների ֆոտոհոսանքները ևս հակառակ են ուղղված, և կիրառված լարումից կախված՝ դրանք կոմպենսացնում են միմյանց: Դա նկատելի է հարաբերական սպեկտրային բնութագրերից (նկ. 2.9.): Նկարը ցույց է տալիս երկարալիքային ֆոտոհոսանքի հայելային պատկերը: Շեղման լարման բացակայության պայմաններում (նկ. 2.9., կոր 1) սպեկտրային ֆոտոհոսանքը գլխավորապես պայմանավորված է մակերևութային պոտենցիալ արգելքով, որը

ստեղծում է կարճալիքային պիկ: Երկարալիքային պիկն ունի փոքր բարձրություն և գլխավորապես պայմանավորված է թիկունքային արգելքով, որը տեղակայված է լուսավորված մակերևույթից 6 մկմ խորության վրա (նկ. 2.7.): Երբ շեղման լարումը դրական է («+») Շոտկիի կոնտակտի վրա, մակերևութային արգելքը շեղված է հակառակ ուղղությամբ, իսկ p-n անցման արգելքը՝ ուղիղ, ինչը մեծացնում է առաջին արգելքի ֆոտոհոսանքը (նկ. 2.9., կոր 3):

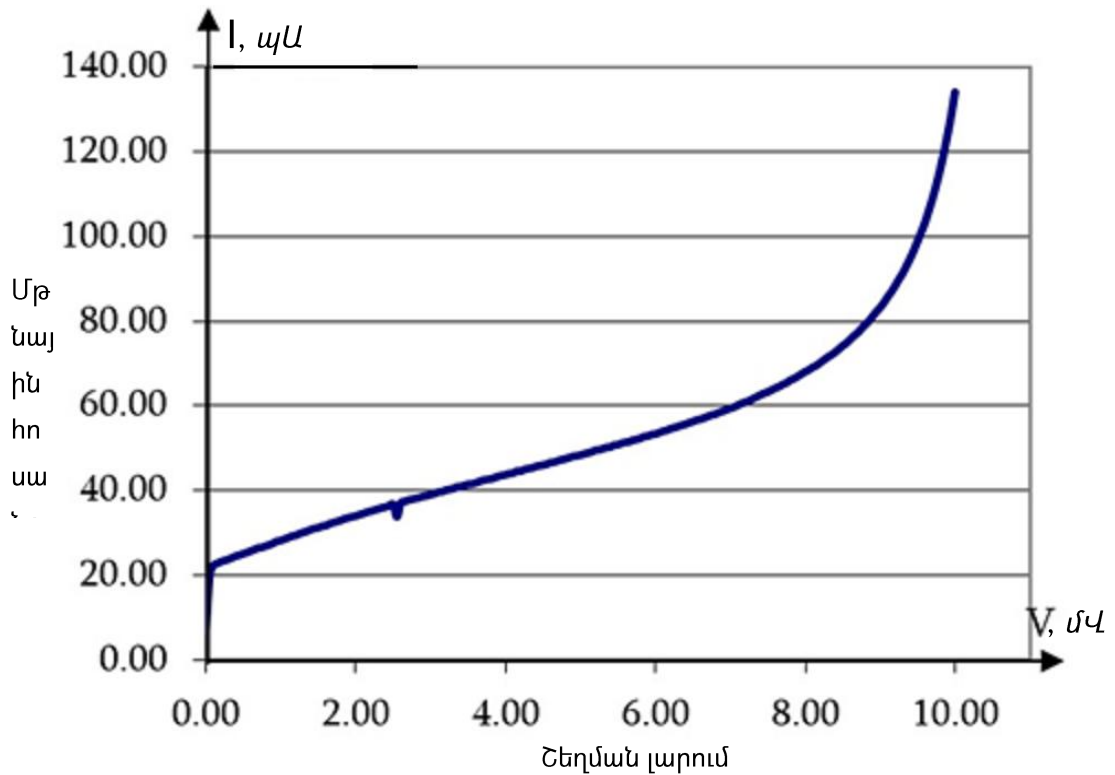


Նկ. 2.9. 0.5 ՄՕՄ դիմադրությամբ բեռի վրա ստացված ֆոտոլարման սպեկտրային բաշխվածությունը [43]

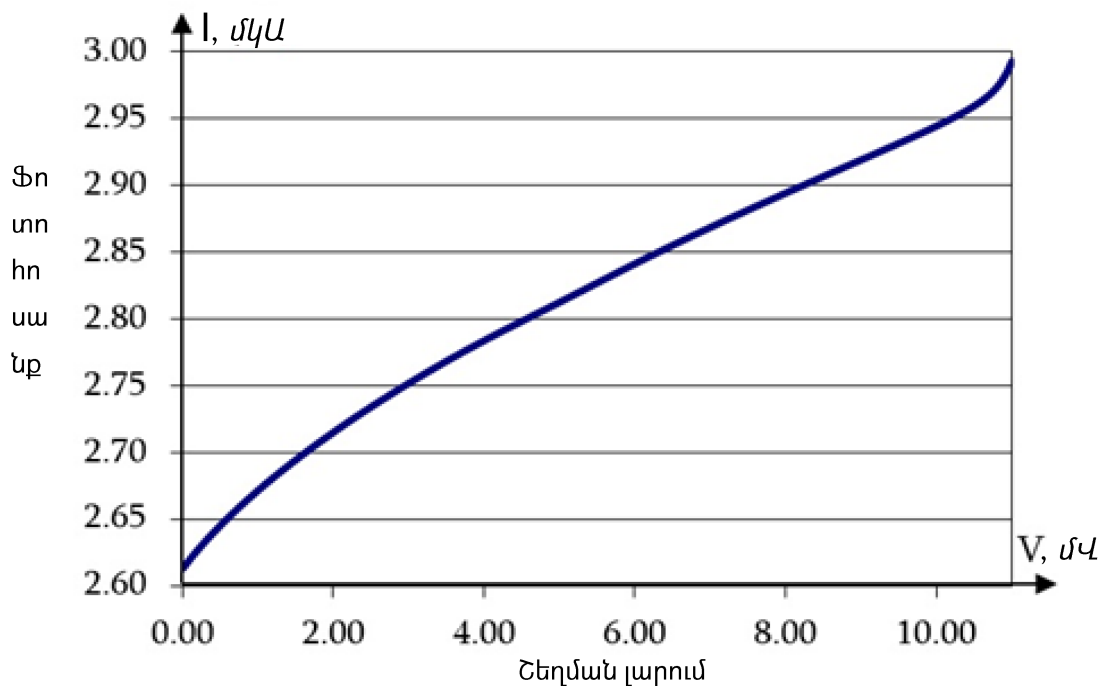
Իսկ երբ շեղման լարման նշանը բացասական է («-»), թիկունքային արգելքը հակառակ է շեղված, և սպեկտրային ֆոտոհոսանքը գլխավորապես պայմանավորված է նրա աճով (նկ. 2.9., կոր 2): Այս դեպքում երկար-ալիքային պիկը դառնում է ավելի նկատելի: Զույգ արգելքների ֆոտոհոսանքի այսպիսի փոխադարձ կոմպենսացիան պայմանավորված է ալիքի գրանցման տիրույթի լայնության փոփոխությամբ [41, 43]:

Այսպիսով, լարման տարբեր արժեքների դեպքում տարբեր ալիքներ թափանցում են թիկունքային արգելքի գրանցման տիրույթ: Այս ալիքները որոշվում են ֆոտոհոսանքի՝ այդ ալիքներին համապատասխան փոփոխությունից: Փորձերի ընթացքում կլանված ճառագայթման ինտենսիվության սպեկտրային բաշխվածությունը

որոշելու համար օգտագործվել է L-813SRC-J4 լուսադիոդը: Մթնային պայմանների համար փորձնական վոլտ-ամպերային բնութագրերը (նկ. 2.10.) ցույց տվեցին, որ կիրառված շեղման լարման լայն տիրույթում հոսանքն ունի փոքր արժեքներ (մի քանի տասնյակ μA): Իսկ ահա ֆոտոհոսանքներն ունեն մի քանի մկԱ-ի հասնող արժեքներ (նկ. 2.11.): Լուսային և մթնային հոսանքների մի քանի կարգով իրարից տարբերվելը թույլ տվեց փորձնական նմուշներով գրանցել լուսային ազդանշանի թույլ հոսքերը:



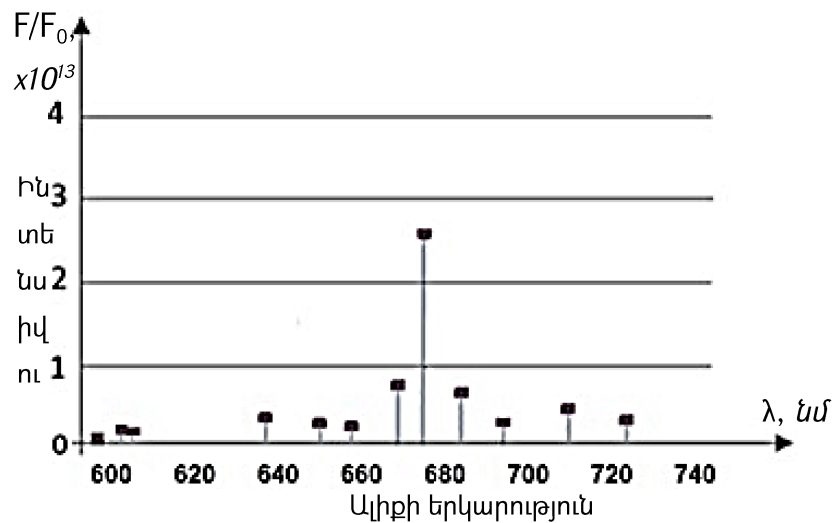
Նկ. 2.10. Նմուշի վոլտ-ամպերային բնութագրերը մթնային պայմաններում [43]



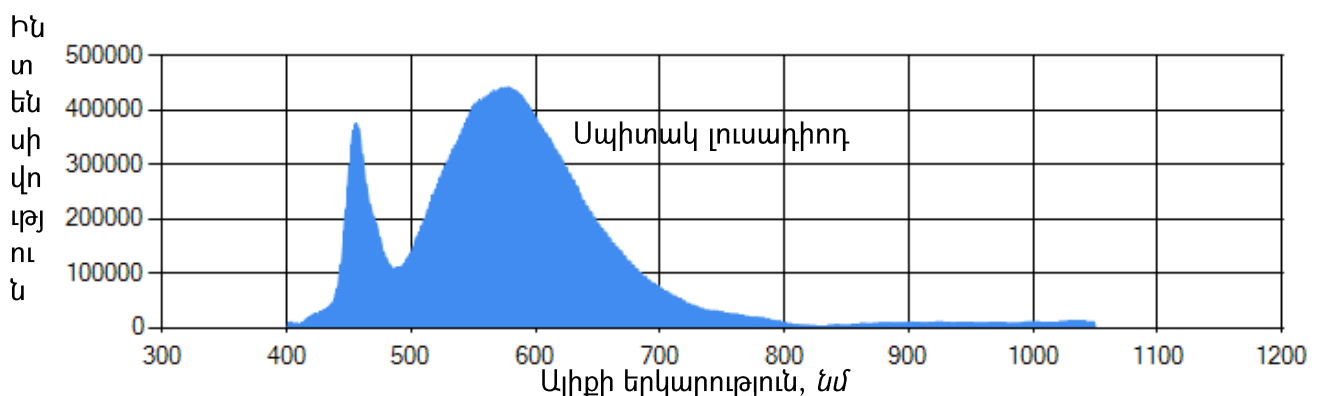
Նկ. 2.11. Նմուշի վոլտ-ամպերային բնութագրերը լուսավորության տակ [43]

Արտաքին շեղման լարման «0» արժեքի դեպքում n-ր անցման աղքատացած շերտի նախագծային լայնությունը ~ 1 մկմ է և հակառակ շեղման լարման աճի ազդեցությամբ այն լայնանում է դեպի կառուցվածքի խորքը: Այսպիսով, նկատելի է թիկունքային արգելքի գրանցման տիրույթի լայնության մոդուլացում [41, 43]:

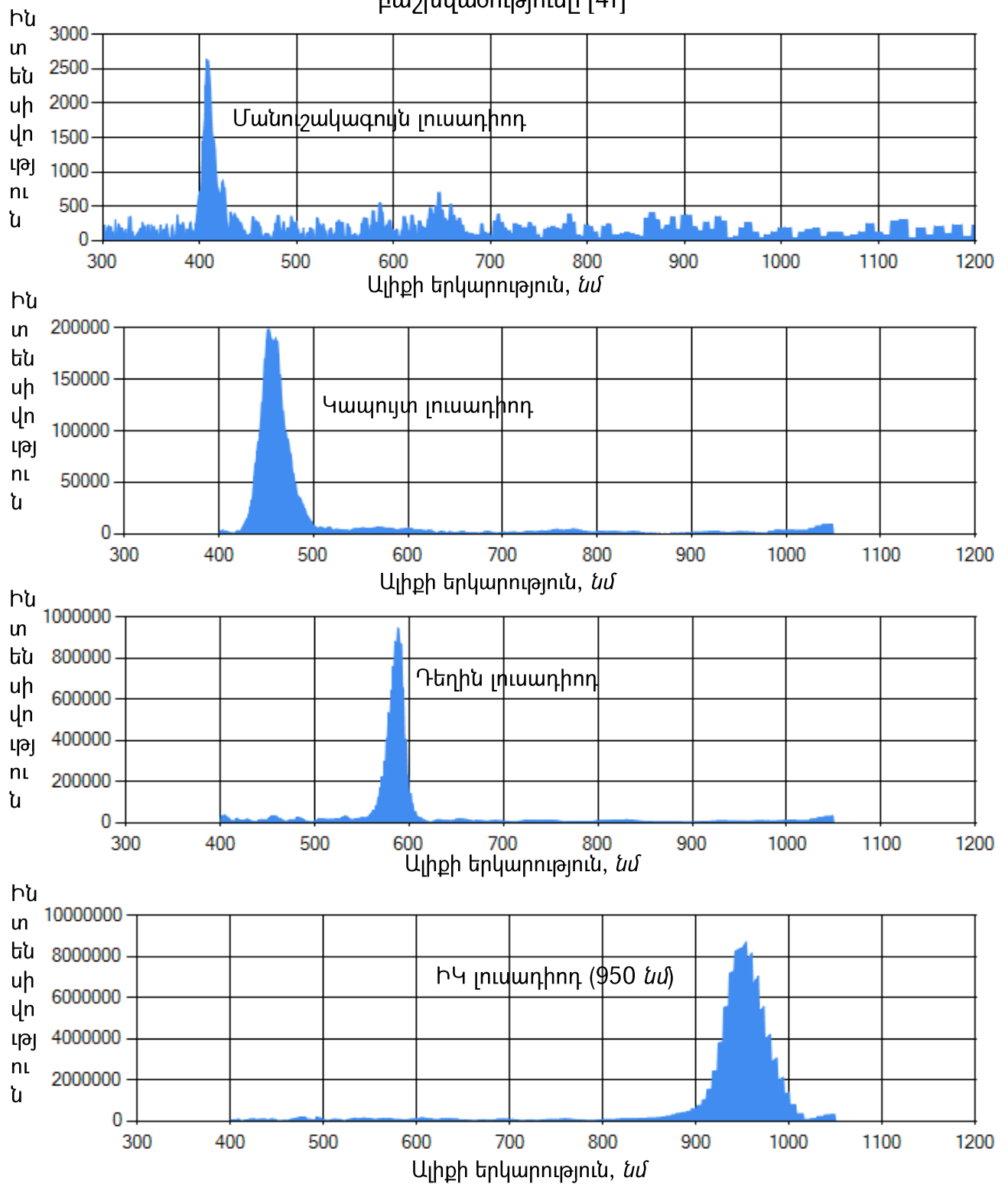
Համաձայն (2.14) և (2.15) հավասարումների՝ մթության մեջ և լուսավորության տակ ստացված վոլտ-ամպերային բնութագրերի տվյալների և մշակված ալգորիթմի միջոցով մոդելավորվել է ճառագայթման ինտենսիվության սպեկտրային բաշխվածության ստացման պրոցեսը [39, 41]: Այդ մոդելի կիրառմամբ կատարված փորձերի ընթացքում որպես արդյունք ստացված սպեկտրային կորերը (նկ. 2.12....2.15.) մոտ են լուսադիոդների և լյումինեսցենտային լամպի համար արտադրողի կողմից տրված կորերին:



Նկ. 2.12. Կարմիր լուսադիոդի (L-813SRC-J4) ճառագայթի ինտենսիվության չափված սպեկտրային բաշխվածությունը [41, 43]

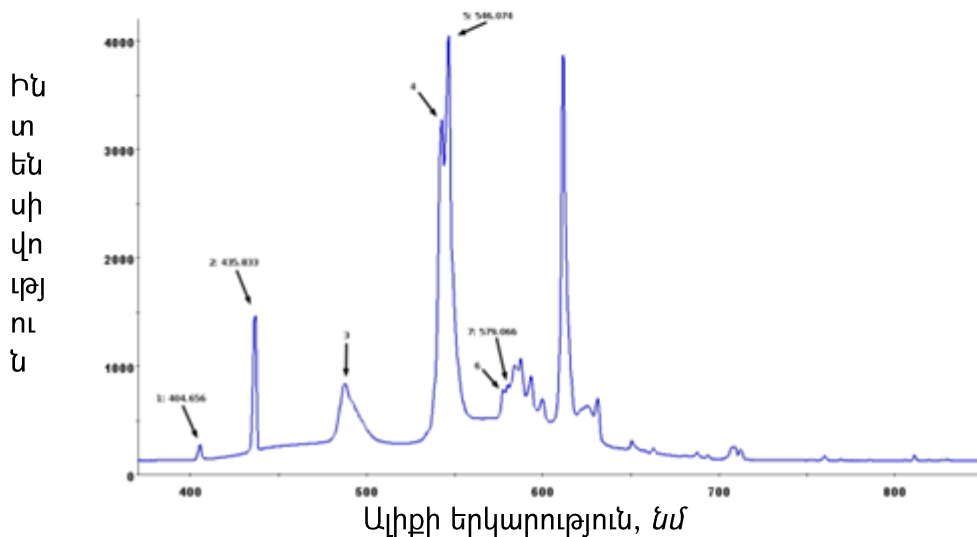
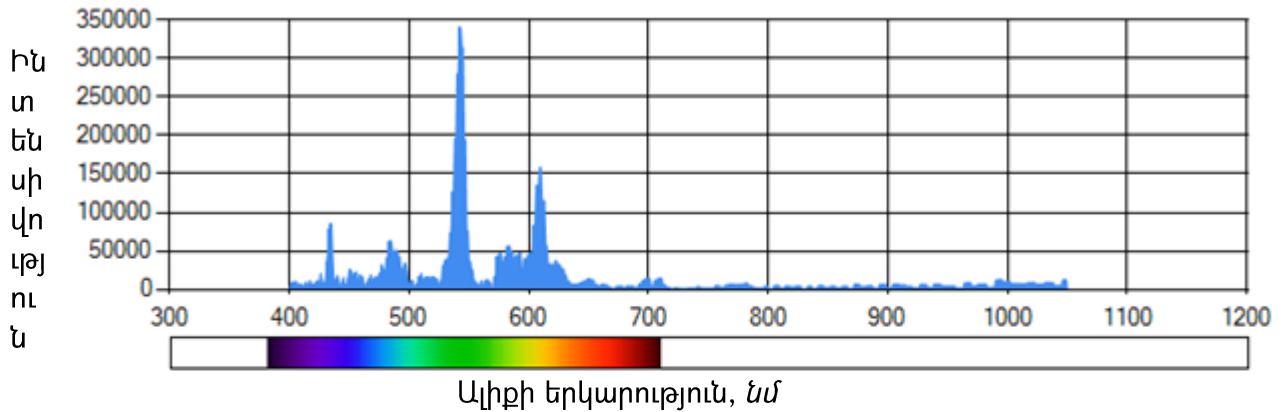


Նկ. 2.13. Սպիտակ լուսադիոդի ճառագայթի ինտենսիվության չափված սպեկտրային բաշխվածությունը [41]



Նկ. 2.14. Տարբեր մոդելի լուսադիոդների չափված սպեկտրային բնութագրերը [41, 43]

Սպեկտրային զգայնության առավելագույն շեղումը (ճշտությունը) կազմել է մոտ 5...10 նմ: Ֆոտոդետեկտորի թույլատրելիությունը սպեկտրի տեսանելի տիրույթում տարբեր չափումների դեպքում կազմել է 1..3 նմ, իսկ ալիքի երկարությունների գրանցվող միջակայքը՝ 350...1100 նմ [39, 41, 43]:



Նկ. 2.15. Լյումինեսցենտային լամպի չափված (վերևում) և էտալոնային (ներքևում) սպեկտրային բնութագրերը [41]

Եզրակացություն

- Մշակվել է դյուրակիր առաջնային ֆոտոտվիչի նոր մոդել՝ օպտիկական տեղեկատվության ստացման համար: Մշակված սիլիցիումային երկարաբլթ ֆոտոդետեկտորում էլեկտրամագնիսական ալիքների՝ տարբեր կլանման խորություններ ունենալու փաստը օգտագործել է ալիքի երկարության և դրա ինտենսիվության որոշման ալգորիթմի ստեղծման համար:

- Հետազոտվել են փորձնական նմուշներ, և ապացուցվել է դրանցում սպեկտրային ընտրողական զգայնության հնարավորությունը: Այն պայմանավորված է արտաքին շեղման լարման կիրառման դեպքում նմուշների բազաներում պոտենցիալ ալգելքների՝ միմյանց հաշվին փոփոխությամբ:
- Մշակված ալգորիթմի միջոցով մոդելավորվել է ճառագայթի ինտենսիվության սպեկտրային բաշխվածության ստացման պրոցեսը: Մշակված ալգորիթմը կիրառվում է առանց նախնական ճշտաբերման սպեկտրային վերլուծություն իրականացնելու համար:
- Մշակված ալգորիթմի կիրառմամբ ստացվել են տարբեր լուսադիոդների և լյումինեսցենտային լամպի ճառագայթների ինտենսիվությունների սպեկտրային բաշխվածությունները: Որոշակի մոտարկմամբ՝ դրանք կրկնում են արտադրողի կողմից տրված էտալոնային բաշխվածության կորերը. սպեկտրային զգայնության առավելագույն շեղումը (ճշտությունը) կազմում է մոտ 5...10 նմ:
- Ֆոտոդետեկտորի թույլատրելիությունը սպեկտրի տեսանելի տիրույթում տարբեր չափումների համար կազմում է 1..3 նմ, իսկ ալիքի իսկ ալիքի երկարությունների գրանցվող միջակայքը՝ 350...1100 նմ:
- Այսպիսով, փորձնական նմուշների վրա ալգորիթմի փորձարկման արդյունքները տվեցին դյուրակիր կիսահաղորդչային ֆոտոսպեկտրաչափի նոր կառուցվածքի ստեղծման հնարավորություն:

Հայտնում ենք մեր երախտագիտությունը գործընկեր լատվիական «RD Alfa Electronics» ընկերությանը՝ կիրառված օպտիկական կիսահաղորդչային (սիլիցիումային) ֆոտոդետեկտորի նմուշների պատրաստման և տրամադրման համար:

ԳԼՈՒԽ 3. Վերածրագրավորվող թվային փականների մատրիցի վրա հիմնված օբյեկտները հեռավերլուծող դյուրակիր ֆոտոսպեկտրաչափի մշակումը և փորձարկումը

3.1. Դյուրակիր ֆոտոսպեկտրաչափի անհրաժեշտությունը, հիմնական նպատակը, կիրառության ոլորտները

Ժամանակակից էլեկտրոնային տեխնոլոգիաների շնորհիվ ավանդական սարքավորումների թվային իրագործումը շարունակ թափ է առնում՝ բավարարելով բարձր արտադրողականությանը և մեծ ճկունությանը ներկայացվող պահանջները:

Նորագույն վերածրագրավորվող թվային փականների մատրիցի կիրառումը տեսանելի տիրույթի սպեկտրաչափի կառուցվածքում նոր հեռանկարներ է բացում այդ գործիքի կիրառության համար: Ժամանակակից բարդ ՎԹՓՄ-ներն ունակ են իրականացնելու ազդանշանի մշակումը թվային մեթոդներով և ալգորիթմներով՝ մինչև ԳՀg-երի հասնող տակտային ազդանշանի արագությամբ: Տվյալների մշակման հոսքուղին զուգահեռացնելու ճանապարհով հնարավոր է դառնում կարճ ժամանակում մեծ ծավալով ինֆորմացիայի մշակումը [45-57]: ՎԹՓՄ-ների առավելությունը դրանց լայն հասանելիությունն է, շարունակաբար նվազող գինը (տնտեսական նպատակահարմարությամբ պայմանավորված) և կիսահաղորդչային տեխնոլոգիական գործընթացի աճող հնարավորությունները (Մուրի օրենք): Այդ ամենը հնարավոր է դարձնում թվային մեթոդներով ազդանշանի մշակման մոտեցման կիրառությունը սպեկտրաչափության մեջ՝ մոտ ապագայում ընդլայնելով դրա հնարավորությունները և զանգվածային դարձնելով կիրառությունը կյանքի տարբեր ոլորտներում:

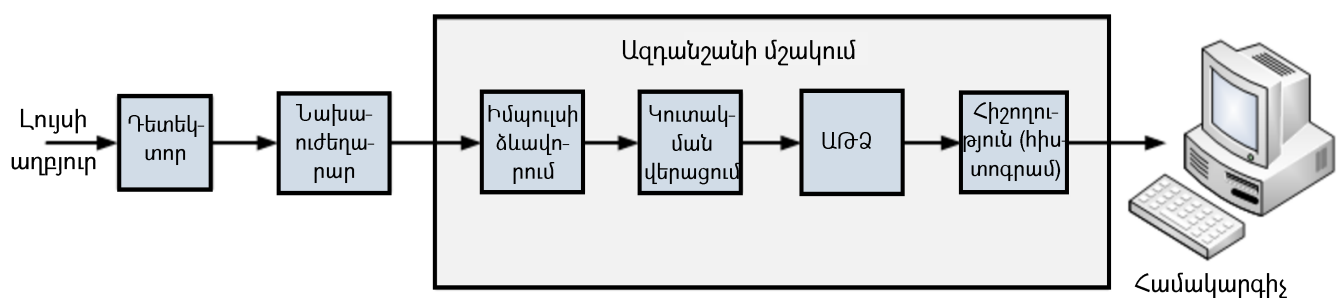
Այս աշխատանքի արդյունքում մշակվել և նախագծվել է փոքրաչափ և թեթև քաշով ֆոտոսպեկտրաչափի նախատիպը՝ հիմնված 2.1 ենթագլխում նկարագրված նոր տիպի սիլիցիումային ֆոտոդետեկտորի և դրա ազդանշանի սպեկտրի ստացման նոր սկզբունքի վրա: Այս տիպի չափման գործիքը շատ օգտակար կարող է լինել գիտության, արդյունաբերության, անվտանգության և առօրյա կյանքի բազմաթիվ ոլորտներում (քիմիական նյութերի հայտնաբերում, քիմիական խառնուրդների կազմի վերլուծություն, միջավայրային պայմանների մոնիտորինգ): Ազդանշանի մշակման ալգորիթմն աբողջությամբ իրագործվում է ՎԹՓՄ վրա հիմնված ներդրված

համակարգում՝ վերացնելով ազդանշանի թվային մշակման արտաքին հանգույցի (սովորաբար համակարգիչ) անհրաժեշտությունը: Այդպիսով, ՎԹՓՄ-ի կիրառումը թույլ է տալիս փոքրացնել գործիքի չափերը՝ դարձնելով այն դյուրակիր և նաև մատչելի, քանի որ դրանց գները վերջին տարիներին շարունակաբար ընկնում են:

3.2. Դյուրակիր ֆոտոսպեկտրաչափի նախագիծը, կառուցվածքային հիմնական հանգույցները

3.2.1. Դասական մոտեցում

Ավանդական համակարգերում դետեկտորից եկած ազդանշանի մշակումը բաղկացած է անալոգային և թվային սխեմաների կիրառմամբ իրականացվող մի շարք գործողություններից [73-79]: Ազդանշանի ձևավորումը (ֆիլտրում) և ուժեղացումը, իմպուլսների կուտակման հայտնաբերումը և վերացումը սովորաբար իրականացնում են անալոգային տարրերը, իսկ ազդանշանի ամպլիտուդի վերլուծությունը և էներգետիկ սպեկտրի (հիստոգրամ) ստացումն իրականացվում է թվային հանգույցներում, ինչպես օրինակ՝ անալոգաթվային ձևափոխիչներում (այսուհետ՝ ԱԹՁ), հիշասարքերում [56]: Նկ. 3.1.-ում ներկայացված է սպեկտրաչափական համակարգերում կիրառված ազդանշանի մշակման ընդհանրական հանգույցի պարզեցված տեսքը:

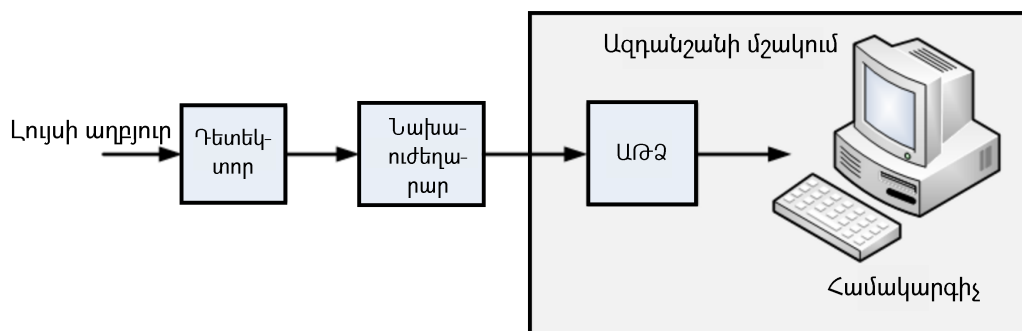


Նկ. 3.1. Ազդանշանի մշակման ավանդական մոտեցումը [56]

Դետեկտորից անմիջապես հետո կա նախաուժեղարար, որը հանդես է գալիս որպես ինտերֆեյս դետեկտորի և հաջորդիվ եկող ազդանշանի մշակման հանգույցի միջև:

3.2.2. Ազդանշանի թվային մշակման նորագույն մոտեցումները

Տեխնոլոգիաների առաջընթացին զուգընթաց՝ ամեն տարի շուկա են մտնում ավելի արագ և ավելի մեծ թույլատրելիությամբ ԱԹՁ-ներ, որոնք արդեն մոտ մեկ տասնամյակ է՝ հասել են այն կետին, երբ այլևս կարիք չկա ազդանշանը նախնական մշակման ենթարկել անալոգային տարրերի միջոցով: Հետևաբար, նախորդ կառուցվածքը կարելի է փոխարինել հետևյալ համակարգով (նկ. 3.2.).



Նկ. 3.2. Օպտիկական ազդանշանի մշակման ներկայումս կիրառվող մոտեցումները [56]

Վերոնշյալ լուծուման մեջ ԱԹՁ-ն տեղակայված է ազդանշանի նախաուժեղարարից անմիջապես հետո՝ թույլ տալով ստեղծել ազդանշանի մշակման գրեթե ամբողջապես թվային շղթա: Դա հնարավոր է դարձել արագագործ թվայնացնող քարտերի (ԱԹՁ) զարգացման շնորհիվ, որոնք ունեն տվյալների պահպանման մեծ հիշասարքեր: Ազդանշանի ընտրանքները թվայնացնող քարտից փոխանցվում են համակարգչին, որտեղ էլ դրանք ենթարկվում են հետագա մշակման: Այս լուծման ակնառու առավելություններից են.

- **ԱԹՁ-ի բարձր թույլատրելիությունը:** Անալոգային բաղադրիչները կատարյալ չեն, և դրանք աղմուկներ են ավելացնում իրենց միջով անցնող էլեկտրական ազդանշանի վրա՝ աղավաղելով այն: Մյուս կողմից՝ թվային մշակումը կանխատեսելի է և կայուն շրջակա միջավայրի ազդեցությունների նկատմամբ (օր.՝ բարձր ջերմաստիճան): Դրան ավելացնելով ճկունության մեծ

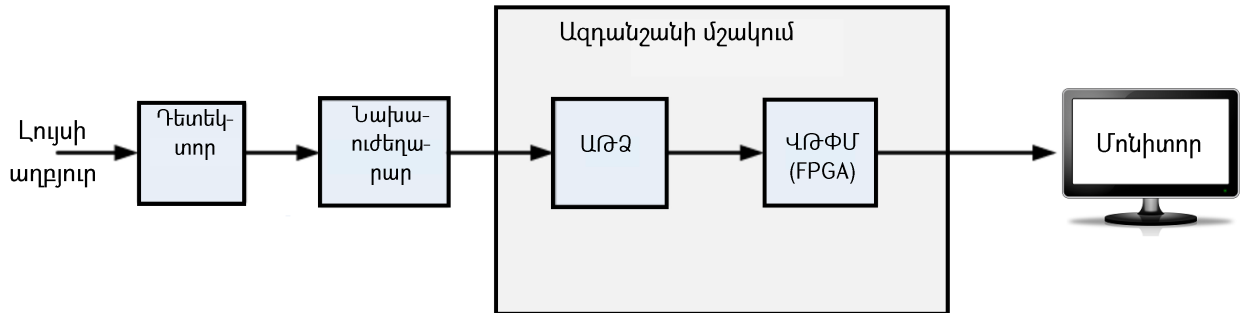
հնարավորությունները՝ թվային մշակման մեթոդների արդյունքում աղմուկներն ավելի արդյունավետ են ճնշվում, և ստացվում է ավելի մեծ թույլատրելիություն:

- **Բարձր թողունակությունը:** Երկար ժամանակ ԱԹՁ-ների ընտրանքի հաճախությունը թվային լուծումներում ազդանշանի թողունակությունը սահմանափակող գործոն էր: Բայց ներկայումս, գերբարձր արագագործությամբ ԱԹՁ-ների առկայության պայմաններում, հիմնական խնդիրներից մեկն արդեն դարձել է իմպուլսների փոխձածկումը: Այդ խնդիրը դետեկտող և ազդանշանի իմպուլսներն իրարից առանձնացնող անալոգային մեթոդների արդյունավետությունը շատ ավելի ցածր է, քան թվային իրականացման դեպքում: Արդյունքում՝ թվային լուծումներն ապահեվում են անհամեմատ ավելի բարձր թողունակություն և իմպուլսների խոտանման ցածր հավանականություն:
- **Իմպուլսի ժամանման պահը:** Որոշ համակարգերում ազդանշանի իմպուլսների ժամանման պահը կրիտիկական պարամետր է, քանի որ դա պետք է կապակցվի այլ դետեկտորներում իմպուլսի առաջացման պահերի հետ: Այդ տվյալների կառավարումը ավելի հեշտ է թվային իրականացման պայմաններում, քանի որ այդ դեպքում բոլոր հապաղումների տևողությունները հայտնի են:

Նկ. 3.2.-ում ցուցադրված մոտեցումը պահանջում է ազդանշանի մշակման մեծագույն մասը կատարել համակարգչի վրա: Նկ. 3.2.-ում պատկերված սարքերի ճարտարապետությունը, մասնագիտացված համակարգչային ծրագրերի (օր.՝ LabView®, MATLAB®, Simulink®) շնորհիվ, ապահովում է ազդանշանի մշակման ալգորիթմների մեծ ճկունություն և հեշտացնում է սարքի մշակման գործընթացը, սակայն ազդանշանի ընտրանքի հաճախության և թույլատրելիության արդի պահանջների պայմաններում համակարգիչները շատ արագ կերպով դառնում են այս ճարտարապետության սահմանափակող օղակը, հատկապես բազմակապուղի համակարգերի դեպքում: Այս համակարգերի մյուս էական թերությունը դրանց չափն է և քաշը: Հաջորդ բացասական հանգամանքը գինն է, որը մեծ մասամբ պայմանավորված է բարձր արտադրողականությամբ մշակման հանգույցի (հզոր հմակարգիչ) անհրաժեշտությամբ և կիրառվող ուղեկցող ծրագրային ապահովման պահանջով, որի լիցենզավորումը ևս բավականին թանկ արժի [73-79]:

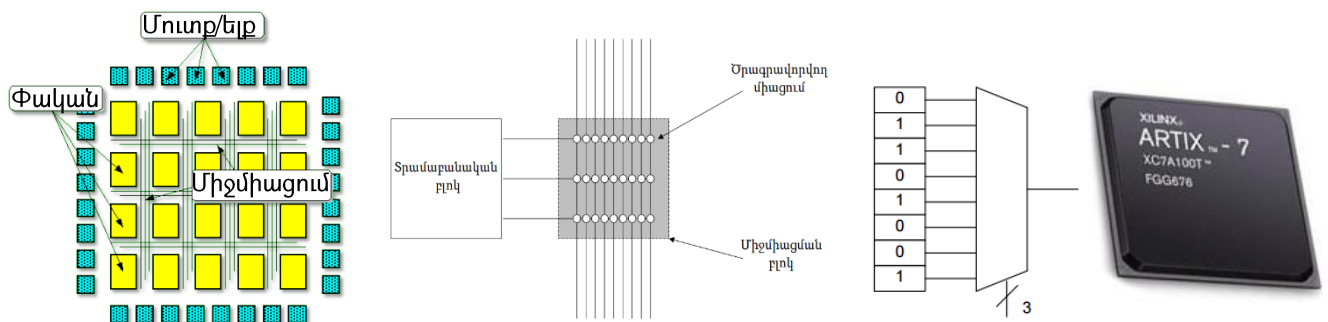
3.2.3. Գործիքի նախատիպի նախագիծը. հիմնական հանգույցները, դրանց նկարագրությունը

Վերոնշյալ թերությունների վերացմանն է միտված սպեկտրաչափի առաջարկվող ճարտարապետությունը (նկ. 3.3.):



Նկ. 3.3. Օպտիկական ազդանշանի մշակման առաջարկվող մոտեցումը [81]

Օպտիկական ազդանշանի մշակման կենտրոնական հանգույցը ՎԹՓՄ-ն է: Մատրիցը պարունակում է թվային տրամաբանական փականներ և դրանք իրար կապող ծրագրավորվող միջմիացումներ: Արտադրությունից հետո՝ կիրառությունից առաջ, այն տեղում ծրագրավորվում է օգտագործողի կողմից և իրականացվող խնդրի փոփոխության պարագայում կարող է վերածրագրավորվել գործնականում անսահմանփակ անգամներ: ՎԹՓՄ-ներում տրամաբանական գործողությունների կատարման համար կիրառվում են իսկության աղյուսակներ (ԻԱ): ԻԱ-ների գործողությունն ապահովող հիմնական բաղկացուցիչ մասերը N -բիթ հիշողությունն ու $N:1$ մուլտիպլեքսորն են (նկ. 3.4.) [57]:



Նկ. 3.4. ՎԹՓՄ ներքին կառուցվածքը և կիրառված ՎԹՓՄ-ն [57]

Նպատակային ֆունկցիան բաժանվում է բաղկացուցիչ Բուլյան հավասարումների [86], որոնք իրագործվում են իսկության աղյուսակներում:

ՎԹՓՄ-ում լավ զարգացած է տվյալների զուգահեռ մշակման ճարտարապետության հնարավորությունը, ինչի արդյունքում ստացվում է տվյալների հոսքուղու բարձր թողունակություն և մշակման փոքր ուշացումներ՝ համակարգչի կամ բացառապես ազդանշանների թվային մշակման մասնագիտացված պրոցեսորների (ԱԹՄ, անգլ.՝ DSP) վրա հիմնված լուծումների համեմատությամբ: ՎԹՓՄ-ների վրա հիմնված ազդանշանների թվային մշակման ալգորիթմների նախագծման և սարքային իրագործման ծրագրային գործիքների շարունակական զարգացումը ՎԹՓՄ-ն դարձրել է նախագծողի համար ավելի ընդունելի, հասանելի և հեշտ ներառելի լուծում, ինչը նախկինում անհնար էր: Իրենց հասանելիությամբ, կիրառման աննախադեպ հեշտությամբ և վերածրագրավորման հնարավորությամբ ՎԹՓՄ-ներն ապահովում են էժան այլընտրանք հատուկ կիրառության ինտեգրալ սխեմաներին (<ԿԻՍ, անգլ.՝ ASIC)՝ մշակվող ֆոտոսպեկտրաչափի նման բարդ սարքերում տվյալները հավաքագրելու, ազդանշանները փոխանցելու և ժամանակային պարամետրերը կառավարելու համար: Դա ՎԹՓՄ-ները դարձնում է լավագույն լուծումը տրամաբանական սարքերի համեմատաբար մեծ ծավալներով արտադրության, ազդանշանների թվային մշակման հանգույցների և ներդրված համակարգերի ճկուն, սպառողներին կողմնորոշված ու գնի նկատմամբ զգայուն նախագծերում կիրառելու համար: Հնարավոր կոնֆիգուրացումների, դրանց բնութագրերի փոփոխության և ներքին հանգույցներից նպատակային, օգտագործողին կողմնորոշված ճարտարապետություն կազմավորելու հեշտությունը ՎԹՓՄ-ները դարձնում են օպտիմալ սարքային հենք (պլատֆորմ), որը նվազագույն քանակով օժանդակ սարքերի կիրառմամբ և հարաբերական պարզությամբ ունակ է ապահովել տվյալների արագ մշակում և արդյունավետ աշխատանք հիշասարքերի հետ [45-57]:

Սպեկտրաչափական սարքի տեսանկյունից հիմնական առավելություններից են.

- **Փոքրացված չափը:** Տարրերի մեծ խտությամբ, ցածր էներգասպառմամբ ՎԹՓՄ-ները փոքրացնում են ֆոտոսպեկտրաչափական համակարգի չափերը և քաշը՝ լավացնելով դյուրակրությունը: Սա հատկապես կարևոր է չափման բազմաթիվ մուտքերից ինֆորմացիան գրանցող

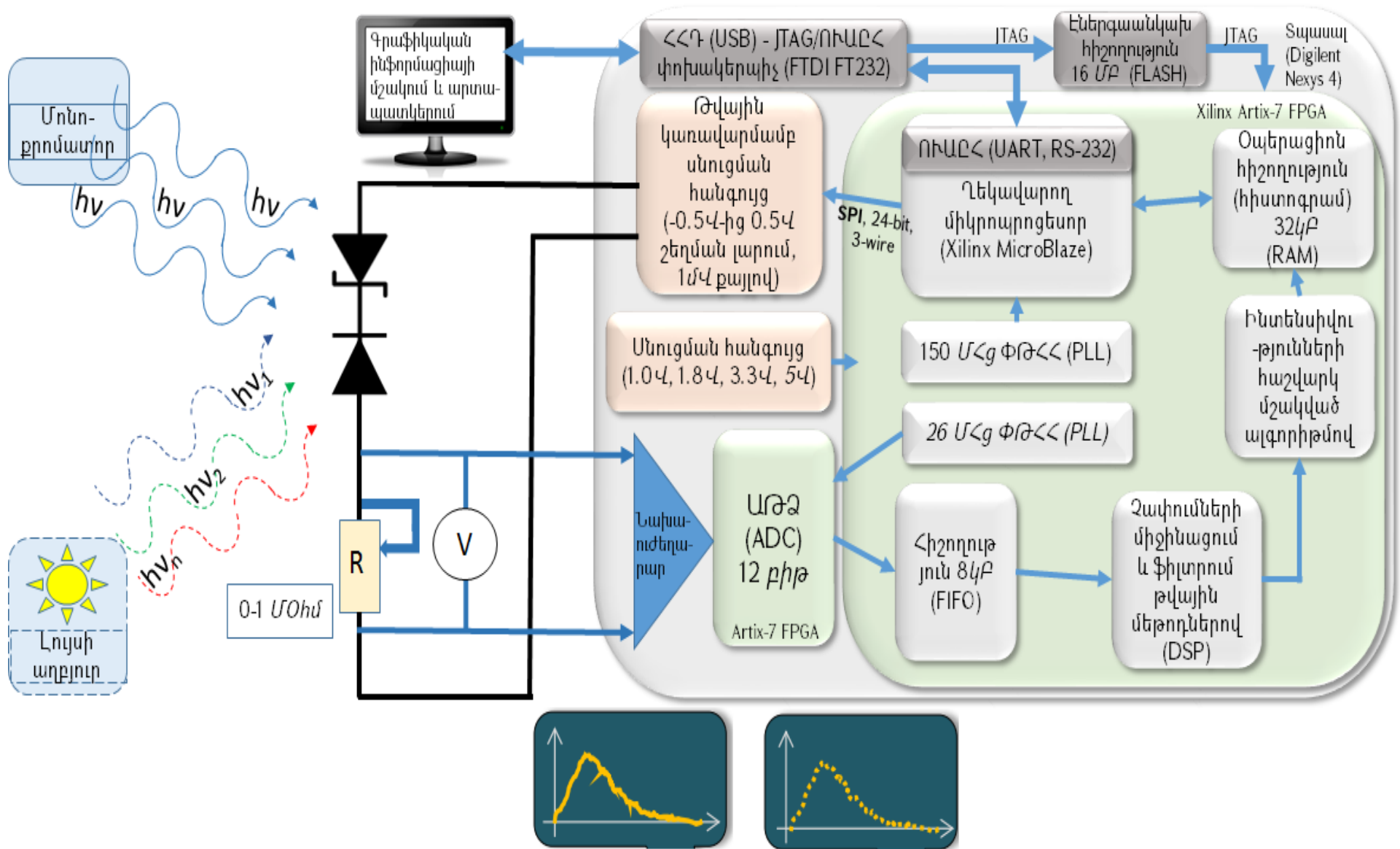
համակարգերի համար, քանի որ դրանք բոլորը կարող են տարբեր հոսքուղիներով զուգահեռաբար մշակվել մեկ ՎԹՓՄ-ով:

- **Ճկունությունը:** ՎԹՓՄ-ների կիրառությունը մեծ ճկունություն է տալիս համակարգի տարբեր պարամետրերը դինամիկ կերպով կարգաբերելու, չափումների հաշվարկի որոշակի նախնական պայմանները սահմանելու կամ հետագայում կարգաբերելու համար: Օրինակ, չափման որոշակի հայտնի պայմաններից ելնելով՝ հնարավոր է փոփոխել ազդանշանի թվային ֆիլտրի պարամետրերը՝ բարձրացնելով համակարգի արտադրողականությունը: ՎԹՓՄ-ները նույնիսկ կարող են ամբողջությամբ վերակառուցվել՝ առանց որևէ արտաքին սարքային միջամտության փոփոխելով իրականացվող գործառույթները:

Կան նաև բազմաթիվ այլ առավելություններ, ինչպես, օրինակ, նախագծի վերափոխման և թարմացման հնարավորությունը՝ ժամանակի ընթացքում համակարգը և դրա կայունությունը կատարելագործելու նպատակով: Սարքի ընդհանուր կառուցվածքային սխեման բերված է նկ. 3.5.-ում: Որպես օպտիկական ազդանշանի դետեկտոր ծառայում է 2.3. ենթագլխում նկարագրված նոր տիպի երկարգելք սիլիցիումային ֆոտոդետեկտորը: Որպես լույսի աղբյուր կիրառվել են և՛ միագույն (մոնոքրոմատոր, տարբեր ալիքի երկարությամբ լազերներ), և՛ խառը սպեկտրով լույսի տարբեր աղբյուրներ (տարբեր լուսադիոդներ, քսենոնային լամպ, հալոգենային լամպ, արևի լույս): Սարքի կենտրոնական հանգույցը «Xilinx» ընկերության «Artix-7» ընտանիքի ՎԹՓՄ-ն է (XC7A100T-1CSG324C մոդելը), որը 28 նմ-անոց ցածր էներգասպառմամբ տեխնոլոգիական ցիկլով արտադրված, գին-հզորության-ծախս և գին-արագագործություն հարաբերակցությունների առումով օպտիմալ լուծում հանդիսացող արդյունավետ սարքային պլատֆորմ է [57]: Այն կիրառելի է նաև հեռահաղորդակցական ինտերֆեյսների (լարային և անլար) հետագա իրագործման համար: Այդ սարքում է իրականացվում ազդանշանի թվային մշակման ամբողջական գործընթացը: Սարքի նախատիպի ստեղծման համար կիրառվել է վերոնշյալ ՎԹՓՄ-ի հիման վրա կառուցված տպասալ՝ «Digilent» ընկերության «Nexys

4» ուսումնական մոդելը (նկ. 3.25, 3.3. ենթագլուխ) [66]: Կիրառված ՎԹՓՄ-ն պատկերված է նկ. 3.4.-ում: Դրա հիմնական պարամետրերն են.

- 15850 տրամաբանական կտորներ՝ յուրաքանչյուրը չորս վեցմուտքանի իսկության աղյուսակներով և ութ տրիգերներով,
- 4860 Կրիթ բլոկային հիշողություն՝ կամայական թույլտվությամբ (անգլ.՝ RAM),
- տակտային ազդանշանի գեներացման և կառավարման 6 հանգույց (անգլ.՝ DCM),
- ազդանշանի թվային մշակման մասնագիտացված (DSP) 240 հանգույց,

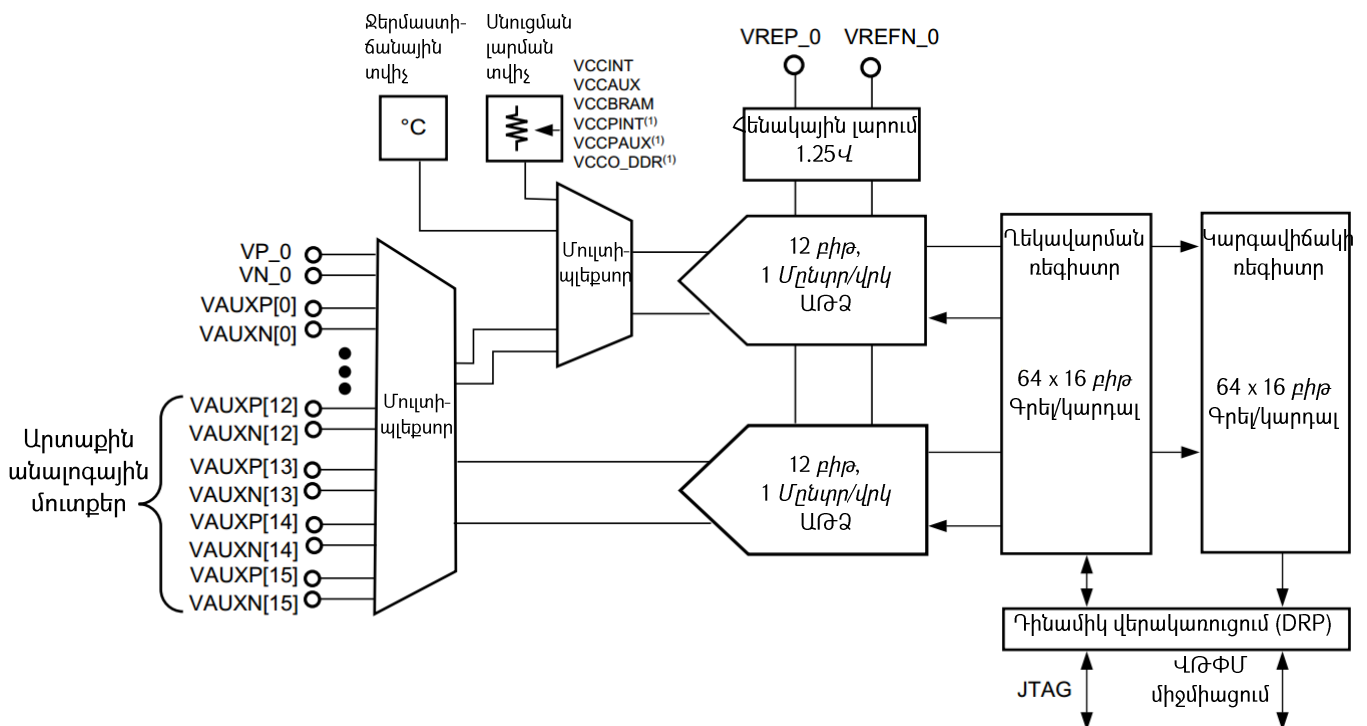


Նկ. 3.5. Մշակված սարքի ընդհանրական կառուցվածքային սխեման [81-82]

- 450 ՄՀ-ը գերազանցող ներքին տակտային ազդանշանի արագություններ,
- ներկառուցված անալոգաթվային կերպավորիչ (12 բիթ, 1 Մը/վ, երկկապուղի),
- 16 ՄԲ բջջային կառուցվածքով կամայական թույլտվությամբ հիշասարք (RAM),
- հաջորդական ինտերֆեյսով (Quad-SPI) էներգաանկախ հիշասարք (Flash),
- «Digilent» ընկերության «USB-JTAG» ինտերֆեյսի փոխակերպիչ՝ ՎԹՓՄ-ի ծրագրավորման և դրա հետ հետագա կապի ապահովման համար,
- «USB-UART» ինտերֆեյսի կամուրջ՝ ՎԹՓՄ-ի ներսում իրականացված սխեմայի հետ կապի ապահովման համար,
- արտաքին հիշողության քարտի (microSD) միացման ինտերֆեյս:

Ազդանշանի հաճախականային սպեկտրի ստեղծման առաջին քայլը դրա թվայնացման իրականացումն է **ԱԹՁ-ի** միջոցով:

Սարքի ներկայիս նախատիպում այն ներկառուցված է ՎԹՓՄ-ի ԻՍ-ի բյուրեղի ներսում՝ որպես օժանդակ հանգույց: Վերացնելով արտաքին ԱԹՁ-ի կիրառման անհրաժեշտությունը՝ այն օգնում է նվազեցնելու սարքի ինքնարժեքն ու վերջնական շուկայական գինը: Կիրառված ԱԹՁ-ի կառուցվածքային բլոկ-սխեման բերված է ստորև (նկ. 3.6.):



Նկ. 3.6. Կիրառված ԱԹՁ-ի կառուցվածքային բլոկ-սխեման [59]

Աղյուսակ 3.1. ԱԹՁ-ի կիրառված հիմնական մուտք/ելք հանգույցների նկարագրությունը

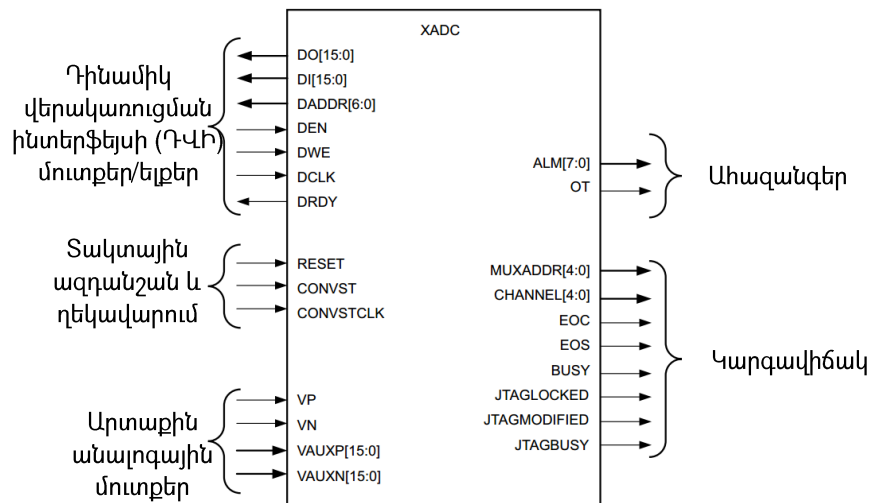
| Անվանումը | Մուտք/ելք | Նկարագրությունը |
|---------------------------------|-----------|---|
| DI[15:0] | Մուտք | ԴՎԻ-ի մուտքային տվյալների դող |
| DO[15:0] | Ելք | ԴՎԻ-ի տվյալների ելքային դող |
| DADDR[6:0] | Մուտք | ԴՎԻ-ի հասցեների դող |
| DEN | Մուտք | ԴՎԻ-ի թույլատրող ազդանշան |
| DWE | Մուտք | ԴՎԻ-ով գրել թույլատրող ազդանշան |
| DCLK | Մուտք | ԴՎԻ-ի տակտային ազդանշանի մուտք |
| DRDY | Ելք | ԴՎԻ-ի՝ տվյալների պատրաստ լինելը հաստատող ելք |
| RESET | Մուտք | Ասինքրոն զրոյացման ազդանշան՝ ԱԹՁ-ի ղեկավարող տրամաբանության համար: Այն սինքրոն կերպով կապասկտիվացվի DCLK-ի հետ (կամ ներքին տակտային ազդանշանի հետ՝ եթե DCLK-ն բացակայի) |
| CONVST ⁽²⁾ | Մուտք | Փոխակերպման սկիզբն ազդարարող մուտք: Գալիս է ՎԹՓՄ-ից: |
| CONVSTCLK ⁽²⁾ | Մուտք | Փոխակերպման սկզբի տակտային ազդանշան: Միացված պետք էլինի ՎԹՓՄ-ի տրամաբանության տակտային ազդանշանի ծառին: |
| V _p , V _n | Մուտք | ԱԹՁ-ի հատուկ հատկացված զույգ մուտքեր՝ դիֆերենցիալ անալոգային ազդանշանի համար: |
| EOC | Ելք | Փոխակերպման վերջի ազդարարում: ԱԹՁ փոխակերպման վերջում այս ազդանշանն անցնում է «տրամաբանական բարձր» մակարդակի, երբ չափման արդյունքը գրվում է կարգավիճակի ռեգիստրներում: |
| BUSY | Ելք | ԱԹՁ-ի զբաղվածության արձանագրում (ակտիվ փոխակերպման ժամանակ): |
| JTAGLOCKED | Ելք | ԴՎԻ-ի զբաղվածության (JTAG ինտերֆեյսի միջոցով) |

| | | |
|--------------|-----|--|
| | | ազդարարում: «Տրամաբանական ցածր» մակարդակը ադարարում է ԴՎԻ-ի ազատ լինելը: |
| JTAGMODIFIED | Ելք | JTAG ինտերֆեյսով ԴՎԻ-ի միջոցով գրելու գործողության փաստի արձանագրում: |
| JTAGBUSY | Ելք | JTAG ինտերֆեյսով ԴՎԻ-ի միջոցով տվյալների հոսքի արձանագրում: |

1. ԴՎԻ-ն ինտերֆեյս է ԱԹՁ-ի և ՎԹՓՄ-ի միջև:
2. Դրական ճակատի փոխանցատմամբ ակտիվացող ազդանշան:

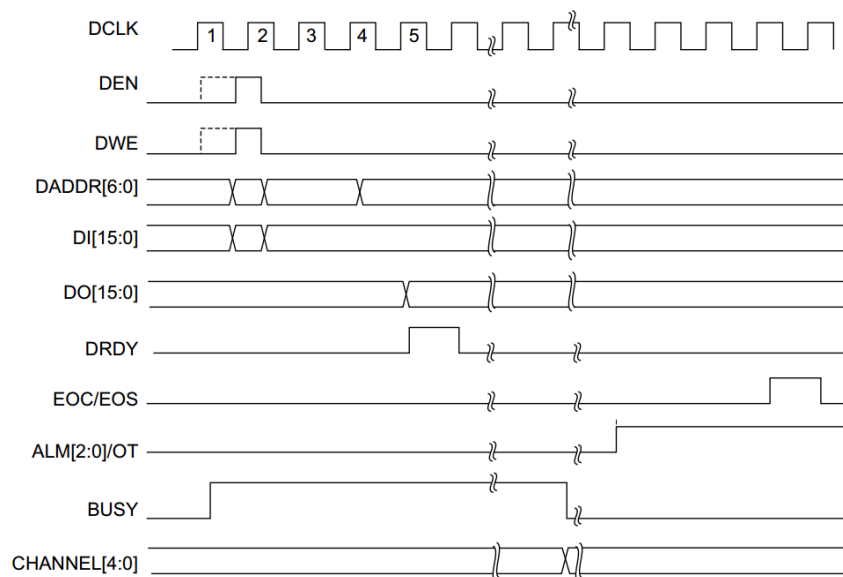
Աղյուսակ 3.1. (շարունակություն)

Նկ. 3.7.-ը ներկայացնում է կիրառված ԱԹՁ-ի հիմնական մուտք/ելք հանգույցները, որոնց նկարագրությունը բերված է աղ. 3.1.-ում: Կիրառված ԱԹՁ-ի ընտրանքի առավելագույն հաճախությունը մեկ միլիոն ընտրանքն է առ վայրկյան (1Մընտր/վրկ): Մեկ ընտրանքի վերջնական թվային արդյունքի ստացման համար պահանջվում է թվայնացնող տակտային ազդանշանի քսանվեց ցիկլ (առավելագույն հաճախականությունը 26 ՄՀց), ինչը տևում է մոտ 1 մկվ: Դա թվայնացման բավարար արագություն է ապահովում կիրառության մի շարք ոլորտներում, որտեղ պահանջները խիստ չեն արագագործության նկատմամբ, բայց զգայուն են գնի նկատմամբ [59]:



Նկ. 3.7. Կիրառված ԱԹՁ-ի հիմնական մուտք/ելք հանգույցները [59]

ԱԹՁ-ի ժամանակային բոլոր պրոցեսները սինքրոնացված են դինամիկ վերակառուցման ինտերֆեյսի (այսուհետ՝ ԴՎԻ, անգլ.՝ DRP) DCLK տակտային ազդանշանի հետ: ADCLK տակտային ազդանշանը գեներացվում է DCLK-ի հաճախության բաժանմամբ՝ օգտագործողի ընտրած գործակցով: Այն պահվում է ղեկավարման 2-րդ ռեգիստրում, և դրա վերածրագրավորումը հնարավոր է կատարել մշակված ծրագրային միջավայրից (3.3. ենթագլուխ): Դինամիկ վերակառուցման ինտերֆեյսով տվյալների (ղեկավարում և ընթացիկ կարգավիճակի ստացում) գրելու և կարդալու ժամանակային դիագրամները բերված են նկ. 3.8.-ում:



Նկ. 3.8. Դինամիկ վերակառուցման ինտերֆեյսի ժամանակային դիագրամները [59]

Տակտային ազդանշանի յուրաքանչյուր ցիկլի ընթացքում ընտրվում և պահվում է այդ պահի մուտքային անալոգային ազդանշանի ակնթարթային արժեքը, և այն վերածվում է 12 բիթ երկարությամբ երկուական թվի: Փոխակերպման գործընթացը բաղկացած է երկու փուլից՝ հավաքագրման և փոխակերպման: Ազդանշանի ընտրանքը հնարավոր է երկու՝ անընդհատ և իրադարձությամբ կառավարվող ժամանակային ռեժիմներում: Ռեժիմի ընտրությունը կատարվում է «0» հասցեով (ինդեքսով) ղեկավարման ռեգիստրի արժեքի հիման վրա: Ստորև ներկայացված են «0» հասցեով ղեկավարման ռեգիստրի հիմնական դաշտերը (աղ. 3.2.):

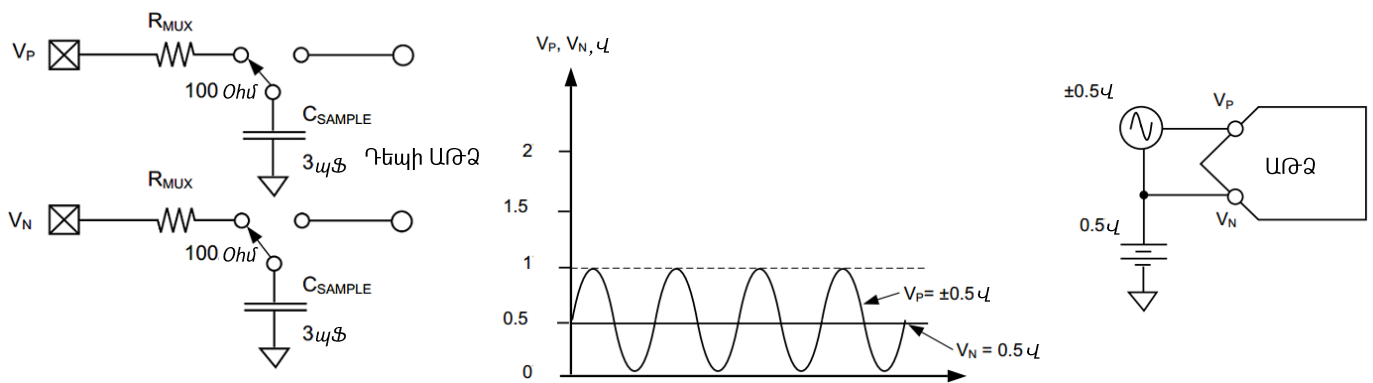
Անընդհատ ընտրանքի ռեժիմում ԱԹՁ-ն ավտոմատ կերպով սկսում է ընտրած անալոգային ազդանշանի հաջորդ արժեքի փոխակերպումը՝ ընթացիկ փոխակերպման

ցիկլի վերջում: Իսկ իրադարձային ընտրանքի ռեժիմում հաջորդ փոխակերպումը պետք է թույլատրվի CONVST և CONVSTCLK մուտքերի միջոցով՝ ընթացիկ փոխակերպման ցիկլի ավարտին [59]:

Աղյուսակ 3.2. «0» հասցեով ղեկավարման ռեգիստրի հիմնական դաշտերը [59]

| Բիթը | Անվանումը | Նկարագրությունը |
|------------|-----------------------|---|
| D10-ից D13 | CH0-ից CH4 | Մեկ կապուղով կամ արտաքին մուլտիպլեքսորով աշխատանքային ռեժիմում այս բիթերն օգտագործվում են ԱԹՁ-ի մուտքային կապուղին ընտրելու համար: |
| D18 | ACQ | Մեկ կապուղով աշխատանքային ռեժիմում այս բիթերով հնարավոր է անընդհատ ընտրանքի ռեժիմում ADCCLK-ի վեց պարբերությամբ մեծացնել արտաքին անալոգային մուտքի հաստատման ժամանակը: |
| D19 | $\overline{E\bar{C}}$ | Այս բիթն ընտրվում են ԱԹՁ-ի ընտրանքի ռեժիմները՝ անընդհատ (տրամաբան. «0») և իրադարձությամբ կառավարվող (տրամաբան. «1»): |
| D110 | $B\bar{U}$ | Այս բիթն օգտագործվում է մեկ կապուղով աշխատանքային ռեժիմում՝ ԱԹՁ-ի անալոգային մուտքի մշակման կա՛մ միաբևեռ (տրամաբանական «0»), կա՛մ երկբևեռ (տրամաբանական «1») մշակման ռեժիմն ընտրելու համար: |
| D111 | MUX | Տրամաբանական «1»-ն ակտիվացնում է արտաքին մուլտիպլեքսորով աշխատանքային ռեժիմը: |
| D112, D113 | AVG0, AVG1 | Այս բիթերը կիրառվում են ընտրված մուտքի (մեկ կապուղու կամ հաջորդական ռեժիմներում) թվայնացման ժամանակ միջինացվող ընտրանքների քանակը սահմանելու համար: |
| D115 | CAVG | Այս բիթն օգտագործվում է կարգաբերման գործակիցների հաշվարկի ընթացքում միջինացումն անջատելու համար (տրամաբանական «1»): Միջինացումը ամրագրված է 16 ընտրանքի վրա: |

Կիրառված ԱԹՁ-ի անալոգային մուտքերը կարող են հարմարեցվել այնպիսի անալոգային մուտքային ազդանշանների գրանցման համար, որոնք հենակային կամ ընդհանուր ռեժիմի (անգլ.՝ common mode) լարման նկատմամբ կարող են ընդունել և՛ դրական, և՛ բացասական (երկբևեռ) արժեքներ: ԱԹՁ-ի երկբևեռ աշխատանքային ռեժիմն ընտրվում է ԴՎԻ-ի միջոցով՝ «0» հասցեով ղեկավարման ռեգիստրում համապատասխան կոնֆիգուրացումը գրելով: Մուտքային լարման բոլոր արժեքները պետք է դրական լինեն անալոգային հողանցման պոտենցիալի (GNDADC) նկատմամբ: Երբ ակտիվ է երկբևեռ աշխատանքային ռեժիմը, դիֆերենցիալ անալոգային մուտքը ($V_p - V_n$) կարող է ունենալ առավելագույնը $\pm 0.5V$ բացվածք: Հենակային կամ ընդհանուր



Նկ. 3.9. Անալոգային ազդանշանի միացման համարժեք սխեման երկբևեռ ռեժիմում [59]

Ստացված 12 բիթ երկարությամբ ելքային երկուական կոդը թույլ է տալիս ազդանշանի 1V բացվածքի պարագայում յուրաքանչյուր բաժանման (ամենաքիչ նշանակալի բիթ, անգլ.՝ LSB) համար ստանալ $1/2^{12}$ կամ $1/4096 = 244$ մկՎ արժեք: Երկբևեռ ռեժիմում ելքային երկուական կոդը տրվում է «2-ի լրացման» կոդավորմամբ:

Ինչպես երևում է աղ. 3.3.-ից, ԱԹՁ-ի միջինացման ռեգիստրների միջոցով կարելի է միացնել կամ անջատել ԱԹՁ-ի մուտքային անալոգային ազդանշանի հաջորդական ընտրանքներից ստացված տվյալների շարքի միջինացումը: Միջինացված կապուղու չափման արդյունքները ստացվում են՝ օգտագործելով 16, 64 կամ 256 հաջորդական ընտրանքները: Միջինացվող ընտրանքների քանակն ընտրվում է «0» հասցեով ղեկավարման ռեգիստրի AVG1 և AVG0 բիթերի միջոցով [59]:

Այսպիսով, կիրառված ԱԹՁ-ն բավարարում է արագագործության, գնի և չափերի փոքրացմանն առաջադրված պահանջները և ապահովում է դետեկտորից եկած օպտիկական ազդանշանի թվայնացումը 4096 կետերում՝ 244 մկՎ քայլով և առավելագույնը 256 հաջորդաբար չափված ընտրանքների միջինացմամբ:

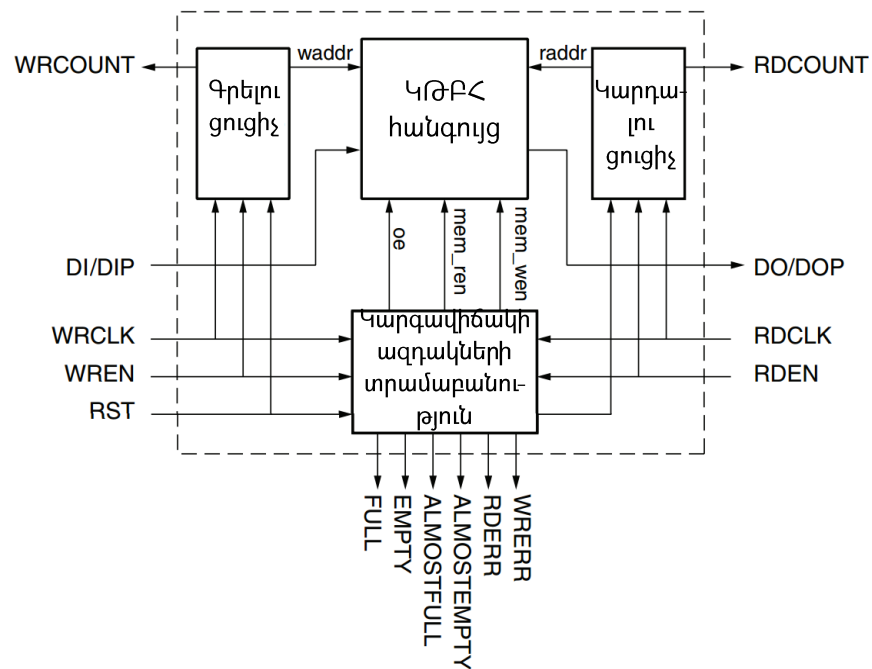
Աղյուսակ 3.3. Հաջորդական ընտրանքների միջինացման կարգավորումները [59]

| AVG0 | AVG1 | Գործառույթը |
|------|------|--------------------------------------|
| 0 | 0 | Չմիջինացնել |
| 0 | 1 | Միջինացնել 16 հաջորդական ընտրանքներ |
| 1 | 0 | Միջինացնել 64 հաջորդական ընտրանքներ |
| 1 | 1 | Միջինացնել 256 հաջորդական ընտրանքներ |

Ամեն անգամ, երբ ավարտվում է անալոգային ազդանշանի արժեքի փոխակերպման ցիկլը, ղեկավարող տրամաբանական հանգույցը ստացված թվային տվյալները ուղղորդում է դեպի ԱՄԱԵ սկզբունքով աշխատող հիշասարք և գրում դրա մեջ: Դրանից հետո այդ հիշասարքում պահպանվող տվյալները հասանելի են տվյալների հոսքողու հետագա հանգույցներին՝ կարդալու և մշակելու նպատակով, ինչն արդեն կարող է տեղի ունենալ թվայնացնող տակտային ազդանշանի հաճախականությունից անկախ արագությամբ [61]:

«Առաջին մուտք, առաջին ելք» սկզբունքով (այսուհետ՝ ԱՄԱԵ, անգլ.՝ FIFO) աշխատող հիշասարքի նկարագրությունը: Xilinx® Artix-7 ՎԹՓՄ-ում առկա հատուկ տրամաբանական տարրերը և կամայական թույլտվությամբ բլոկային հիշասարքերի (այսուհետ՝ ԿԹԲՀ, անգլ. BRAM) ճարտարապետությունը թույլ են տալիս իրականացնել սինքրոն կամ ասինքրոն ԱՄԱԵ-ներ (երկու անկախ տակտային ազդանշաններով՝ գրելու և կարդալու գործընթացների համար) [60]: ԿԹԲՀ-ի մուտք/ելք հանգույցների առաջին խումբը (անգլ. Port A) կիրառվում է կարդալու համար, իսկ երկրորդ խումբը (Port B)՝ գրելու համար: Տվյալը ԱՄԱԵ-ի ելքում հայտնվում է կարդացող տակտային ազդանշանի աճող ճակատի պահին և գրանցվում դրա մեջ գրող տակտային ազդանշանի աճող ճակատի պահին: ԱՄԱԵ-ները կարող են կոնֆիգուրացվել որպես 18 կբիթ կամ 36 կբիթ հիշասարքեր՝ տվյալների և հասցեի դոզերի տարբեր

լայնություններով [62]: Այս աշխատանքում կիրառված ԱՄԱԵ ստանդարտ հիշասարքը ևս գեներացվել է ՎԹՓՄ-ի բյուրեղում առկա օժանդակ ԿԹԲՀ-ի կիրառմամբ (նկ. 3.10.): Դրա շնորհիվ վերացել է հաշվիչի, համեմատող սարքի (կոմպարատոր) կամ կարգավիճակի ազդակների գեներացման համար անհրաժեշտ բարդ տրամաբանական հանգույցների կարիքը՝ օգտագործելով միայն մեկ ԿԹԲՀ: Արդյունքում՝ կրճատվել է բյուրեղի վրա զբեղեցված ընդհանուր մակերեսը և լավացվել է հիշասարքի ընդհանուր կատարողականությունը: Կիրառված ԱՄԱԵ-ի հիմնական մուտք/ելք հանգույցները նկարագրված են աղ. 3.4.-ում:



Նկ. 3.10. ԿԹԲՀ-ի վրա հիմնված ԱՄԱԵ-ի ընդհանուր տեսքը [60]

Աղյուսակ 3.4. ԱՄԱԵ-ի մուտք/ելք հանգույցների նկարագրությունը [60]

| Անվանումը | Մուտք/ելք | Նկարագրությունը |
|-----------|-----------|--|
| DI | Մուտք | Տվյալների մուտք |
| DIP | Մուտք | Պարիտետի բիթի մուտք |
| WREN | Մուտք | Գրելու թույլտվություն: Երբ WREN-ը «տրամաբանական 1» է, տվյալը գրվում է հիշողության մեջ: Երբ WREN-ը «տրամաբանական 0» է, գրելը թույլատրված չէ: WREN-ը և RDEN-ը պետք է «ցածր» պահվեն զրոյացման (Reset) |

| | | |
|------------|-------|--|
| | | ցիկլից առաջ, դրա ընթացքում և նաև դրա ավարտից հետո համապատասխանաբար WRCLK-ի և RDCLK-ի ևս 2 պարբերության ընթացքում: |
| WRCLK | Մուտք | Գրելու կղզյակի տակտային ազդանշան: |
| RDEN | Մուտք | Կարդալու թույլտվություն: Երբ RDEN-ը «տրամաբանական 1» է, տվյալը կարդացվում է ելքային ռեգիստրի մեջ: Երբ RDEN-ը «0» է, կարդալը չի թույլատրվում: |
| RDCLK | Մուտք | Գրելու կղզյակի տակտային ազդանշան: |
| RST | Մուտք | ԱՄԱԵ-ի բոլոր ֆունկցիաների, կարգավիճակի ազդակների և ցուցիչների ասինքրոն զրոյացում: Ասինքրոն զրոյացման ազդանշան ԱԹՁ-ի ղեկավարող տրամաբանության համար: RST-ն պետք է հաստատված մնա գրելու և կարդալու տակտային ազդանշանների հինգ տակտերի ընթացքում: |
| RSTREG | Մուտք | Ելքային ռեգիստրների սինքրոն զրոյացում/կարգում: |
| REGCE | Մուտք | Ելքային ռեգիստրների տակտավորման ակտիվացում: |
| DO | Ելք | Տվյալների ելք. սինքրոն է և տակտավորվում է RDCLK-ով: |
| DOP | Ելք | Պարիտետի բիթի ելք. սինքրոն է, տակտավորվում է RDCLK-ով: |
| FULL | Ելք | ԱՄԱԵ հիշասարքի բոլոր հասցեները լցված են: Լրացուցիչ գրելու հրամանները չեն ընդունվի: Սինքրոն է WRCLK-ին: |
| ALMOSTFULL | Ելք | ԱՄԱԵ հիշասարքի գրեթե բոլոր հասցեները լցված են: Գրելու համար դեռևս հասանելի ԱՄԱԵ-ի հասցեների քանակը ավելի քիչ է, քան նախապես կարգված «ALMOST_FULL_OFFSET» արժեքը: Սինքրոն է WRCLK-ին: |
| EMPTY | Ելք | ԱՄԱԵ-ն դատարկ է: Լրացուցիչ կարդալու հրամանները չեն ընդունվի: Սինքրոն է RDCLK-ին: |

Աղյուսակ 3.4. (շարունակություն)

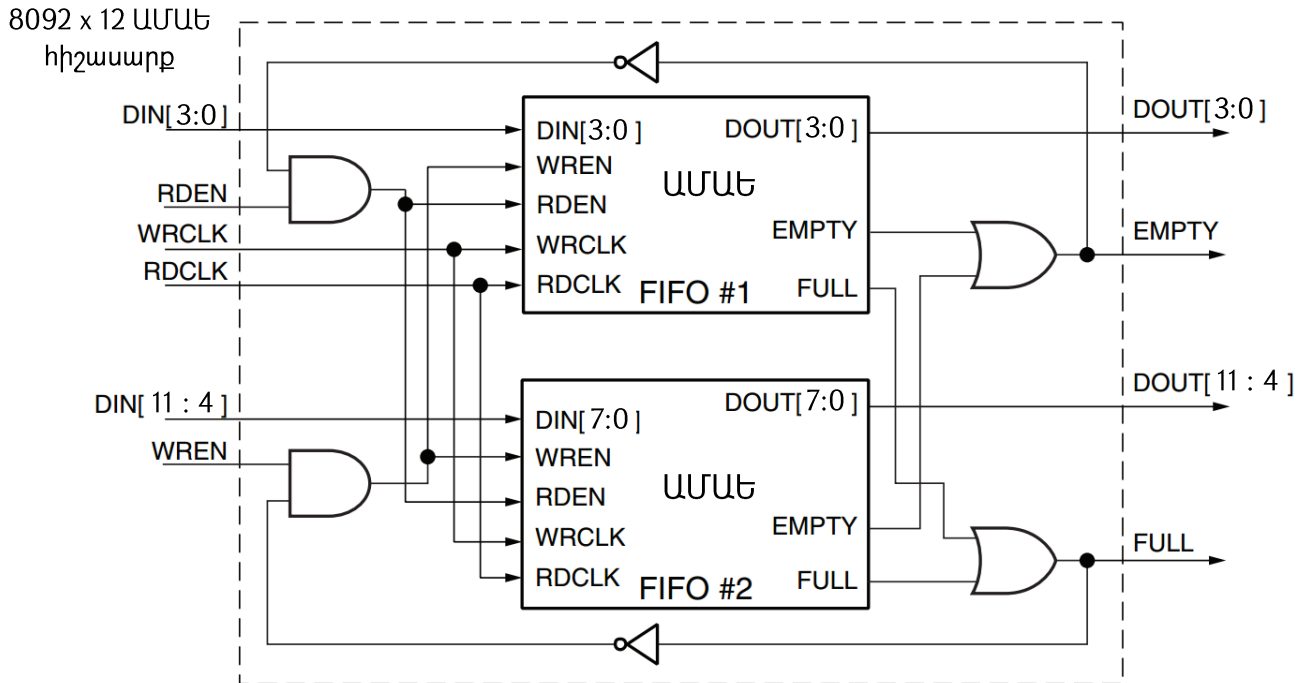
| | | |
|-------------|-----|--|
| ALMOSTEMPTY | Ելք | ԱՄԱԵ հիշասարքի գրեթե բոլոր ակտիվ հասցեները արդեն կարդացվել են: ԱՄԱԵ-ում մնացած տվյալների հասցեների քանակը ավելի քիչ է, քան նախապես կարգված «ALMOST_EMPTY_OFFSET» արժեքը: Սինքրոն է RDCLK-ին: |
| RDCOUNT | Ելք | ԱՄԱԵ-ից տվյալների ընթերցման ցուցիչ: Սինքրոն է RDCLK-ին: Արժեքը շրջվում է, երբ ընթերցման ցուցիչը հասնում է առավելագույն արժեքին: |
| WRCOUNT | Ելք | ԱՄԱԵ-ի մեջ տվյալների գրառման ցուցիչ: Սինքրոն է WRCLK-ին: Արժեքը շրջվում է, երբ գրառման ցուցիչը հասնում է առավելագույն արժեքին: |
| WRERR | Ելք | Երբ ԱՄԱԵ-ն լցված է, գրելու յուրաքանչյուր լրացուցիչ գործողության փորձ գեներացնում է սխալի ազդակ: Սինքրոն է WRCLK-ին: |
| RDERR | Ելք | Երբ ԱՄԱԵ-ն դատարկ է, կարդալու յուրաքանչյուր լրացուցիչ գործողության փորձ գեներացնում է սխալի ազդակ: Սինքրոն է RDCLK-ին: |

Աղյուսակ 3.4. (շարունակություն)

Օգտագործվել է 64 կբիթ ԿԹԲՀ (2 x 36 կբիթ)՝ տակտավորված իրարից անկախ գրող և կարդացող տակտային ազդանշաններով (նկ. 3.11.): Տվյալների դողի հաստությունը 12 բիթ է, իսկ զբաղեցրած հասցեների խորությունը՝ 8192 (1-ին ԿԹԲՀ-ն կիրառվել «8092 հասցե x 8 բիթ» իսկ 2-րդը՝ «8092 հասցե x 4 բիթ» ԱՄԱԵ կոնֆիգուրացմամբ):

Իրագործվել են ԱՄԱԵ-ների հետ ասոցացվող որոշակի հիմնարար ֆունկցիաներ, ինչպիսիք են «գրեթե լցված»/«գրեթե դատարկ» կարգավիճակների մասին տեղեկացնող ելքերը և սարքերի միջև փոխհամաձայնեցումը («ձեռքսեղմում»)՝ և՛ գրելու, և՛ կարդալու գործողությունների ժամանակ: Այդ հնարավորություններն իրականացվել են լրիվ սարքային եղանակով, ինչն ապահովում է արձագանքման անհամեմատ ավելի մեծ արդյունավետություն և արագություն, քան ծրագրային ղեկավարումը (օր.՝ սպեկտրաչափին միացված արտաքին համակարգչից կատարվող):

ԱՄԱԵ-ի «գրեթե լցվելու» շեմ է սահմանվել դեռևս դատարկ 3 հասցեն՝ տվյալների հնարավոր կորստից խուսափելու և, միևնույն ժամանակ, համակարգի ընդհանուր կատարողականությունը առավելագույն մակարդակի հասցնելու և պահելու նպատակով:



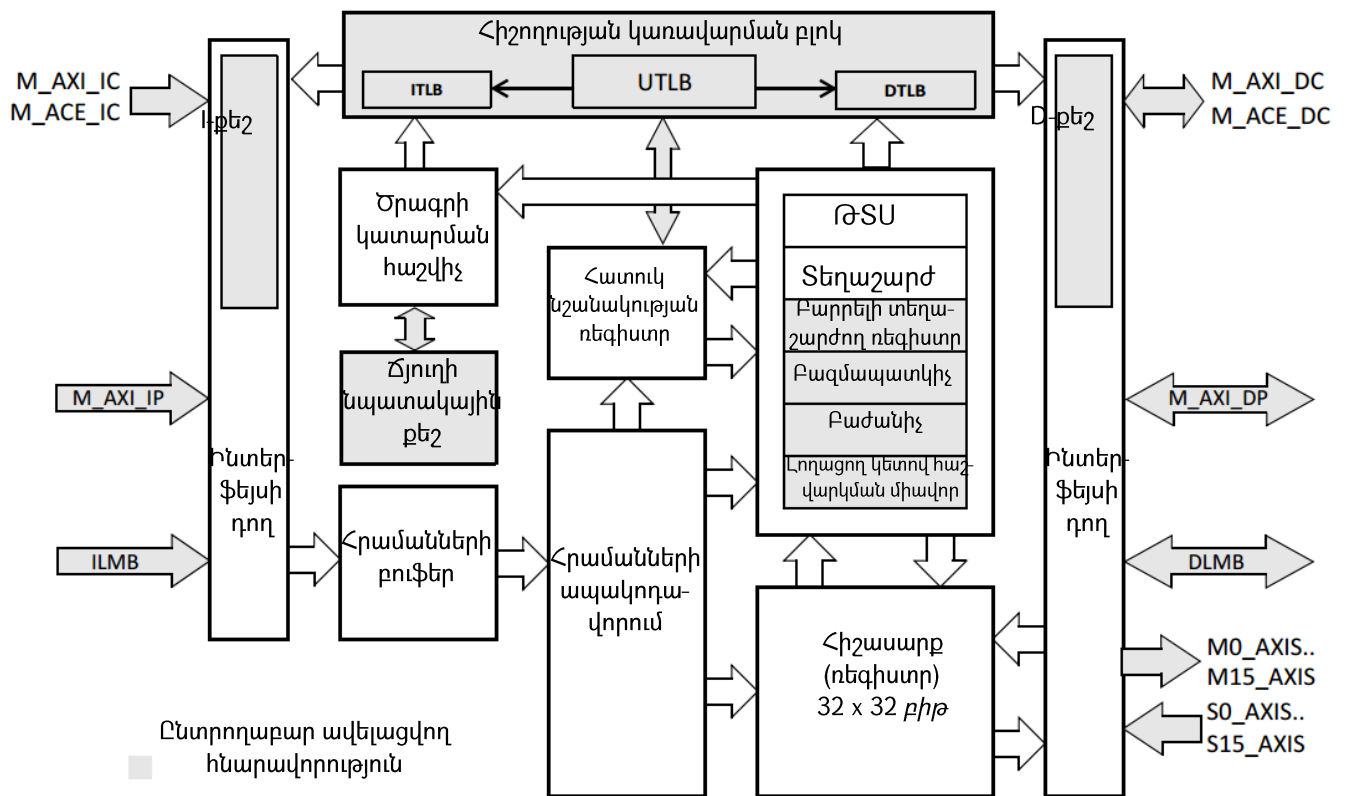
Նկ. 3.11. ԱՄԱԵ-ների զուգահեռ միացում՝ մեծացնելով տվյալի բառի լայնությունը [60]

Կիրառված MicroBlaze միկրոպրոցեսորի նկարագրությունը: «MicroBlaze»-ը «Xilinx®» ընկերության ինտելեկտուալ սեփականությունը հանդիսացող (անգլ.՝ IP core), հրամանների կրճատված հավաքածուով հաշվարկման (այսուհետ՝ ՀԿՀՀ, անգլ.՝ RISC) 32-բիթ ճարտարապետությամբ միկրոպրոցեսոր է: Դրա պարզեցված՝ որոշ լրացուցիչ ֆունկցիաների կրճատմամբ, Verilog լեզվով նկարագրված տարբերակը (նկ. 3.12.) իրագործված է կիրառված ՎԹՓՄ-ի նախագծի շրջանակներում [63]:

«MicroBlaze»-ը կոնֆիգուրացված է այնպես, որ աշխատի որպես 150 ՄՀց հաճախությամբ, 16 կԲ ԿԹԲՀ-ով (որպես օպերացիոն հիշասարք) միկրոպրոցեսոր՝ համալրված ունիվերսալ ասինքրոն ընդունիչ և հաղորդիչ (այսուհետ՝ ՈւԱԸՀ) ինտերֆեյսով, մեկ 5 բիթ-անոց ելքային և երկու մուտքային՝ 4 և 8 բիթ-անոց, ընդհանուր նշանակության ռեգիստրներով: Ներքին կամ արտաքին ընդհատումների գեներացիա կամ սպասարկում չի իրագործվել: ՈւԱԸՀ-ով իրականացվում է տվյալների հաջորդական փոխանակում արտաքին հեռահաղորդակցական հանգույցի հետ 9600

բող արագությամբ, 8 տվյալային և 1 ավարտի բիթ պարունակող, առանց պարիտետի (կենտության) բիթի փաթեթներով (9600, 8, N, 1):

«MicroBlaze» պրոցեսորը պետք է արդյունավետ կերպով հիշասարքից վերցնի տվյալները, իրականացնի անհրաժեշտ հաշվարկները և վերջնական տվյալները կրկին պահպանի հիշասարքի մեջ: Դրա իրականացումը հեշտացնելու ճանապարհներից մեկը հիշասարքին ուղիղ թույլտվության (<ՈւԹ) շարժիչի կիրառումն է: <ՈւԹ շարժիչը կարող է տվյալները հիշասարքից փոխանցել օժանդակ պրոցեսորին՝ առանց կենտրոնական պրոցեսորի (ԿՊ) անմիջական ներգրավման: ԿՊ-ն պարզապես պետք է թույլատրի փոխանցումը (որտեղի՞ց և ու՞ր), և որոշ ժամանակ անց այն կստանա ծանուցում փոխանցման ավարտի մասին:



Նկ. 3.12. Կիրառված «MicroBlaze» միկրոպրոցեսորի միջուկի կառուցվածքը [63]

Նկ. 3.12.-ում ներկայացված հիմնական ինտերֆեյսների նկարագրությունը հետևյալն է.

- **M_AXI_DP.** տվյալային պերիֆերիկ ինտերֆեյս, AXI4-Lite կամ AXI4 ինտերֆեյս,
- **DLMB.** տվյալային ինտերֆեյս, տեղային հիշասարքի դոլ (այսուհետ՝ ՏՀԴ, միայն ԿԹԲՀ համար),
- **M_AXI_IP.** հրամանների պերիֆերիկ ինտերֆեյս, AXI4-Lite ինտերֆեյս,

- **ILMB.** հրամանների ինտերֆեյս, SՀԴ (միայն ԿԹԲՀ համար),
- **M0_AXIS...M15_AXIS.** AXI4-Stream ինտերֆեյսի «տիրոջ» ուղիղ միացման ինտերֆեյսներ,
- **S0_AXIS...S15_AXIS.** AXI4-Stream ինտերֆեյսի «ծառայի» ուղիղ միացման ինտերֆեյսներ:

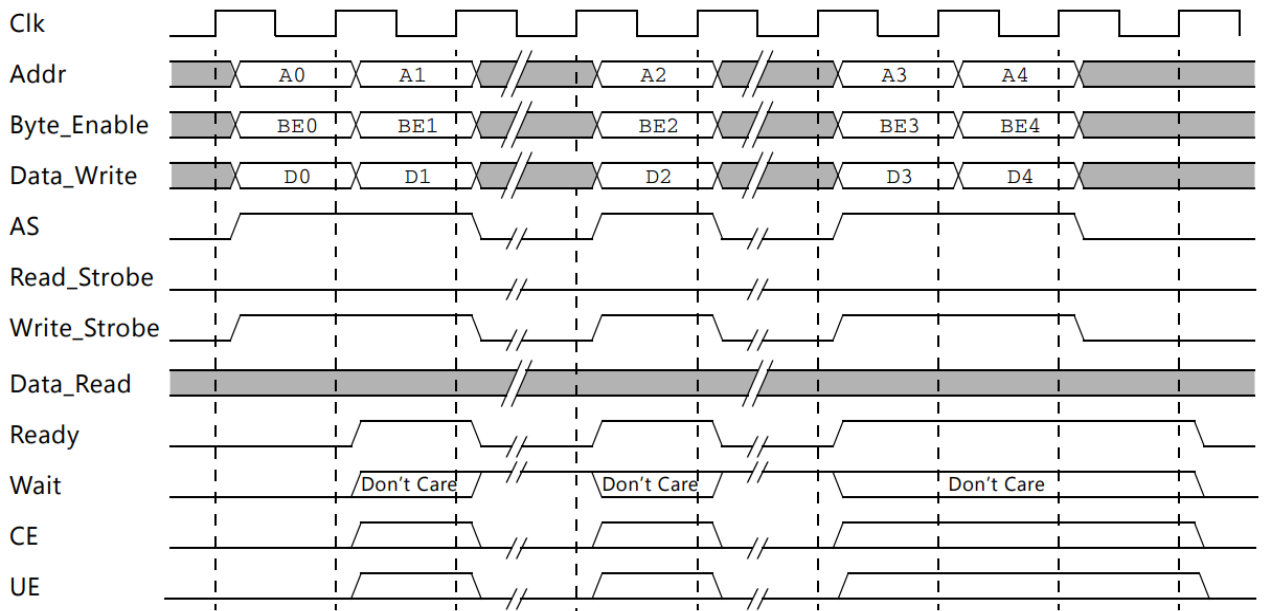
SՀԴ-ն սինքրոն դող է, որը գլխավորապես օգտագործվում է ԿԹԲՀ-ին հասանելիություն ապահովելու համար: Այն կիրառում է նվազագույն քանակով ղեկավարող ազդանշաններ և պարզ պրոտոկոլ՝ տեղային ԿԹԲՀ-ներին արագ հասանելիություն (տակտայի ազդանշանի մեկ ցիկլում) ապահովելու համար: SՀԴ-ի ազդանշանների սահմանումը բերված է աղ. 3.5.-ում [63]:

Աղյուսակ 3.5. SՀԴ ինտերֆեյսի ազդանշանների նկարագրությունը [63]

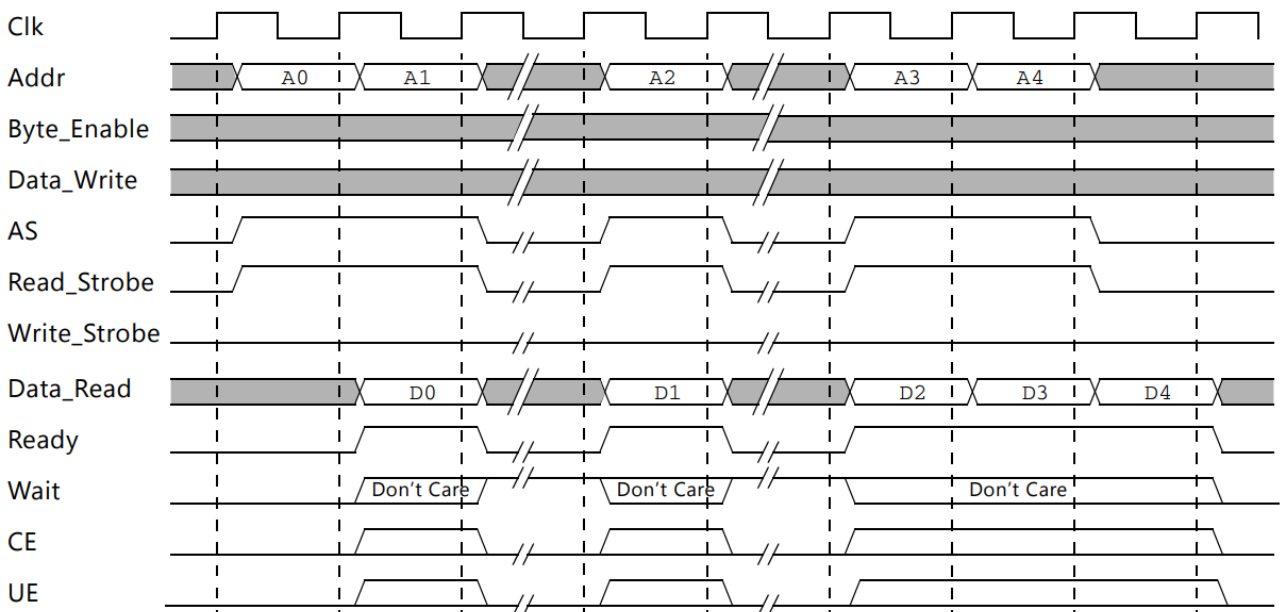
| <i>Ազդանշան</i> | <i>Տվյալների ինտերֆեյս</i> | <i>Հրամանների ինտերֆեյս</i> | <i>Տիպ. ելք/Մուտք</i> | <i>Նկարագրություն</i> |
|------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------|---|
| Addr[0:N-1] | Data_Addr[0:N-1] | Instr_Addr[0:31] | Ե | Հասցեի դող |
| Byte_Enable[0:3] | Byte_Enable[0:3] | չի կիրառվում | Ե | Բայթի ակտիվացում |
| Data_Write[0:31] | Data_Write[0:31] | չի կիրառվում | Ե | Գրվող տվյալի դող |
| AS | D_AS | I_AS | Ե | Հասցեի իմպուլս |
| Read_Strobe | Read_Strobe | I_Fetch | Ե | Կարդալը ընթացքի մեջ է |
| Write_Strobe | Write_Strobe | չի կիրառվում | Ե | Գրելը ընթացքի մեջ է |
| Data_Read[0:31] | Data_Read[0:31] | Instr[0:31] | Մ | Կարդացված տվյալի դող |
| Ready | DReady | IReady | Մ | Պատրաստ է հաջորդ փոխանցմանը |
| Wait | DWait | IWait | Մ | Սպասել մինչև համաձայնեցված փոխանցման ավարտը |
| CE | DCE | ICE | Մ | Ուղղելի սխալ |
| UE | DUE | IUE | Մ | Անուղղելի սխալ |
| Clk | Clk | Clk | Մ | Դողի տակտային ազդանշան |

1. N = 32 – 64, սահմանվում է «C_ADDR_SIZE» պարամետրի համաձայն

ՏՀԴ-ով կատարվող գործողությունների օրինակներ (ժամանակային դիագրամներ) են բերված 3.13...3.15. նկարներում: Դրանք ներկայացնում են իրար հետևից հաջորդաբար կատարվող միայն գրելու, միայն կարդալու և գրել-կարդալու գործողություններ:



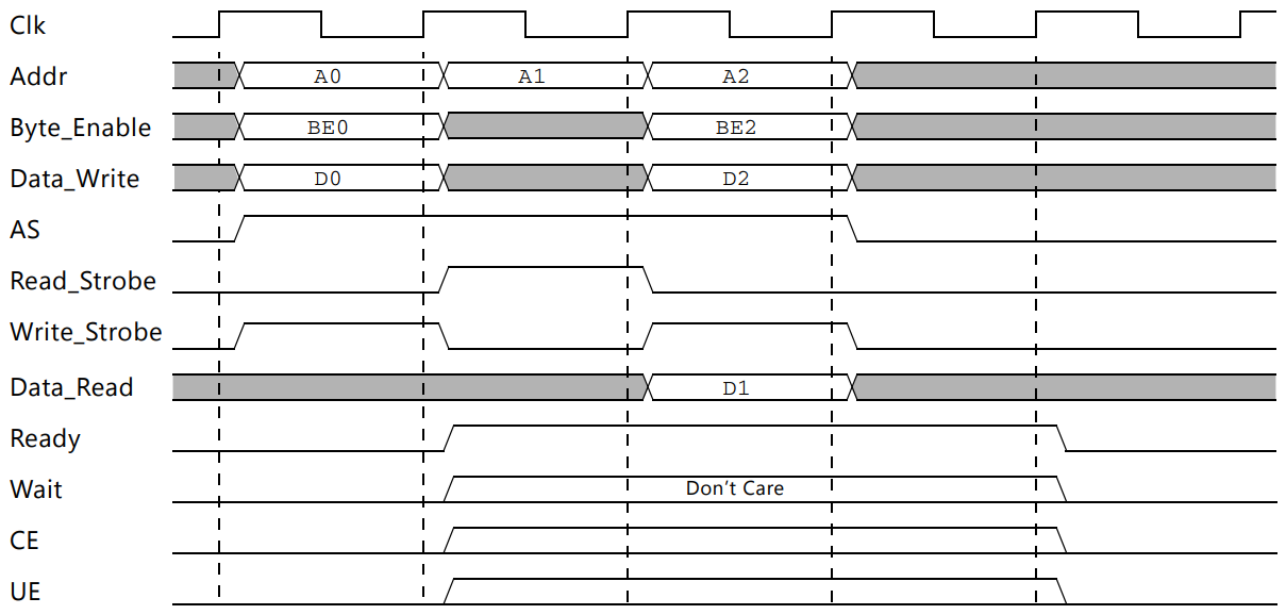
Նկ. 3.13. ՏՀԴ միջոցով իրականացվող հաջորդաբար գրելու գործողությունը [63]



Նկ. 3.14. ՏՀԴ միջոցով իրականացվող հաջորդաբար կարդալու գործողությունը [63]

Չափումների ստորին մակարդակի կառավարում. թվայնացված սպեկտրի միջինացման և աղմուկների նվազարկման գործընթացները: Տվյալների

հավաքագրման համակարգը ղեկավարվում և ուղղորդվում է Xilinx® Artix-7 ՎԹՓՄ-ում իրագործված «MicroBlaze» ներդրված պրոցեսորային միջուկով: ՎԹՓՄ ճկունության շնորհիվ դրա ճարտարապետությունը, պերիֆերիկ սարքերի հետ հաղորդակցման ինտերֆեյսները հարմարեցված են կոնկրետ կիրառությանը ֆոտոսպեկտրաչափական սարքի նախատիպի կազմում:



Նկ. 3.15. SLC7 միջոցով իրականացվող հաջորդաբար գրել-կարդալու (խառը) գործողությունը՝ առանց սպասման վիճակների [63]

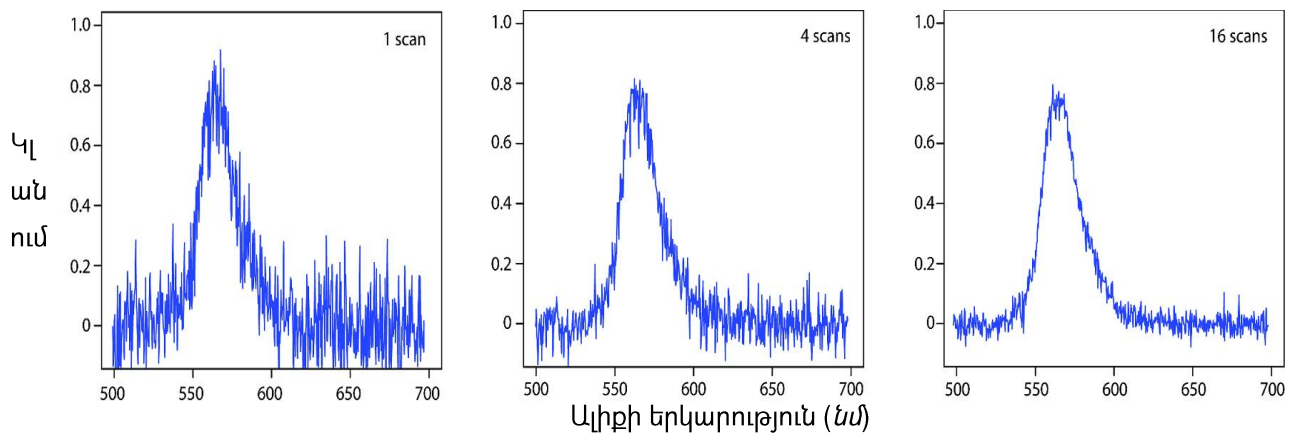
«MicroBlaze»-ով կառավարվող առանձնացված տրամաբանական սխեմաներն իրականացնում են բոլոր հաշվարկները և տրամաբանական գործողությունները՝ կիրառելով մշակված համապատասխան ալգորիթմները (Գլուխ 2.): ՎԹՓՄ ԻՍ-ի բյուրեղում առկա մասնագիտացված բազմապատկիչների և գումարիչների կիրառմամբ տրված բանաձևերով մաթեմատիկական հաշվարկները կատարվում են շատ արագ և բարձր արդյունավետությամբ (սպեկտրի տեսանելի միջակայքի մեկ ամբողջական սքանավորումը 1 նմ քայլով տևում է մոտ **5...10 մկ**) [81]:

Մթնային հոսանքի ուղղում: Երբ լուսաճեղքը փակ է, և դետեկտորի վրա այլևս լույսի ճառագայթ չի ընկնում, ֆոտոդետեկտորի ելքում, այնուամենայնիվ, առաջանում է փոքր մակարդակի ազդանշան՝ պայմանավորված «մթնային» հոսանքով: Այդ ազդանշանը շարունակաբար չափվում և պահվում է հիշասարքում: Լուսաճեղքի բացվելուց հետո դրա արժեքը հանվում է կատարված չափման արդյունքից, և այդ կերպ այն փոքրացնում է սխալանքի չափը:

Թվայնացված ազդանշանի հաշվարկված **սպեկտրի միջինացումը** բարելավում է վերջնական սպեկտրի ազդանշան-աղմուկ հարաբերակցությունը: Եթե համադրվում են նույն նմուշի համար հաջորդաբար ստացված n հատ սպեկտրներ, ապա կամայական x կետում գումարային ազդանշանի արժեքը $n \cdot S_x$ է, որտեղ S_x -ը ազդանշանն է: Այդ նույն գործընթացում աղմուկը կամայական x կետում պատահական իրադարձություն է, որն արտահայտվում է $\sqrt{n} \cdot N_x$ -ով, երբ համադրվում են n հատ սպեկտրներ: Ազդանշան-աղմուկ հարաբերակցությունը (S/N) սպեկտրի n հատ հաջորդական սքանավորումների արդյունքում կլինի [6].

$$\frac{S}{N} = \frac{n \cdot S_x}{\sqrt{n} \cdot N_x} = \sqrt{n} \frac{S_x}{N_x},$$

որտեղ S_x/N_x -ը մեկ սքանավորման ազդանշան-աղմուկ հարաբերակցությունն է: Ազդանշանի սպեկտրի միջինացման ազդեցությունը վերջնական սպեկտրի վրա ցույց է տրված նկ. 3.16.-ում: Առաջին սպեկտրը մեկ առանձին սքանավորման արդյունքն է, որն ունի մեկ աղմկոտ պիկ: Ազդանշանի սպեկտրի միջինացումը չորս և տասնվեց սքանավորումներից հետո նվազեցնում է աղմուկի մակարդակը և բարելավում ազդանշան-աղմուկ հարաբերակցությունը:



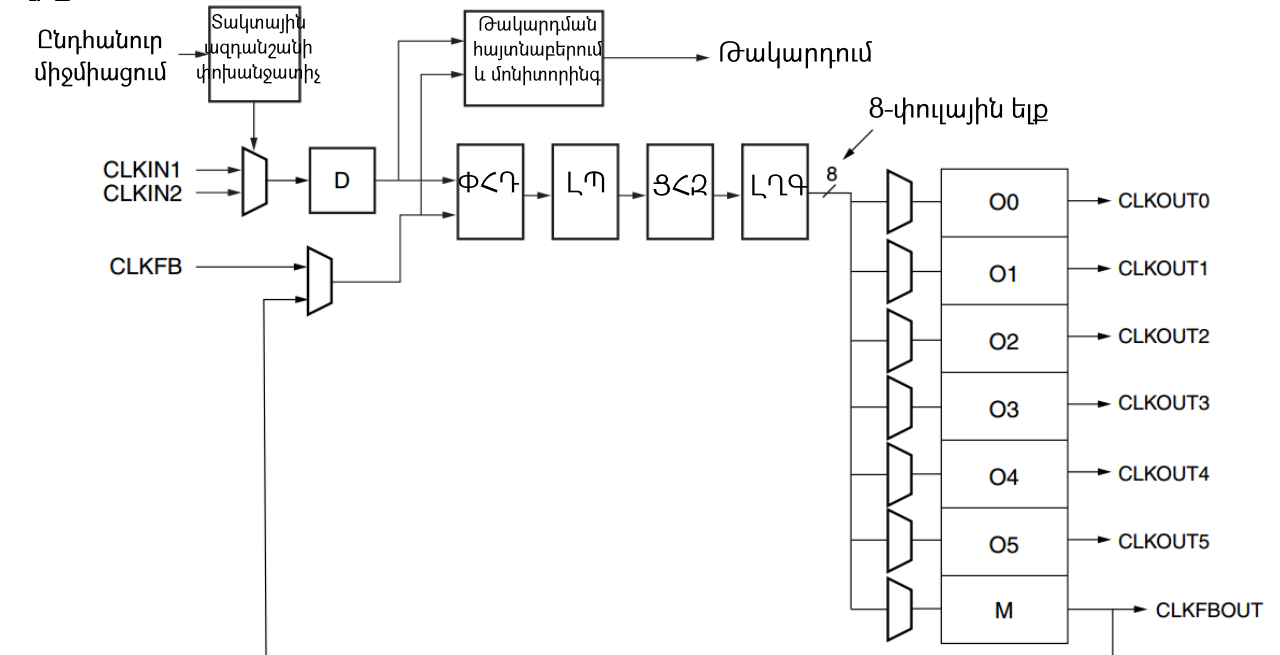
Նկ. 3.16. Ազդանշանի ստացված վերջնական սպեկտրը 1, 4 և 16 հաջորդական սքանավորումների միջինացումից հետո [6]

Ֆոտոդետեկտորի օպտիկական ինֆորմացիոն ազդանշանի սքանավորման և մշակման ավարտին հավաքված վերջնական սպեկտրային տվյալները պահպանվում են հիշասարքում: Ամեն հաջորդ չափումից հետո դրանում եղած տվյալները

թարմացվում են և պահանջի դեպքում ՈւԱԸՀ հաջորդական ինտերֆեյսով փոխանցվում են համակարգչին՝ սպեկտրային տվյալների գրաֆիկական պատկերման համար: Կիրառվել է ՈւԱԸՀ (RS232) – համապիտանի հաջորդական դող (այսուհետ՝ ՀՀԴ, անգլ.՝ USB) կամուրջ՝ FTDI® FT232 ԻՍ-ի հիման վրա: Դա նաև ապահովում է հետադարձ կապ և թույլ է տալիս օգտատործողի կողմից տրամադրված տվյալների հիման վրա կարգաբերել ԱԹՁ-ի ընտրանքի պարամետրերը, կատարել ցանկալի թվով լրիվ սքանավորված սպեկտրային տվյալների միջինացում և այլն: Այդ նպատակով «MicroBlaze» պրոցեսորի համար համապատասխան միջավայրում, «C» լեզվի կիրառմամբ, մշակվել է ծրագրային ապահովում, և կոմպիլացված երկուական կոդը բեռնվել է ՎԹՓՄ-ում ներդրված «MicroBlaze»-ի հիշասարքի մեջ:

Համակարգչի վրա աշխատող մշակված UV-Visible Spectrum ծրագրային միջոցի մշակումը կնկարագրվի այս գլխի վերջում:

Տակտավորման համակարգը: «Artix 7» ՎԹՓՄ-ն ունի տակտային ազդանշանի գեներացման և կառավարման (անգլ.՝ DCM) 6 հանգույց: Դրանցից յուրաքանչյուրում առկա փուլի թակարդմամբ հաճախության համակարգը (ՓԹՀՀ, անգլ.՝ PLL), մյուսներից անկախ կերպով, կարող է գեներացնել մինչև 450 ՄՀց-ի հասնող տակտային ազդանշան: Կիրառված ՓԹՀՀ-ի կառուցվածքային սխեման բերված է նկ. 3.17.-ում [58]: Որպես հենակային մուտքային տակտային ազդանշան օգտագործվում է տպասալի վրա տեղադրված 100 ՄՀց հաճախականությամբ քվարցային գեներատորի ելքը:



ՓՀԴ – փուլահաճախականային դետեկտոր, ԼԴ- լիցքի պոմպ,
ՑՀԶ- ցածր հաճախականային (բաց թողնող) զտիչ, ԼԴԳ – լարումով ղեկավարվող գեներատոր
Նկ. 3.17. Կիրառված ՓԹՀՀ-ի կառուցվածքային սխեման [58]

ԱՄԱԵ-ների համար կիրառված ԿԹԲՀ (BRAM) հիշասարքերում գրելու գործողությունը տակտավորվում է 26 ՄՀց հաճախությամբ ազդանշանով: ԱՄԱԵ-ի տակտավորումը տեղի է ունենում ԱԹՁ-ի աշխատանքի հետ սինքրոն կերպով (ընտրանքների վերջնական արդյունքների անկորուստ գրանցում): ԱՄԱԵ-ի՝ որպես տվյալների կուտակչի (բուֆեր) կիրառումը թույլ է տալիս պահպանված տվյալների հետագա մշակում՝ անկախ ԱԹՁ-ի աշխատանքային հաճախությունից:

Իրականացված սխեմայի մնացյալ հատվածի՝ թվային տրամաբանության և MicroBlaze միկրոպրոցեսորի տակտավորումը տեղի է ունենում 150 ՄՀց հաճախությամբ ազդանշանով՝ առանձին ՓԹՀՀ-ով գեներացված:

Սնուցման համակարգը: Տպասալի վրա ինտեգրված սնուցման համակարգն ապահովում է ՎԾՓՄ-ի տարբեր հանգույցների և տպասալի վրա տեղադրված այլ էլեկտրոնային կոմպոնենտների սնուցումը պահանջվող լարումներով: «Artix 7» ընտրանիքի ՎԾՓՄ-ից պահանջվող հիմնական սնուցող լարումներն են.

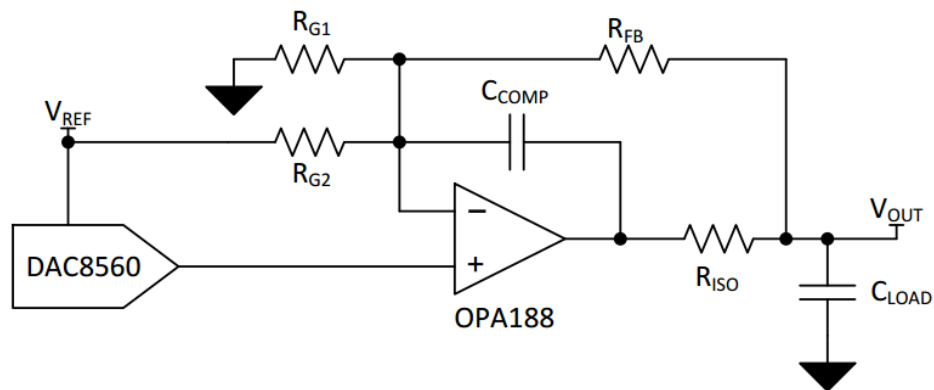
- 1.8Վ, 2.5Վ և 3.3Վ՝ վերակառուցվող մուտք/ելք հանգույցներին անհրաժեշտ լարման մակարդակների ապահովման համար: Մուտք/ելք հանգույցների տարբեր բանկեր (HR կամ HP) կարող են վերածրագրավորվել և ապահովել տվյալների փոխանակման և՛ միալար (ասիմետրիկ, օր.՝ LVCMOS, LVTTTL, HSTL, PCI, SSTL), և՛ դիֆերենցիալ (օր.՝ LVDS, Mini_LVDS, RSDS, PPDS, BLVDS և դիֆերենցիալ HSTL ու SSTL) արտաքին ինտերֆեյսների տարբեր ստանդարտներ [64]: Տվյալների փոխանցման արագությունից և հեռավորությունից կախված՝ դրանցից յուրաքանչյուրը պահանջում է լարման տարբեր մակարդակ:
- 1.0Վ՝ թվային միջուկի սնուցման համար: Այս լարման տատանումները պետք է նվազագույն լինեն, քանի որ դրա աղմուկներն անմիջապես ազդում են թվային միջուկի աշխատանքի վրա:

Սնուցման լարումների գեներացումը և միացումը ՎԾՓՄ-ին կատարվում է այն արտադրողի կողմից պահանջված հաջորդականությանը համապատասխան [64]:

Կիրառված ֆոտոդետեկտորի սնուցման համար մշակված թվային կառավարմամբ (ՎԹՓՄ-ի միջոցով) հաստատուն լարման աղբյուրն ապահովում է կիսահաղորդչային կառուցվածքին կիրառված երկբևեռ շեղման լարում՝ $-0.5V$ -ից $0.5V$ միջակայքում, $1մV$ քայլով: Այն նախագծվել է [67]-ում ներկայացված ճարտարապետությամբ և ապահովում է միաբևեռ լարման փոխակերպումը երկբևեռի՝ թվային կառավարմամբ: Միաբևեռ սնուցմամբ, բնորոշ կառուցվածքով թվաանալոգային ձևափոխիչից (այսուհետ՝ ԹԱՁ) տրված ազդանշանից ելքային երկբևեռ ազդանշանի ձևավորման սխեմայում օգտագործվում են բացասական հետադարձ կապով օպերացիոն ուժեղարար և երեք դիմադրություն՝ ձևափոխված (3.2) գումարող ուժեղարարի միացման ռեժիմում: Լարման աղբյուրի սխեմայի ընդհանուր տեսքը, ներառյալ ունակային բեռի փոխհատուցման հատվածը, բերված է նկ. 3.18.-ում: Հաստատուն բաղադրիչի փոխանցման ֆունկցիան հիմնված է հետադարձ կապի R_{FB} և ուժեղացման գործակցի կարգման R_{G1} և R_{G2} դիմադրությունների հարաբերակցության վրա և սահմանվում է որպես.

$$V_{OUT} = \left(1 + \frac{R_{FB}}{R_{G2}} + \frac{R_{FB}}{R_{G1}}\right) V_{DAC} - \frac{R_{FB}}{R_{G2}} V_{REF} :$$

Միացման լարի «գրեթե ունիվերսալ» կառավարման լուծում ապահովելու համար C_{LOAD} -ը տիպիկ արժեքների համեմատ ավելի մեծ է ընտրվել, որպեսզի այն գերակշռի ելքային ուժեղարարի ներմուծած ռեակտիվ բեռին: Մեծ ունակային բեռներ տանելու համար կարելի է կարգաբերել R_{ISO} , C_{COMP} , և C_{LOAD} արժեքները:



Նկ. 3.18. Թվային կառավարմամբ երկբևեռ լարման աղբյուրի ընդհանուր սխեման [67]

«Texas Instruments®» ընկերության OPA188 փոքրաչափ, բարձր ճշգրտությամբ, հանգստի վիճակի փոքր հոսանքով (510 մկԱ, առավելագույնը) օպերացիոն ուժեղարարն ապահովում է սնուցման լարման ամբողջական բացվածքով (ընդամենը 15 մՎ-ով պակաս) ելք, մուտքերի միջև շեղման շատ փոքր լարում (25 մկՎ, առավելագույնը), բարձր մուտքային դիմադրություն և պարամետրերի գրեթե զրոյական շեղում՝ ժամանակի ընթացքում ջերմաստիճանի փոփոխության պատճառով [68]: Այն կարող է սնուցվել կա՛մ միաբևեռ, կա՛մ բազմաբևեռ լարմամբ՝ +4 Վ-ից +36 Վ կամ ± 2 Վ-ից ± 18 Վ: Մուտքային լարման (մուտքերի ընդհանուր բաղադրիչը) միջակայքը կարող է ներառել նաև բացասական սնուցման տիրույթը: Ուժեղացման հաճախականային միջակայքի լայնությունը 2 ՄՀց է: Քանի որ սնուցման լարման մակարդակը ցածր է (± 2 Վ), անհրաժեշտության դեպքում կարող են կիրառվել աղմուկների ցածր մակարդակ և ավելի լայն հաճախականային միջակայք ապահովող այլ օպերացիոն ուժեղարարներ ևս:

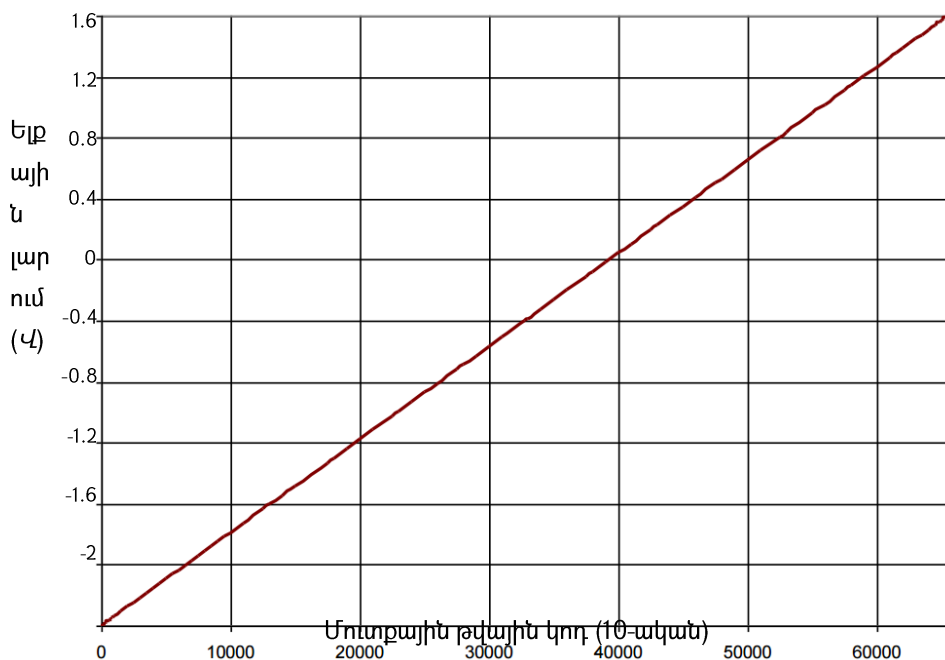
«Texas Instruments®» ընկերության DAC8560-ը 16 բիթ թույլատրելիությամբ, ցածր էներգասպառմամբ, +2.7 Վ-ից +5.5 Վ սնուցման լարման միջակայքով, 4 ամենաքիչ նշանակալի բիթ (ԱՆԲ, անգլ.՝ LSB) հարաբերական ճշտությամբ, լարման ելքով ԹԱՁ է [69]: DAC8560-ը ներառում է 2.5 Վ ներքին հենակային լարման աղբյուր, որը լռելյայն միացված է՝ ապահովելով ելքային լարման ամբողջական բացվածքի 2.5 Վ արժեքը: Կապի համար ԹԱՁ-ն օգտագործում է տվյալների փոխանակման մինչև 30 ՄՀց արագությամբ բազմաբնույթ եռալար հաջորդական ինտերֆեյս՝ Շմիդտի տրիգերներով կառուցված մուտքերով: Այն համատեղելի է ստանդարտ SPI™, QSPI™, Microwire™ և ազդանշանների թվային մշակման (ԱԹՄ) ինտերֆեյսների հետ: Տվյալները գրանցվում են 24 բիթ երկարությամբ մուտքային տեղաշարժող ռեգիստրի մեջ՝ հաջորդական ինտերֆեյսի մուտքային տակտային ազդանշանի յուրաքանչյուր անկման ճակատով:

DAC8560-ն ունի սնուցման անջատման (սպասող ռեժիմ) հնարավորություն, ինչը նվազեցնում է հոսանքի ծախսը մինչև 1.2 մկԱ (5 Վ սնուցման դեպքում): Այս հնարավորությունը կառավարելի է հաջորդական ինտերֆեյսի միջոցով: Ցածր էներգասպառումը, ներքին հենակային լարման առկայությունը և փոքր չափերը դարձնում են այս սարքը իդեալական ընտրություն դյուրակիր, մարտկոցից սնվող

գործիքի համար: 5 Վ սնուցման պայմաններում ծախսվող հզորությունը 2.6 մՎտ է, իսկ անջատված սնուցմամբ սպասող ռեժիմում՝ 6 մկՎտ [69]:

ԹԱՁ-ը ընտրելիս մեծ ուշադրություն է հատկացվել ելքային ազդանշանի հաստատուն բաղադրիչի սխալների վրա ունեցած նրա ազդեցությանը, ինչը սովորաբար նկարագրվում է շեղման, ուժեղացման և ինտեգրալ ոչ-գծային սխալներով: Ելքային օպերացիոն ուժեղարարի սխեման շատ քիչ է ազդում համակարգի ընդհանուր սխալանքի վրա, ինչի արդյունքում ելքում գերակշռողը ԹԱՁ-ի կատարողականությունն է: Եթե ԹԱՁ-ի ելքային ազդանշանի ուժեղացման գործակիցը փոքր է, ապա ԹԱՁ-ի ներդրումը ընդհանուր սխալանքի մեջ ևս կփոքրանա: Քանի որ այս նախագծի գլխավոր նպատակներից է ցածր ինքնարժեքով լուծման ապահովումը, դետեկտորի սնուցման համակարգում կիրառված ԹԱՁ-ի ընտրությունը նաև պայմանավորված է ցածր գնի հանգամանքով: Անհրաժեշտության դեպքում համակարգի ճշգրտության կատարելագործումը հնարավոր է ավելի ճշգրիտ (կատարելագործված գծայնությամբ, ուժեղացման և շեղման ավելի փոքր սխալներով), արտաքին հենակային լարում կիրառող և լրացուցիչ այլ հնարավորություններով ԹԱՁ-ի ընտրությամբ:

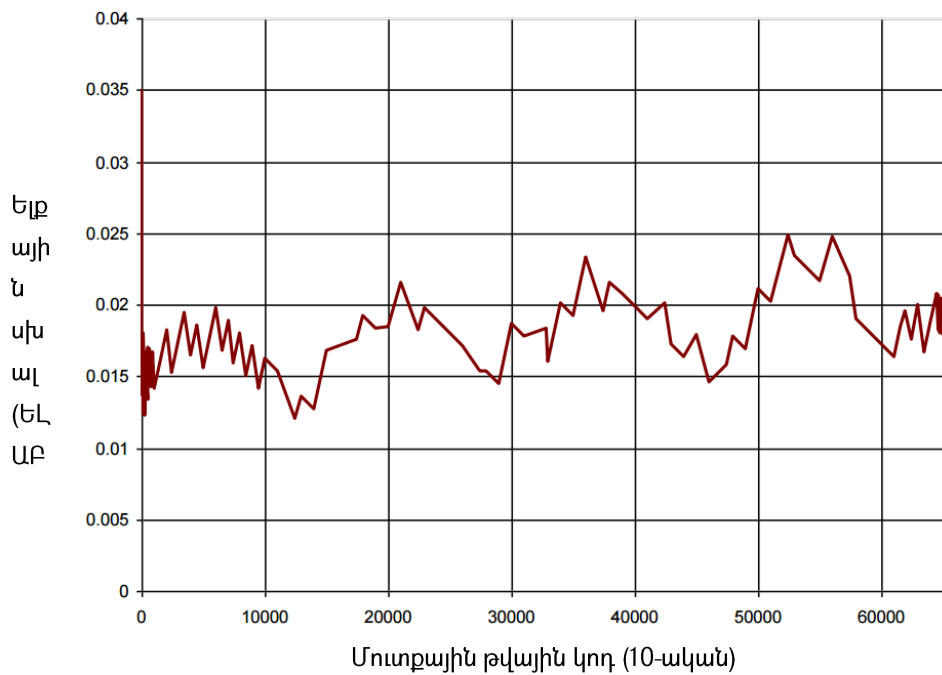
Նկ. 3.19.-ի գրաֆիկը ստացվել է ԹԱՁ-ի մուտքին 0-ից 65535 կողերի կիրառմամբ և չափելով մեկուցացված համակարգի ելքային լարումը:



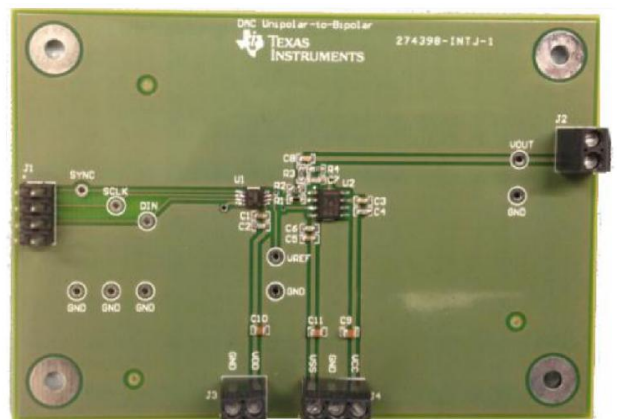
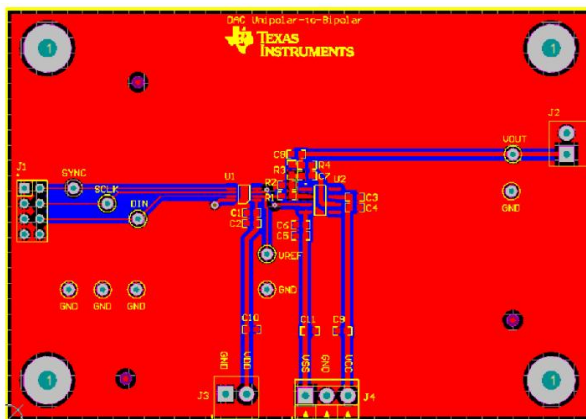
Նկ. 3.19. Ելքային լարման կախումը մուտքային կողից

Համակարգի սխալանքը ակնառու պատկերելու համար (նկ. 3.20.) իդեալական և չափված ելքային լարման միջև եղած տարբերությունն արտահայտվել է ելքային լարման ամբողջական բացվածքի տոկոսներով (ԵԼԱԲ, %): Միջին սխալը կողերի ամբողջական բացվածքի միջակայքում 0.016 %ԵԼԱԲ է:

Տպասալի նախագծման ժամանակ հատուկ ուշադրություն է դարձվել օպերացիոն ուժեղարարի ինվերսող մուտքի մոտ գումարման հանգույցի տեղադրությանը և միացումներին: Այս հանգույցը պետք է փոքր լինի և տեղադրվի ինվերսող մուտքին հնարավորինս մոտ: Ինվերսող հանգույցի մոտ գտնվող մետաղապատումը պետք է վերացվի՝ պարագիտային ունակությունը փոքրացնելու նպատակով: Տպասալի նախագիծը և վերջնական տեսքը պատկերված են նկ. 3.21.-ում:

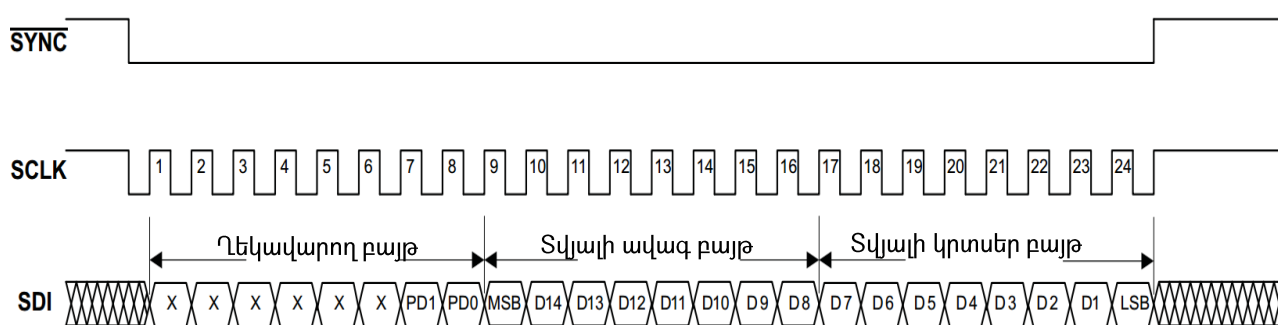


Նկ. 3.20. Ելքային լարման սխալանքի կախումը մուտքային կողից



Նկ. 3.21. Տպասալի նախագիծը և վերջնական տեսքը

Դետեկտորի սնուցման համակարգի կառավարումը կատարվում է «MicroBlaze» միկրոպրոցեսորով, որը հաղորդակցվում է ԹԱԶ-ի հետ եռալար, 24 բիթ խորությամբ հաջորդական տվյալների մուտքի՝ «SPI™» ինտերֆեյսի միջոցով: Արդյունքում, ԹԱԶ-ի մուտքային 2-ական թվային կոդով ղեկավարվում է ֆոտոդետեկտորին կիրառված շեղման լարումը [71]: Հանգստի ռեժիմում միկրոպրոցեսորը ԹԱԶ-ին ուղարկում է սնուցման անջատման հրաման՝ ապահովելով համակարգի ցածր էներգասպառումը սպասման ռեժիմում: Ծրագրային միջավայրից (3.3. ենթագլուխ) օգտագործողը կարող է սահմանել լարման բացվածքի միջակայքը և լարման փոփոխության քայլը: Մակարդակով փոխանջատվող $\overline{\text{SYNC}}$ մուտքը տեղեկացնում է հաջորդական տվյալի փաթեթի փոխանցումը ԹԱԶ-ին SPI™ ինտերֆեյսի միջոցով: $\overline{\text{SYNC}}$ -ի ցածր մակարդակի դեպքում ԹԱԶ-ը հաջորդաբար ընդունում է 24 բիթ երկարությամբ մուտքային բառի բոլոր բիթերը: Քանի որ մեկ փաթեթի փոխանցման համար SPI™-ը հատկացնում է տակտային ազդանշանի միայն ութ պարբերություն, ապա $\overline{\text{SYNC}}$ -ի ցածր մակարդակի դեպքում անհրաժեշտ է իրագործել գրելու երեք ցիկլ՝ տվյալի մեկ ամբողջական (24 բիթ) բառ ԹԱԶ-ի մեջ գրելու համար: Տվյալների փոխանցման ժամանակային դիագրամը պատկերված է նկ. 3.22.-ում:



Նկ. 3.22. ԹԱԶ-ի հաջորդական ինտերֆեյսի ժամանակային դիագրամը [71]

Ամենանշանակալի բիթից (MSB) սկսած՝ առաջին վեց բիթերը (DB23-ից DB18) անկարևոր են և անտեսվում են: Հաջորդ երկու բիթերը (PD1 և PD0) ղեկավարման բիթերն են, որոնք սահմանում են ԹԱԶ-ի աշխատանքային ռեժիմը (նորմալ կամ ցածր

էներգասպառմամբ երեք ռեժիմներից որևէ մեկը): Հասանելի տարբեր ռեժիմները բերված են աղ. 3.6.-ում:

Աղյուսակ 3.6. ԹԱԶ-ի աշխատանքային ռեժիմները [71]

| PD1(DB17) | PD2(DB16) | Աշխատանքային ռեժիմ |
|-----------|-----------|---|
| 0 | 0 | Նորմալ |
| -- | -- | Ցածր էներգասպառմամբ |
| 0 | 1 | Ելքը հողանցված է 1 կՕՄ դիմադրությամբ |
| 1 | 0 | Ելքը հողանցված է 100 կՕՄ դիմադրությամբ |
| 1 | 1 | Ելքը բարձր դիմադրության (High-Z) վիճակում է |

Վերջին տասնվեց բիթերը (D15-ից D0) կազմում են ԹԱԶ-ի մուտքային տվյալի բառը, որը սկսվում է ամենանշանակալի բիթով՝ D16-ով: Գրելու կանոնավոր հաջորդականության ընթացքում $\overline{\text{SYNC}}$ -ի ցածր մակարդակը պետք է պահպանվի SCLK-ի առնվազն 24 անկման ճակատների համար: SCLK-ի անկման ճակատները տակտավորում են տվյալների մուտքը՝ ամենանշանակալի բիթից սկսած, մինչև որ բոլոր 24 բիթերը փոխանցվում և գրանցվում են տեղաշարժող ռեգիստրի մեջ: SCLK-ի 24-րդ անկման ճակատից հետո տվյալային կամ տակտային ազդանշանի ցանկացած փոխանջատում անտեսվում է, և $\overline{\text{SYNC}}$ -ի անցումը ցածրից դեպի բարձր մակարդակի ավարտում է տվյալների փոխանցումը: ԹԱԶ-ի ռեգիստրը թարմացվում է SCLK-ի 24-րդ անկման ճակատի պահին (աշխատանքային ռեժիմում ռեգիստրի թարմացում կամ փոփոխություն տեղի չի ունենում): Սակայն եթե $\overline{\text{SYNC}}$ -ը անցնում է բարձր մակարդակի SCLK-ի 24-րդ անկման ճակատից առաջ, ապա տեղաշարժող ռեգիստրը զրոյացվում է, և տվյալների փոխանցումն ընդհատվում է [71]:

3.2.4. ՎԹՓՄ նախագծի մասնակի դինամիկ վերակառուցման հնարավորությունը

ՎԹՓՄ տեխնոլոգիան թույլ է տալիս փոփոխել դրա մեջ իրագործված նախագիծն առանց որևէ արտադրական ցիկլ անցնելու: Մասնակի վերակառուցմամբ (ՄՎ) այս գաղափարը ևս մի քայլ առաջ է տարվում՝ թույլ տալով նախագծի

փոփոխություն ՎԹՓՄ աշխատանքի ընթացքում [81-82]: Դրա համար բավարար է ՎԹՓՄ-ի մեջ բեռնել մասնակի կոնֆիգուրացման ֆայլը, ինչի արդյունքում կփոփոխվի միայն վերակառուցվող մասը, իսկ մնացած հատվածները կշարունակեն կատարել իրենց նախնական գործառույթը:

Այս ՎԹՓՄ նախագիծը բաժանված է 2 մասի՝ օպտիկական ինֆորմացիոն ազդանշանի մշակման դինամիկ վերակառուցվող հանգույցը և մնացյալ ստատիկ հատվածները (օր.՝ «MicroBlaze»-ը): Դինամիկ վերակառուցվող հատվածի շնորհիվ հնարավոր է հեշտությամբ կարգաբերել կամ ամբողջությամբ փոփոխել ազդանշանի մշակման ալգորիթմը և ԱԹՁ-ի կառավարման հանգույցը, ինչն անսահմանափակ ճկունություն է ապահովում ֆոտոսպեկտրաչափական սարքի համար և թույլ է տալիս հեշտությամբ փոփոխել կիրառության պայմանները կամ ոլորտը:

Մեկ ՎԹՓՄ բյուրեղի շրջանակում սարքերի դինամիկ ժամանակային մոլտիպլեքս իրականացնելու հնարավորության առավելությունները բազմաթիվ են: Դրանցից մեկը տրված ֆունկցիան իրագործելու համար անհրաժեշտ ՎԹՓՄ սարքի չափի կրճատումն է՝ դրան հետևող գնի և հզորության ծախսի կրճատմամբ: Չափի, քաշի, ծախսվող հզորության և գնի նվազման հետ մեկտեղ ՄՎ-ն հնարավոր է դարձնում ՏՎԹՓՄ վրա հիմնված նոր տիպի նախագծեր, որոնց իրագործումը անհնար կլիներ առանց ՄՎ-ի:

3.3. Մշակված սարքի մոդելավորումը, սինթեզը և փորձնական թեստավորման արդյունքները

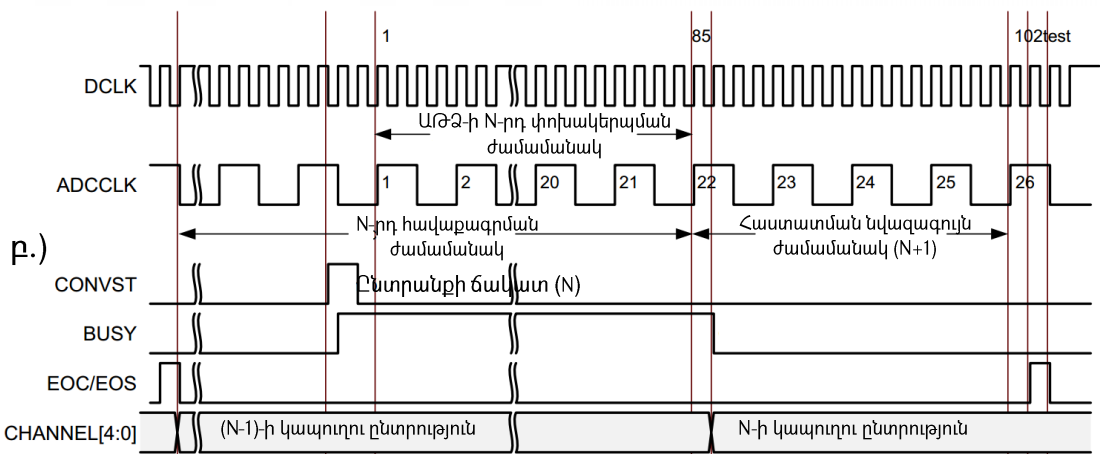
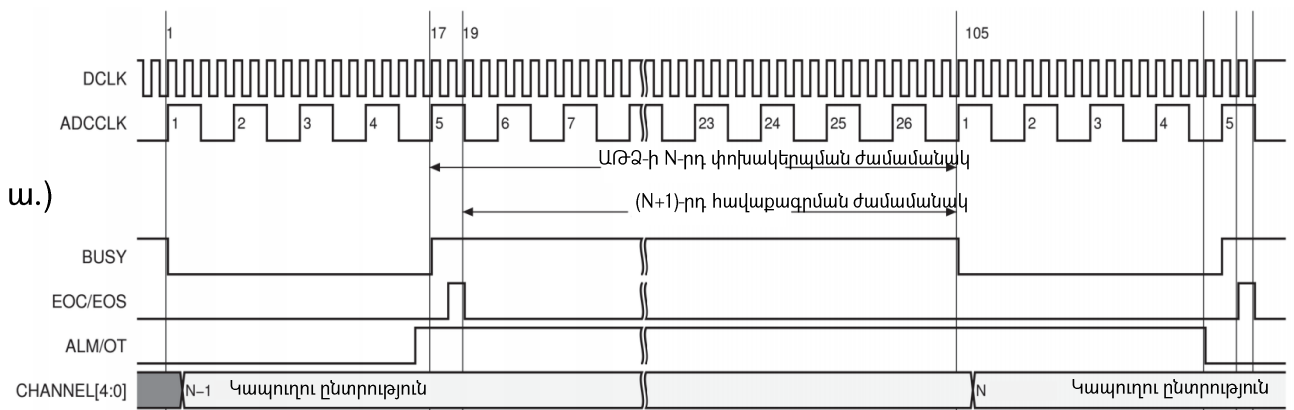
Փորձարկման նպատակն էր ցույց տալ գործիքի աշխատունակությունը միջավայրային տարբեր պայմաններում (սենյակային, դաշտային) և ստուգել գործիքի սպեկտրային թույլատրելիության և ազդանշան-աղմուկ հարաբերակցություն բավարար չափով մեծ լինելն ալիքի երկարությունների բավականաչափ լայն միջակայքում: Այդ պահանջների բավարարումը նշանակում է խառը սպեկտրով լույսի ինտեգրալ հոսքի ճառագայթից առանձին ալիքի երկարությունների առանձնացում և դրանց ինտենսիվությունների ճշգրիտ կերպով որոշում: Զգայնությունը ստուգելու համար

օպտիկական ֆիլտրերի միջոցով փոփոխվել է ընկնող լուսային հոսքի ինտենսիվությունը:

Կիրառված դետեկտորը: Չափման սկզբունքը:

Կիրառվել է մշակված նոր տիպի կիսահաղորդչային ֆոտոդետեկտորը, որը նկարագրված է 2.3. ենթագլխում: Սարքի ստեղծման գործում նոր տիպի դետեկտորի կիրառությունից ստացավոլ լրացուցիչ առավելություններից են նաև մագնիսական դաշտի նկատմամբ բացարձակ անզգայնությունը, փոքր չափը, շեղման լարման ցածր արժեքները և անխափան աշխատանքը սենյակային ջերմաստիճաններում:

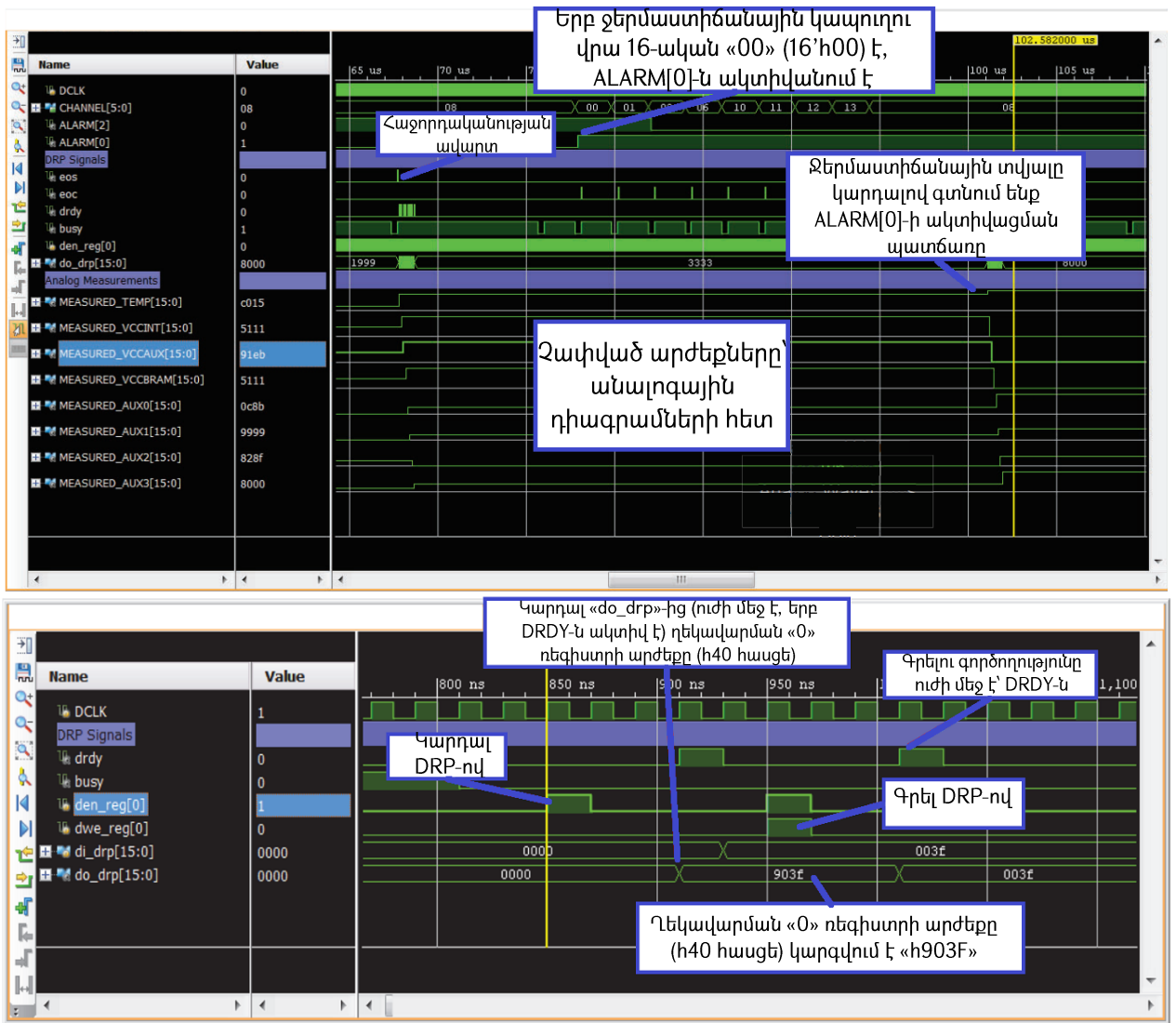
Տրամաբանական մոդելավորումը կատարվել է Xilinx® iSim (ISE Simulator) և Vivado Simulator միջավայրերում: Նկ. 3.23. և 3.24.-ում բերված են ԱԹՁ-ի ընտրանքի ռեժիմի ընտրության, ԱԹՁ-ից եկած տվյալների գրանցման և ներքին DRP ինտերֆեյսի միջոցով կոնֆիգուրացիոն տվյալների դինամիկ փոխանցմամբ ԱԹՁ-ի կարգաբերման գործընթացների մոդելավորման արդյունքները: Դրանցից պարզ դարձավ, որ մեկ վերջնական սպեկտրային բնութագրի ստացման (սպեկտրի սքանավորման) տևողությունը (առանց չափումների միջինացման) կազմում է մոտ 5...10 մվ [81]:



Նկ. 3.23. Ազդանշանի ընտրանքի անընդհատ (ա.) և իրադարձությամբ կառավարվող (բ.) ռեժիմների ընտրության մոդելավորումը iSim միջավայրում [81]

Առանձին չափումների կամ ստացված վերջնական սպեկտրային բնութագրերի (սպեկտրի ամբողջական սքանավորում) միջինացման դեպքում լավանում է ազդանշան-աղմուկ հարաբերակցությունը (բանաձև 3.1), բայց մեծանում է չափման ընդհանուր տևողությունը: Միջինացման պարամետրերի կարգաբերումը հասանելի է մշակված UV-Visible Spectrum ծրագրային միջոցից (նկարագրությունը բերված է ստորև):

Օպտիկական ազդանշանի մշակման համար առաջարկված համակարգի հանգույցների թվային սխեմաները նկարագրվել են սարքերի նկարագրման Verilog և SystemVerilog (մասամբ) լեզուներով և սինթեզվել են Xilinx® Vivado Design Suite միջավայրում [83-86]: Աղ. 3.7.-ում բերված են Xilinx® Artix-7 ՎԹՓՄ-ի (XC7A100T մոդել) համար կատարված սինթեզի արդյունքները: Տրամաբանական սինթեզի արդյունքների հետագա իրագործմամբ ՎԹՓՄ-ում (ֆունկցիաների տեղաբաշխում ԻԱ-ներում, դրանց միջմիացումների ծրագծում և այլն) ստացվել է ճկուն սարքային հենք (պլատֆորմ) ֆոտոսպեկտրաչափական սարքի նախատիպի պատրաստման համար [81]:

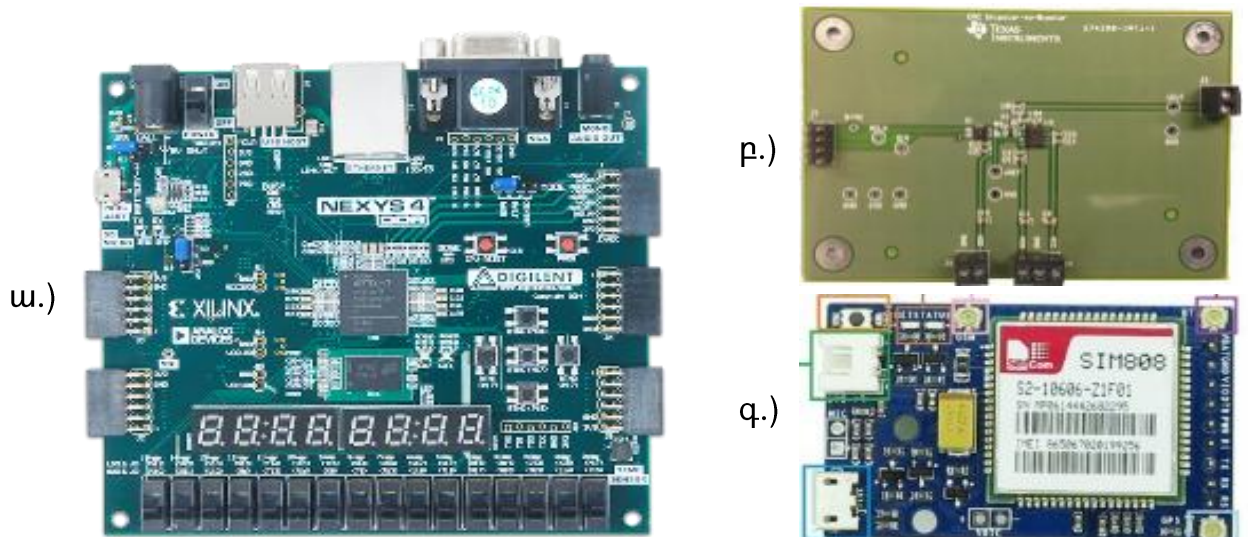


Նկ. 3.24. ԱԹՁ-ի DRP ինտերֆեյսով գործողությունների իրականացման մոդելավորումը iSim միջավայրում [81]

Աղյուսակ 3.7. Օպտիկական ինֆորմացիոն ազդանշանի թվային մշակման հանգույցի սինթեզման արդյունքը (Vivado Design Suite® միջավայրում) [81-82]

| ՎԹՓՄ ռեսուրսներ | Քանակը | % |
|----------------------------------|---------|----|
| Զբաղեցված հատվածներ | 9639 | 47 |
| Slices LUTs | 21.745 | 26 |
| Slices FFs | 28.399 | 34 |
| BRAM (36kb) | 106 | 36 |
| DSP48E | 136 | 43 |
| Առավելագույն հաճախություն | 201 ՄՀց | |
| Ծախսվող հզորություն | 5,17 Վտ | |

Այդ սարքային հենքով պատրաստվել և փորձարկվել է փոքրաչափի (էկրանի չափերով որոշվող), դյուրակիր (0.3 կգ՝ առանց սնուցման մարտկոցի), էժան (ինքնարժեքը մոտ 70.000 դրամ) և արագագործ (մեկ չափման տևողությունը մոտ 5...10 մվ) ֆոտոսպեկտրաչափի նախատիպ: Նախատիպի թույլատրելիությունը սպեկտրի տեսանելի տիրույթում տարբեր չափումների դեպքում կազմել է 1...3 նմ, իսկ ալիքի երկարությունների գրանցվող միջակայքը՝ 350...1100 նմ, ինչը թույլ է տալիս հայտնաբերել նյութեր, որոնք կլանում կամ ճառագայթում են սպեկտրի այդ միջակայքում [41, 43, 81]: Նկ. 3.25.-ում պատկերված է ֆոտոսպեկտրաչափի նախատիպում կիրառված օպտիկական ինֆորմացիոն ազդանշանի մշակման (ա.), ֆոտոդետեկտորին կիրառված երկբևեռ շեղման լարման աղբյուրի (բ.) և GSM/GPRS+GPS կապի հանգույցների տպասալերի ընդհանուր տեսքը:



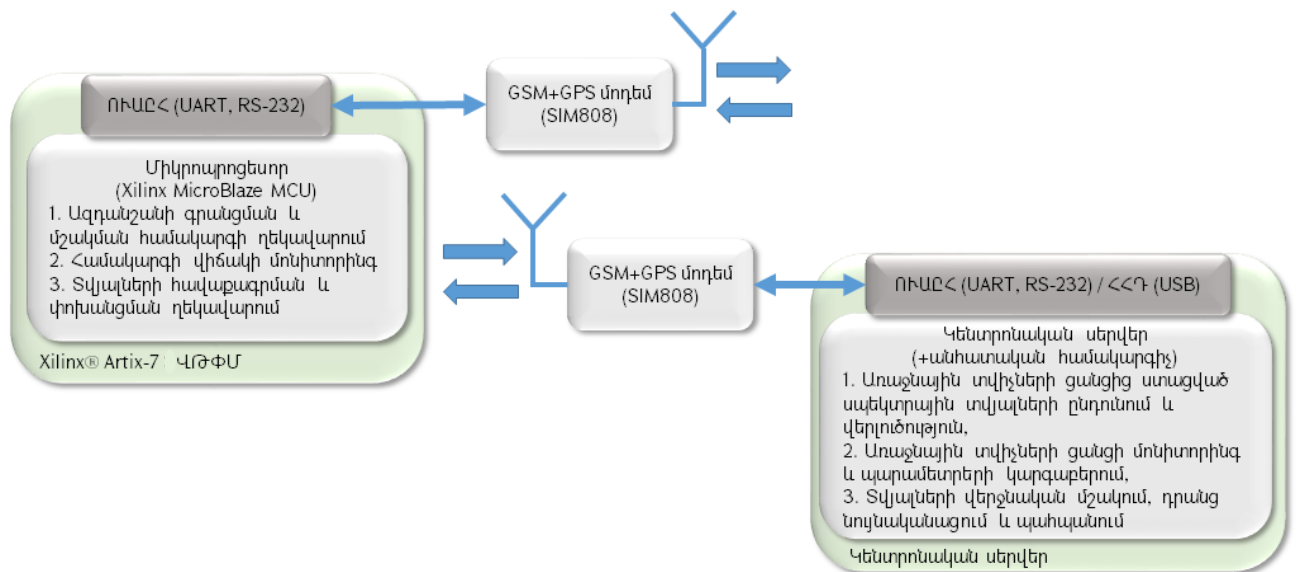
Նկ. 3.25. Ֆոտոսպեկտրաչափի նախատիպի հիմնական հանգույցների տպասալերի ընդհանուր տեսքը

Առաջարկվել է օբյեկտների հեռամոնիտորինգի համակարգի մոդել (Նկ. 3.26.), որը բաղկացած է նախնական տվյալների հավաքագրման (ստացիոնար և շարժական տվիչներ), տեղեկատվության փոխանցման (GSM/GPRS+GPS բջջային կապի և տեղորոշման գլոբալ կապուլիների վրա հիմնված ուղիղ և հակադարձ կապ), մշակման, պահպանման ու արտաբերման հանգույցներից: Լայն տարածական ծակույթ ունեցող բարձրորակ և հուսալի GSM կապուլու միջոցով տեղեկատվություն է ստացվում ոչ միայն չափվող պարամետրերի, այլ նաև մոնիտորինգի շարժական կայաններում ներդրված GPS մոդեմների տրամադրած կորդինատների մասին: Առաջարկվող

մոդելի շրջանակներում SIMCom® SIM808 GSM/GPRS մոդեմի միջոցով ֆոտոսպեկտրաչափով ստացված նախնական տեղեկատվությունը GSM ցանցով փոխանցվում է կենտրոնական սերվերին (տվյալների ընդհանուր բազա տարբեր մակարդակի օգտատերերի համար), որտեղ իրականացվում է ստացված սպեկտրային տվյալների հետագա վերլուծությունը (նկ. 3.27) [72]:

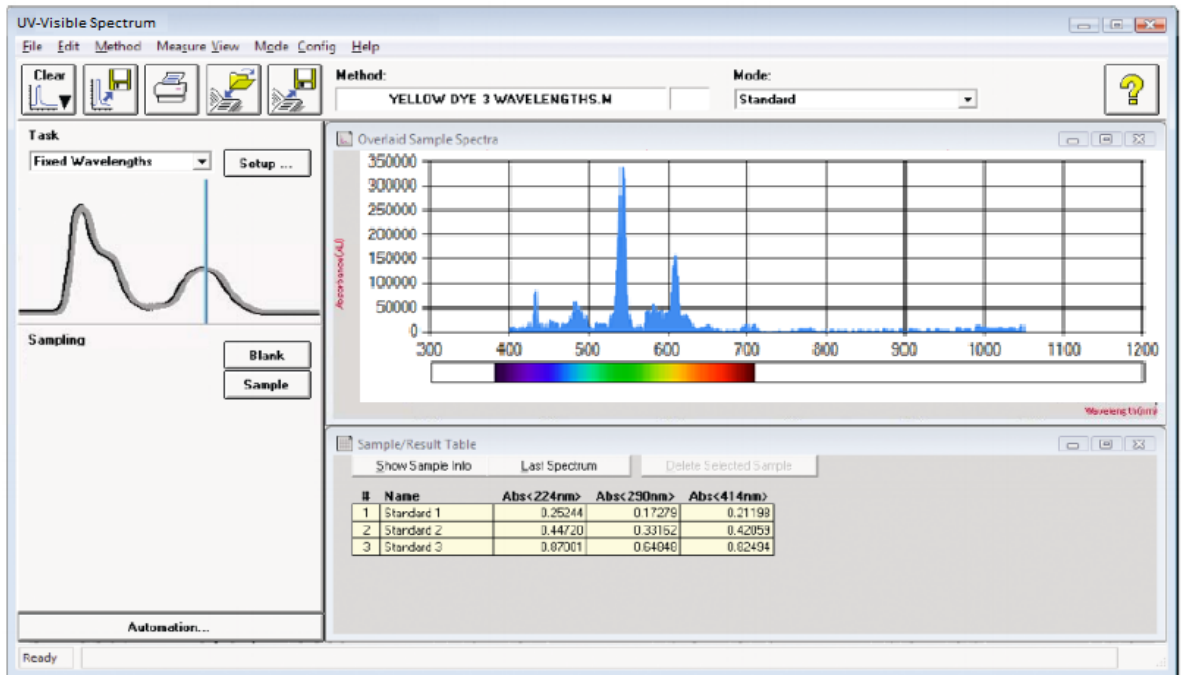


Նկ. 3.26 Առաջնային տվիչների և կենտրոնական սերվերի միջև կապն ապահովող ցանցի ճարտարապետությունը

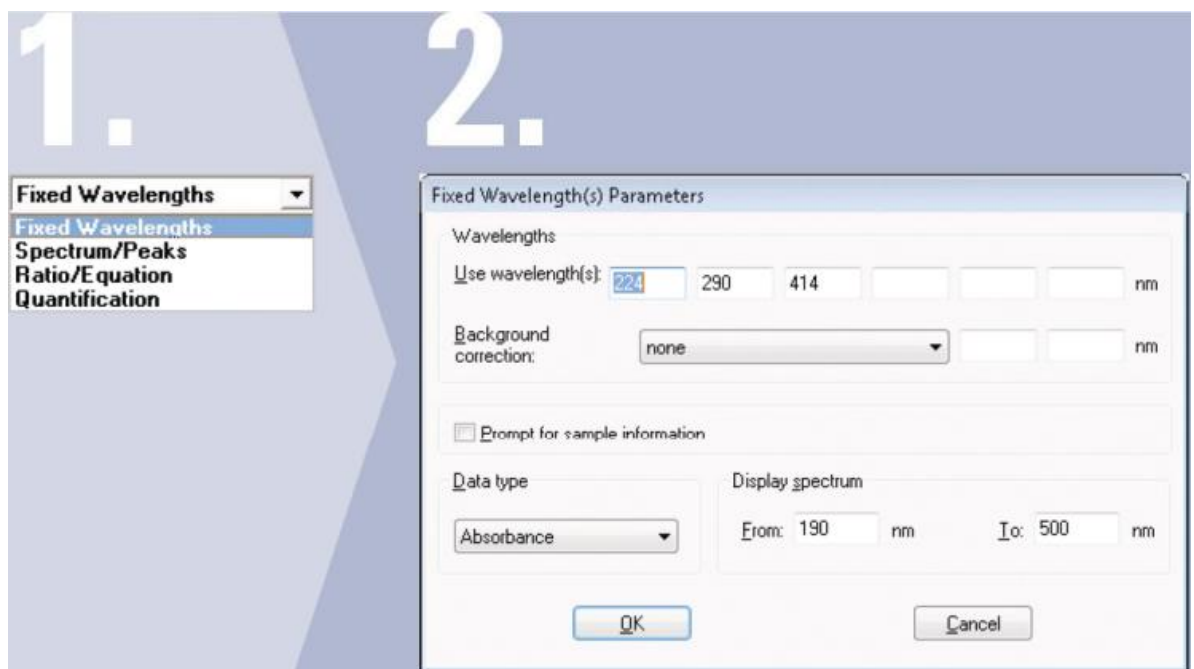


Ֆոտոսպեկտրաչափի միջոցով ստացված սպեկտրային տվյալների և վերջնական սպեկտրի պատկերման, ինչպես նաև JTAG (USB-JTAG կամուրջ՝ FTDI® FT232 ԻՍ) ինտերֆեյսի միջոցով գործիքի հետ հետադարձ կապի ապահովման համար մշակվել է UV-Visible Spectrum ծրագրային միջոցը: Այն թույլ է տալիս կատարել չափումների վերահսկողություն ու գործիքի պարամետրերի կարգաբերում:

Ծրագրային միջոցն իրագործվել է Microsoft® Visual Studio 2015 միջավայրում՝ C# 6.0 (.Net 4.6 ֆրեյմվորքի հետ միասին) և Python 3.5 ծրագրավորման ու սկրիպտավորման լեզուների կիրառմամբ [87-88]: Այն նախատեսված է Microsoft® Windows 7 և ավելի նոր օպերացիոն համակարգերի համար: UV-Visible Spectrum ծրագրի ընդհանուր ինտերֆեյսը ներկայացված է նկ. 3.28. և 3.29.-ում:



Նկ. 3.28. UV-Visible Spectrum ծրագրային միջոցի ընդհանուր ինտերֆեյսը



Նկ. 3.29. Չափման պարամետրերի կարգաբերումը UV-Visible Spectrum միջավայրից

3.4. Շուկայում առկա ֆոտոսպեկտրաչափների համադրելի մոդելները: Հիմնական պարամետրերի համեմատությունը

Սպեկտրաչափության առաջարկված և ֆոտոսպեկտրաչափական սարքի նախատիպում կիրառված մեթոդը չափվող նյութերի նկատմամբ դետարուկտիվ չէ և թույլ է տալիս կատարել նմուշի ոչ-կոնտակտային հեռավերլուծություն՝ բացահայտելով որոշակի նյութերի առկայության կամ բացակայության փաստը (որակական բնութագիր): Չափված սպեկտրային բնութագրերի վերլուծությամբ հնարավոր է նաև որոշել նյութի կամ խառնուրդի կոնցենտրացիան՝ տալով նրա քանակական բնութագիրը, ինչի շնորհիվ հնարավոր է դառնում տարբեր վտանգավոր նյութերի, պայթուցիկ միացությունների, մթնոլորտային աղտոտիչների որոշ տեսակների, օրգանական տարբեր միացությունների (պլաստիկներ, նավթամթերք և այլն) հայտնաբերումն ու վերլուծությունը (որոշ մանրամասներ և օրինակներ բերված են «Հավելված 2»-ում):

Աղ. 3.8.-ում բերված է մշակված և շուկայում առկա ֆոտոսպեկտրաչափների հիմնական բնութագրերի համեմատությունը, ինչից պարզ է դառնում մշակված լուծման անգերազանցելիությունը գնի (նախատիպի ինքնարժեքի), չափերի և քաշի տեսանկյունից: Շուկայում հայտնի ոչ մի այլ գործիք չի կիրառում մշակված նոր տիպի ֆոտոդետեկտորին կառուցվածքով մոտ որևէ այլ լուծում: Դրա հիմքով առաջարկվող ֆոտոսպեկտրաչափության նոր սկզբունքը թույլ է տալիս մշակված գործիքը մրցունակ դարձնել գնի, չափերի և քաշի առումով՝ նպաստելով դրա մատչելիությանը և հետագա լայն տարածմանը: Այն հեռանկարային լուծում է օբյեկտների (օր.՝ ջրային ավազանների) հեռաֆոտոսպեկտրաչափական մոնիտորինգի ոլորտում կիրառության համար:

Շուկայում առկա ֆոտոսպեկտրաչափական սարքերի բոլոր այն օրինակներում, որոնք կիրառում են բացառապես սիլիցիումային ֆոտոդետեկտորներ, ալիքների գրանցման միջակայքը վերևից սահմանափակված է մոտավորապես 1100 նմ-ով, սակայն ստորին սահմանը որոշ գործիքներում հասնում է մինչև 200 նմ-ի [73-79]: Մշակված ֆոտոսպեկտրաչափի նախատիպի և կիրառված երկարգեղջ ֆոտոդետեկտորային կառուցվածքի հետագա լավարկումներն ու մշակումները միտված են լինելու գրանցման միջակայքը դեպի այդ՝ մոտակա ՈւՄ տիրույթ ընդլայնելուն, քանի

որ բազմաթիվ նյութեր և միացություններ ընկնող ճառագայթից հենց այդ միջակայքի
ալիքներն են կլանում:

Աղյուսակ 3.8. Մշակված և հայտնի ֆոտոսպեկտրաչափների (ներառյալ մոտակա ՈւՄ և մոտակա ԻԿ միջակայքերը) հիմնական բնութագրերի համեմատությունը [41,43, 73-82]

| Բնութագիր | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|---|--|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|--|
| Անվանում | Մշակված սարքի նախատիպ | UNICO® S1205 [75] | Thermo Scientific™ Orion™ AQ7000 [76] | THORLABS® CCS100/ CCS175/ CCS200 [77] | Ocean Optics® USB2000+V IS-NIR-ES [78] | Ocean Optics® USB2000+C G [78] | Thermo Scientific™ Orion™ AQ8000 [79] | Qualitest® UV-2601 [80] | Perkin Elmer® LAMBDA 1050 [81] |
| Ալիքի երկար. միջակայք, նմ | 350...1100 | 325...1000 | 325...1100 | 350...700/ 500...1000/ 200...1000 | 350...1000 | 190...1100 | 190...1100 | 190...1100 | 175...3300 |
| Տիպ | միաճառագայթ | միաճառագայթ | միաճառագայթ | միաճառագայթ | միաճառագայթ | միաճառագայթ | երկճառագայթ | երկճառագայթ | երկճառագայթ |
| Դետեկտոր | նոր տիպի կիսահաղորդչային (Si) | կիսահաղորդչային (Si) ֆոտոդիոդ | կիսահաղորդչային (Si) ֆոտոդիոդ | ԼԿՍ մատրից (3648 պիքսել) | ԼԿՍ մատր. (Sony ILX511B, 2048 պիքսել) | ԼԿՍ մատր. (Sony ILX511B, 2048 պիքսել) | կիսահաղորդչային (Si) երկու ֆոտոդիոդ | կիսահաղորդչային (Si) երկու ֆոտոդիոդ | ֆոտոուժեղարար+ +Si+InGaAs (կամ PbS) ֆոտոդիոդ |
| Ճշտություն, նմ | ±5...10 | ±2 | ±1 | <0.5/<0.6/<2 | - | - | ±1 | ±0.3 | ±0.08...0.3 |
| Սպեկտրային թույլատրելիություն, նմ | 1..3 | - | 1; 2; 3 կամ 5 | 0.1/0.17/0.25 | 0.1...10 | 0.035... 6.8 | 0.2; 0.5; 1; 2; 3 կամ 5 | - | 0.05...0.2 |
| Սպեկտրային շերտի լայնություն, նմ | - | 5 | 5 | - | - | - | 1.8 | 2±0.4 (նաև. 5, 4, և 1) | 0.05...5 (ՈւՄ/Տես.) և 0.2...20 (ՄԻԿ) |
| Չափեր, մմ | էկրանի չափեր | 408×308×180 | 300×250 | 122×79×29.5 | 89.1×63.3×34.4 | 148.6×104.8×45.1 | 300×250 | 630×470×210 | 1020×740×300 |
| Քաշ, կգ | 0.3 | 6.5 | 8.6 | ~0.4 | 0.19 | 0.57 | 8.6 | 26 | 77 |
| Գին, ԱՄՆ դոլար | ~150 (ինքնարժեք) | ~1.500 | ~4.000 | ~2000/~2000 /~2800 | ~6.000 | ~5.700 | ~6.500 | ~7.400 | ~15.000 |

3.5. Նախագծի ամփոփում

Էկեկտրոնային նախագծի մեջ ՎԹՓՄ-ի կիրառումը թույլ է տալիս կրճատել կառուցվածքային հանգույցների քանակը և դրանցից գրեթե բոլորը տեղակայել մեկ տպասալի վրա: Դետեկտորին աստիճանավորված ցածր (-0.5Վ-ից 0.5Վ, 1մՎ քայլով) լարման կիրառումը նույնպես կառավարվում է ՎԹՓՄ-ի միջոցներով: ՎԹՓՄ-ում իրագործված թվային սխեման իրականացնում է.

- դետեկտորին աստիճանավորված ցածր շեղման լարման կիրառումը,
- բարձր թույլատրելիությամբ (12 բիթ, 1 Մընտր/վրկ) անալոգաթվային փոխակերպումը,
- միացված տվիչներից տվյալների հավաքագրումը,
- մուտքային տվյալների գրանցումը և պահպանումը (ինֆորմացիայի բուֆեր),
- տվյալների ամբողջական մշակումը թվային մեթոդներով և մշակված ալգորիթմներով,
- տվյալների գրանցման, պահպանման, մշակման և փոխանցման գործընթացների կառավարումը և վերահսկողությունը,
- միացված արտաքին սարքերի հետ ինտերֆեյսի ապահովումը:

Նախագծված սարքի փորձարկումների արդյունքներից հետևում է.

- Ստացվող ելքային սպեկտրի գնահատված թույլատրելիությունը 1...3 նմ է և կախված է չափվող ալիքը սպեկտրային միջակայքից ու ինտենսիվությունից: Սպեկտրաչափի ալիքի երկարությունների գրանցման արդյունավետ միջակայքը 350 նմ-ից 1100 նմ է: Դա թույլ է տալիս հայտնաբերել և քանակապես բնութագրել բազմաթիվ նյութեր, որոնք ճառագայթում կամ կլանում են ալիքի երկարության այդ (հիմնականում սպեկտրի տեսանելի հատվածի) միջակայքում:
- Մշակված և ՎԹՓՄ-ի վրա իրագործված ալգորիթմի կիրառմամբ գործիքն ունակ է տարբեր պայմաններում ընկնող խառը սպեկտրով լույսի ինտեգրալ հոսքի մեջ տարբերակելու առանձին ալիքների երկարություններն ու բավարար ճշտությամբ չափելու դրանց ինտենսիվությունները. ստացված

վերջնական սպեկտրային բնութագրերի գնահատված առավելագույն շեղումը կազմում է 5...10 նմ:

- Գործիքը բալանսավորված, ճշգրտության, արագագործության, քաշի, չափերի և գնի միջև փոխզիջումային լուծում է, որը կարող է իդեալական լինել կիրառության տարբեր ոլորտներում՝ փոխարինելով առկա թանկ, մեծ չափերով և բարդ օպտիկական ու մեխանիկական համակարգերով գործիքներին:

Պյուրակիր սպեկտրաչափի նախատիպի հետագա կատարելագործումը.

- Ֆուրյեի արագ ձևափոխության (անգլ.՝ FFT) հանգույցի իրագործում ՎԹՓՄ-ի մեջ՝ թվայնացված ազդանշանի թվային ֆիլտրման իրականացման նպատակով,
- դետեկտորի թույլ լուսավորվածության պայմաններում օպտիկական ազդանշանը ուժեղացնող նախաուժեղարարի մշակում և ինտեգրում տպասալի վրա,
- լույսի աղբյուրի սնուցման համակարգի միացում/անջատում և հզորության կառավարում,
- գրաֆիկական ինֆորմացիայի մշակում և արտաբերում սարքի պատյանի մեջ ինտեգրված փոքրաչափ էկրանի վրա՝ վերացնելով արտաքին համակարգչի անհրաժեշտությունը ստացված վերջնական սպեկտրային տվյալների պահպանման և գրաֆիկական պատկերման համար:

Եզրակացություն

Այս գլխում մշակված լուծումների և կատարված հետազոտությունների արդյունքուն ստացվել են հետևյալ հիմնական արդյունքները.

1. Ստեղծվել են մշակված երկարգելք ֆոտոդետեկտորների վրա հիմնված դյուրակիր ֆոտոսպեկտրաչափի հանգույցները՝ ելքային օպտիկական ազդանշանի գրանցման, մշակման, նույնականացման, պահպանման և արտապատկերման համար: Իրականացվել է օպտիկական ազդանշանի

թվային մշակման սարքային հանգույցների նկարագրությունը, սինթեզը և իրագործումը ՎԹՓՄ հիման վրա:

2. Սպեկտրային տվյալների արտապատկերման և վերջնական սպեկտրի ստացման համար մշակվել է UV-Visible Spectrum ծրագրային գործիքը:
3. Առաջարկվել է օբյեկտների հեռամոնիտորինգի համակարգի մոդելը, որը բաղկացած է նախնական տվյալների հավաքագրման (ներառյալ գլոբալ տեղորոշման GPS կապուղով ստացված տվյալներ), տեղեկատվության փոխանցման, մշակման, պահպանման ու արտաբերման հանգույցներից:
4. Առաջարկվող մոդելի շրջանակներում GSM/GPRS+GPS մոդեմի միջոցով (GSM/GPRS+GPS բջջային կապի և տեղորոշման գլոբալ կապուղիների վրա հիմնված ուղիղ և հակադարձ կապ) ֆոտոսպեկտրաչափով ստացված նախնական տեղեկատվությունը GSM ցանցով փոխանցվում է կենտրոնական սերվերին, որտեղ իրականացվում է ստացված սպեկտրային տվյալների հետազա վերլուծությունը և նույնականացումը:
5. Պատրաստվել և փորձարկվել է փոքրաչափ (որոշվում է էկրանի չափերով), դյուրակիր (0.3 կգ՝ առանց սնուցման մարտկոցի), էժան (ինքնարժեքը՝ մոտ 70.000 դրամ՝ հիմանականում պայմանավորված կիրառված ՎԹՓՄ տպասալի գնով) և արագագործ (մեկ չափման տևողությունը՝ մոտ 5...10 մկ) ֆոտոսպեկտրաչափի նախատիպը: Նախատիպի գնահատված թույլատրելիությունը սպեկտրի տեսանելի տիրույթում տարբեր չափումների դեպքում կազմել է 1...3 նմ, ճշտությունը (ստացված վերջնական սպեկտրային բնութագրերի գնահատված առավելագույն շեղումը)՝ 5...10 նմ իսկ ալիքի երկարությունների գրանցվող միջակայքը՝ 350...1100 նմ:
6. Սարքի նախատիպում կիրառված ֆոտոսպեկտրաչափական հեռահայտնաբերման մեթոդները թույլատրում են վտանգավոր նյութերի հայտնաբերումը՝ առանց նմուշի հետ անմիջական հպման: Այդ կերպ հնարավոր է դառնում խուսափել օպերատորների և/կամ սարքավորման վարակման կամ վնասման հավանականությունից, և վերանում է հետազա ախտահանման անհրաժեշտությունը:

ԵԶՐԱՀԱՆԳՈՒՄ

1. Մշակվել է երկարգելք կիսահաղորդչային ֆոտոդետեկտորային $n^+(Ag\text{-ի սիլիցիդ}) - p(Si) - n^+(Si)$ կառուցվածք, որի բազային տիրույթում տեղի է ունենում խառը սպեկտրով էլեկտրամագնիսական ճառագայթի կլանման գործընթաց, ինչը թույլ է տալիս տարբերակել առանձին ալիքներ, վերլուծել դրանց ինտենսիվությունները և քանակապես գնահատել օպտիկապես թափանցիկ օբյեկտների բաղադրամասերը: Կառուցվածքի ստացումը համատեղելի է ԿՄՕԿ ԻՍ-երի արտադրության տեխնոլոգիական ցիկլին:
2. Ստացվել են արտաքին շեղման լարման ազդեցության պայմաններում ֆոտոդետեկտորի ֆոտոհոսանքի սպեկտրային բաշխվածությունը նկարագրող արտահայտություններ:
3. Առաջարկվել է մշակված ֆոտոդետեկտորային կառուցվածքի համար օպտիկական ինֆորմացիոն ազդանշանի մշակման ալգորիթմ՝ ճառագայթի ինտենսիվության վերջնական սպեկտրային կախվածությունը քայլ առ քայլ ստանալու նպատակով:
4. Պատրաստվել են առաջարկված $n^+(Ag\text{-ի սիլիցիդ}) - p(Si) - n^+(Si)$ կառուցվածքով ֆոտոդետեկտորների նմուշներ, հետազոտվել են դրանց սպեկտրային բնութագրերը, և բացահայտվել են հիմնական ֆոտոսպեկտրաչափական հնարավորությունները:
5. Ստեղծվել են երկարգելք ֆոտոդետեկտորների վրա հիմնված դյուրակիր ֆոտոսպեկտրաչափի հանգույցներ՝ ելքային օպտիկական ազդանշանի մշակման, նույնականացման, պահպանման և արտապատկերման համար: Օպտիկական ազդանշանի թվային մշակման սարքային հանգույցը նկարագրվել է Verilog և SystemVerilog լեզուներով, սինթեզվել է Vivado Design Suite® միջավայրում և իրագործվել է վերածրագրավորվող թվային փականների մատրիցի (ՎԹՓՄ, ռուս.՝ ПЛИС, անգլ.՝ FPGA) հիման վրա:
6. Սպեկտրային տվյալների արտապատկերման և վերջնական սպեկտրի ստացման համար մշակվել է UV-Visible Spectrum ծրագրային գործիքը, որն

իրագործվել է Microsoft® Visual Studio 2015 միջավայրում՝ C# 6.0 (.Net 4.6 ֆրեյմվորքի հետ միասին) և Python 3.5 ծրագրավորման ու սկրիպտավորման լեզուների կիրառմամբ:

7. Առաջարկվել է օբյեկտների հեռամոնիտորինգի համակարգի մոդել, որը բաղկացած է նախնական տվյալների հավաքագրման, տեղեկատվության փոխանցման (GSM/GPRS+GPS բջջային կապի և տեղորոշման գլոբալ կապուլինների վրա հիմնված ուղիղ և հակադարձ կապ), մշակման, պահպանման ու արտաբերման հանգույցներից:
8. Առաջարկվող մոդելի շրջանակներում GSM/GPRS մոդեմի միջոցով ֆոտոսպեկտրաչափով ստացված նախնական տեղեկատվությունը GSM ցանցով փոխանցվում է կենտրոնական սերվերին, որտեղ իրականացվում է ստացված սպեկտրային տվյալների հետագա վերլուծությունը:
9. Պատրաստվել և փորձարկվել է փոքրաչափ (որոշվում է էկրանի չափերով), դյուրակիր (0.3 կգ՝ առանց սնուցման մարտկոցի), էժան (ինքնարժեքը՝ մոտ 70.000 դրամ) և արագագործ (մեկ չափման տևողությունը՝ մոտ 5...10 մկ) ֆոտոսպեկտրաչափի նախատիպ: Նախատիպի թույլատրելիությունը սպեկտրի տեսանելի տիրույթում տարբեր չափումների դեպքում կազմել է 1...3 նմ, ճշտությունը (սպեկտրային բնութագրերի առավելագույն շեղումը)՝ 5...10 նմ իսկ ավիքի երկարությունների գրանցվող միջակայքը՝ 350...1100 նմ:

ՕԳՏԱԳՈՐԾՎԱԾ ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. “Spectrophotometry”. Wikipedia, The Free Encyclopedia.-
<https://www.wikiwand.com/en/Spectrophotometry>
2. Allen D., Cooksey C. and Tsai B. Spectrophotometry.- October 5, 2010.-
<https://www.nist.gov/programs-projects/spectrophotometry>
3. Ball D.W. Field Guide to Spectroscopy (SPIE Vol. FG08).-SPIE Publications, May 12, 2006.-ISBN: 978-0-819-46352-4.-124 p.
4. Trumbo T.A., Schultz E., Borland M.G., Pugh M.E. Applied spectrophotometry: Analysis of a biochemical mixture // Biochemistry and Molecular Biology Education.-July-August 2013.-Vol. 41, Issue 4.-DOI:10.1002/bmb.20694.-P. 242-250.
5. Owen T. Fundamentals of modern UV-visible spectroscopy: Primer.- Germany: Agilent Technologies® Inc., 2000.-Publication number 5980-1397E.-136 p.-
https://www.agilent.com/cs/library/primers/Public/59801397_020660.pdf
6. CHEMISTRY LibreTexts™, Spectroscopic Methods: UV/Vis and IR Spectroscopy.- 2017.-
[https://chem.libretexts.org/Textbook_Maps/Analytical_Chemistry_Textbook_Maps/Map%3A_Analytical_Chemistry_2.0_\(Harvey\)/10_Spectroscopic_Methods/10.3%3A_UV%2F%2FVis_and_IR_Spectroscopy](https://chem.libretexts.org/Textbook_Maps/Analytical_Chemistry_Textbook_Maps/Map%3A_Analytical_Chemistry_2.0_(Harvey)/10_Spectroscopic_Methods/10.3%3A_UV%2F%2FVis_and_IR_Spectroscopy)
7. GE Healthcare Life Sciences®: Spectrophotometry Handbook.-2013.-P. 5-11.
8. Shimadzu Corporation®: UV Talk Letter.- 2009.- Vol. 2, C101-E111.- 8 p.-
http://www.shimadzu.com/an/uv_talk/index.html
9. Shimadzu Corporation®: UV Talk Letter.-2014.-Vol. 14, C101-E137.-8 p.
10. Shimadzu Corporation®: UV Talk Letter.-2010.-Vol. 4, C101-E116.-8 p.
11. Agarwal T. Types of Charge-Coupled Devices with their Working Principles.-2015.-<https://www.elprocus.com/know-about-the-working-principle-of-charge-coupled-device/>
12. Saptari V., Fourier-Transform Spectroscopy Instrumentation Engineering (SPIE Tutorial Texts in Optical Engineering Vol. TT61).-SPIE Publications, November 3, 2003.-ISBN: 978-0-819-45164-4.-136 p.
13. Stuart B., Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications.- New York: John Wiley & Sons Ltd., 2004.-ISBN: 978-0-470-85428-0.-244 p.

14. Thermo Fisher Scientific® Inc. Advantages of a Fourier Transform Infrared Spectrometer.-2015.- Technical Note 50674.- P. 1-3.-
<https://tools.thermofisher.com/content/sfs/brochures/TN50674-E-0215M-FT-IR-Advantages.pdf>
15. https://www.wikiwand.com/en/Fourier_transform_infrared_spectroscopy
16. CHEMISTRY LibreTexts™, How an FTIR Spectrometer Operates.- 2015.-
https://chem.libretexts.org/Core/Physical_and_Theoretical_Chemistry/Spectroscopy/Vibrational_Spectroscopy/Infrared_Spectroscopy/How_an_FTIR_Spectrometer_Operates
17. Analytical methods: Infrared spectroscopy.- 2017.- http://hiq.linde-gas.com/en/analytical_methods/infrared_spectroscopy/infrared_spectroscopy.html
18. Visible and Ultraviolet Spectroscopy.- 2013.-
<https://www2.chemistry.msu.edu/faculty/reusch/virttxtjml/spectrpy/uv-vis/spectrum.htm>
19. Shimadzu Corporation®: UV Talk Letter.-2016.-Vol. 17, C101-E145.-12 p.
20. Яновский А.Ф., Разработка и применение дистанционных спектрометрических методов исследования природных объектов: диссертация.- Минск, 1985.-171 с.-<http://www.dissercat.com/content/razrabotka-i-primeneniye-distantsionnykh-spektrometricheskikh-metodov-issledovaniya-prirodnyykh>
21. <http://augsignals.com/products-services/water-quality-monitoring/>
22. Jiang P., Xia H.B., He Z.Y. and Wang Z.M. Design of a Water Environment Monitoring System Based on Wireless Sensor Networks // Sensors.-2009.-Vol. 9.-
<https://doi.org/10.3390/s90806411>.- P. 6411-6434.
23. Normatov P.I., Armstrong R., Normatov I.Sh. and Narzulloev N. Monitoring Extreme Water Factors and Studying the Anthropogenic Load of Industrial Objects on Water Quality in the Zeravshan River Basin // Russian Meteorology and Hydrology.- 2015.-Vol. 40.- <https://doi.org/10.3103/S106837391505009X>.-P. 347-354.
24. Vaseashta A. Life Cycle Analysis of Nanoparticles-Risk, Assessment, and Sustainability.- Destech Publishers.-New York, 2015.-p. 404.
25. Vaseashta A., Braman E., Susmann P., Dekhtyar Yu. and Perovicha K. Sensors for Water Safety and Security // Surface Engineering and Applied Electrochemistry.-2012.-Vol. 48.-P. 478-486.
26. Pshinko G.N., Kobets S.A. and Puzyrnayain L.N. Concentration of U(VI) on a Complexing Sorbent for Its Determination by the Spectrophotometric Method // Journal of Water Chemistry and Technology.-2013.-Vol. 35.-
<https://doi.org/10.3103/S1063455X13040012>.-P. 145-151.

27. Kautzsch Th. Photo Cell Devices and Methods for Spectrometric Applications.-2013.-Patent US 20130285187 A1.
28. Kautzsch Th. Photodetector with Controllable Spectral Response.-2014.-Patent US 8916873 B2.
29. Kautzsch T. Photocell Devices and Methods for Spectroscopic Applications.-2012.-Patent DE 102013207801 A1.
30. Jan C., Daniel P., Man S.T. and Univ N. Photodetector with Controllable Spectral Response.-2005.-Patent US 8916873 B2.
31. Nataša G. A Novel Type of Tri-Colour Light-Emitting-Diode-Based Spectrometric Detector for Low-Budget Flow-Injection Analysis // Sensors.-2007.-Vol. 7.-<https://doi.org/10.3390/s7020166>.-P. 166-184.
32. Elif Ç.S., David S.F., Mutlu G. et al. Improved Selectivity from a Wavelength Addressable Device for Wireless Stimulation of Neural Tissue // Frontiers in Neuroengineering.-2014.-Vol.7.-p. 5.
33. Nader M. and Fereydoon N. Filterless Si-based ultraviolet-selective photodetectors // Spire Corporation for Stennis Space Center.-Mississippi, 2004.-Refer to SSC- 00072.- <http://www.techbriefs.com/Briefs/Mar00/SSC00072.html>
34. Vanyushin I.V., Gergel V.A., Zimoglyad V.A. and Tishin Y.I. Adjusting the Spectral Response of Silicon Photodiodes by Additional Dopant Implantation // Russian Microelectronics.-2005.-Vol. 34, № 3.-<https://doi.org/10.1007/s11180-005-0024-5>.-P. 155-159.
35. Gergel V.A., Lependin A.V., Tishin Yu.I. et al. Boron distribution profiling in asymmetrical n⁺-p silicon photodiodes and new creation concept of selectively sensitive photoelements for megapixel color photoreceivers // SPIE Proceedings: Micro- and Nanoelectronics 2005.-June 09, 2006.-Vol. 6260.- DOI:10.1117/12.677027.-P. 61-64.
36. Sze S. Physics of Semiconductor Divices. 2nd Edition.-New York: Wiley, 1981.-P. 450.
37. Khudaverdyan S., Petrosyan O., Dokholyan J., Khudaverdyan D. and Tsaturyan S. Modeling of a New Type of an Optoelectronic Biosensor for the Monitoring of the Environment and the Food Products // In: Vaseashta A., Braman E. and Susmann P. (eds.) Technological Innovations in Sensing and Detection of Chemical, Biological, Radiological, Nuclear Threats and Ecological Terrorism.-Berlin: Springer, 2012.-https://doi.org/10.1007/978-94-007-2488-4_17.-P. 179-184.
38. <http://rredc.nrel.gov/solar/spectra/am0/wehrli1985.new.html>

39. Khudaverdyan S., Hovhannisyan T., Meliqyan N., Mehrabyan N., Tsaturyan S., Khachatryan M., Vaseashta A. On the Model of Spectral Analysis of Optical Radiation // Journal of Electromagnetic Analysis and Applications.-2016.-8.- DOI:10.4236/jemaa.2016.82003.-P. 23-32.
40. Խուդավերդյան Ա.Խ., Առուստամյան Վ.Ե., Դոխտյան Ժ.Գ., Հովհաննիսյան Տ.Ս., Մեհրաբյան Ն.Բ. Օպտիկական ճառագայթի սպեկտրային վերլուծություն կիսահաղորդչային ֆոտոդետեկտորով // ՀԱՊՀ Լրաբեր. Գիտական հոդվածների ժողովածու.-Մաս 1.-Երևան, 2015.-էջ. 263-271:
41. Hovhannisyan T.S. A New Method for Optical Spectroscopy // Proceedings of NPUA: Information Technologies, Electronics, Radio Engineering.-Yerevan, 2016.-№ 2.-P. 107-117.
42. Խուդավերդյան Ա.Խ., Խաչատրյան Մ.Գ., Հովհաննիսյան Տ.Ս., Մեհրաբյան Ն.Բ. Սպեկտրալուսաչափական հնարավորությամբ սիլիցիումային երկարգեղք կառուցվածք // ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղեկագիր. Տեխնիկական գիտությունների սերիա.-2016.-Հատոր 69, № 4.-էջ. 393-402:
43. Khudaverdyan S., Meliqyan V., Hovhannisyan T., Khudaverdyan D., Vaseashta A. Identification and Analysis of Hazardous Materials Using Optical Spectroscopy // Optics and Photonics Journal.-2017.- 7.- DOI: 10.4236/opj.2017.71002.- P. 6-17.
44. Խուդավերդյան Ա.Խ., Խաչատրյան Մ.Գ., Հովհաննիսյան Տ.Ս., Մեհրաբյան Ն.Բ. Երկարգեղք կառուցվածքներով ֆոտոդետեկտորներում սպեկտրային ընտրողական զգայնության հնարավորությունների ուսումնասիրումը // ՀԱՊՀ Լրաբեր. Գիտական հոդվածների ժողովածու.-Երևան, 2017.-Մաս 1.-էջ. 390-395:
45. Bekker D.L. Hardware and Software Optimization of Fourier Transform Infrared Spectrometry on Hybrid-FPGAs: Thesis.-Rochester Institute of Technology RIT Scholar Works, 2007.-P. 151.
46. García R.G., Gentaz O., Baldino M., Torres M. An 8 GHz digital spectrometer for millimeter-wave astronomy // SPIE Proceedings: Millimeter, Submillimeter, and Far-Infrared Detectors and Instrumentation for Astronomy VI.- September 24, 2012.-Vol. 8452.-doi:10.1117/12.926114.-P. 1-8.
47. Klein B., Hochgürtel S., Krämer I., Bell A., Meyer K. and Güsten R. High-resolution wide-band fast Fourier transform spectrometers // Astronomy&Astrophysics

- GREAT: early science results.-June 2012.-Vol. 542, № L3.-DOI:10.1051/0004-6361/201218864.-P. 1-6.
48. Stanko S., Klein B., Kerp J. A Field Programmable Gate Array Spectrometer for Radio Astronomy // Cornell University Library: Astrophysics (astro-ph).-2005.-[arXiv:astro-ph/0503067v1](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0503067v1).-P. 1-5.
 49. Klein B. Sabine Ph. D., Güsten R., Krämer I., Samtlebena D. A new generation of spectrometers for radio astronomy: fast Fourier transform spectrometer // SPIE Proceedings: Millimeter and Submillimeter Detectors and Instrumentation for Astronomy III.-June 27, 2006.-Vol. 6275.-DOI:10.1117/12.670831.-P. 1-4.
 50. Müller S.C., Murk A., Monstein C., Kämpfer N., Meyer H. Microwave remote sensing of stratospheric trace gases using digital Fast Fourier Transform spectrometers // In: Wiesbeck, Werner; Thumm, Manfred (eds.) German Microwave Conference - GeMIC 2006.-University Karlsruhe, March 28 – 30, 2006.-BORIS DOI:[10.7892/boris.19543](https://boris.uni-karlsruhe.de/handle/10.7892/boris.19543).-P. 1-5.
 51. Müller S.C., Kämpfer N., Monstein C., Meyer H., Murk A. Vasic V. A novel spectrometer concept for microwave remote sensing of middle atmospheric trace constituents // SPIE Proceedings: Remote Sensing of Clouds and the Atmosphere X.-November 1, 2005.-Vol. 5979.-doi:10.1117/12.627655.-P. 1-9.
 52. Culhane J.L., Harra L.K., James A.M. et al. The EUV Imaging Spectrometer for Hinode // Solar Physics.- Springer, June 2007.-Vol 243, №1.-DOI:10.1007/s01007-007-0293-1.-P. 19–61.
 53. Ploykrachang K., Thong-Aram D., Punnachaiya S. and Baotong S. Pocket PC-based portable gamma-ray spectrometer // Songklanakarin Journal of Science and Technology.-Mar.-Apr. 2011.-Vol. 33 (2).-P. 215-219.
 54. Ocaya R.O. Versatile CCD-based spectrometer with field programmable gate array controller core // IET Science, Measurement & Technology Journals.-2016.-DOI: 10.1049/iet-smt.2016.0063.-P. 1-9.
 55. Becker E.M. and Farsoni A.T. Wireless, low-cost, FPGA-based miniature gamma ray spectrometer // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment.-Elsevier, 2014.-Vol. 761.-doi:10.1016/j.nima.2014.05.096.-P. 99-104.
 56. <https://www.nutaq.com/blog/using-fpgas-digital-pulse-processing-spectrometer-systems>

57. Xilinx® 7 Series FPGAs Data Sheet: Overview, Product Specification.-2017.-DS180 (v2.4).
58. Xilinx® 7 Series FPGAs Clocking Resources: User Guide.-2017.-UG472 (v1.13).
59. Xilinx® 7 Series FPGAs and Zynq-7000 All Programmable SoC XADC Dual 12-Bit 1 MSPS Analog-to-Digital Converter User Guide.-2016.-UG480 (v1.9).
60. Xilinx® 7 Series FPGAs Memory Resources: User Guide.-2016.-UG473 (v1.12).
61. Mehta N., Xilinx® 7 Series FPGAs Embedded Memory Advantages.-2012.-WP377 (v1.1).
62. Xilinx® Block Memory Generator v8.3: LogiCORE IP Product Guide, Vivado Design Suite.-2017.-PG058.
63. Xilinx® MicroBlaze Processor Reference Guide.-2016.-UG984 (v2016.3).
64. Xilinx® Artix-7 FPGAs Data Sheet: DC and AC Switching Characteristics.-2017.-DS181 (v1.22).
65. Xilinx® 7 Series FPGAs SelectIO Resources: User Guide.-2016.-UG471 (v1.8).
66. Digilent® Nexys4™ FPGA Board Reference Manual, Nexys4 rev. B.-2013.
67. Duke K., Bipolar +/-10V Analog Output from a Unipolar Voltage Output DAC, TI Precision Designs: Verified Design.-2013.
68. Texas Instruments® OPA188 Precision, Low-Noise, Rail-to-Rail Output, 36-V, Zero-Drift Operational Amplifier.-2016.-SBOS642B.
69. Texas Instruments® DAC8560, 16-Bit, Ultra-Low Glitch, Voltage Output Digital-to-Analog Converter with 2.5V 2ppm/°C Internal Reference.-2011.-SLAS464B.
70. Analog Devices® 18-Bit, Linear, Low Noise, Precision Bipolar ±10 V DC Voltage Source.-2011.-Circuit Note CN-0177.
71. Parguan J., Interfacing the DAC8560 to the MSP430F449.-Texas Instruments®, 2007.-Application Report SLAA350.
72. SIMCOM® SIM808 Quad-Band GSM/GPRS module with GPS technology: AT Commands Manual.- 2015.- Version 1.09.- <http://simcom.ee/modules/gsm-gprs-gnss/sim808/>.- http://simcom.ee/documents/SIM808/SIM800%20Series_AT%20Command%20Manual_V1.09.pdf
73. <http://www.unicosci.com/spectro/1205detail.htm>
74. <https://www.fishersci.com/shop/products/orion-aquamate-7000-vis-spectrophotometers/13650701>
75. https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=3482
76. <https://oceanoptics.com/product-category/usb-series/>

77. <https://www.fishersci.com/shop/products/orion-aquamate-8000-uv-vis-spectrophotometer/13650700>
78. <http://www.worldoftest.com/uv-2601-uvvis-spectrophotometer>
79. Technical Specifications for the LAMBDA 1050 UV/Vis/NIR Spectrophotometer.-
<http://camcor.uoregon.edu/site/wp-content/uploads/2012/11/Lambda-1050-spec.pdf>
80. https://www.amazon.com/Lab-Spectrophotometers/b/ref=dp_bc_5?ie=UTF8&node=393265011
81. Krikorian H., Hovhannisyan T., Manukyan S. Prototyping System for USB3.0 Link Layer Using Synthesizable Assertions and Partial Reconfiguration // IEEE Computer Science and Information Technologies (CSIT 2015), 28 Sept.-2 Oct. 2015.-Yerevan, Armenia, 2015.-P. 19-22.
82. Melikyan V.Sh., Krikorian H.R., Hovhannisyan T.S., Babayan D.R. Synthesizable Assertions for Clock Domain Crossing Verification for the USB Prototype // Proceedings of the Republic of Armenia NAS and NPUA. Series of Technical Sciences.- 2016.-Vol. 69, № 2.-P.138-150.
83. IEEE Standard Verilog® Hardware Description Language.-
<https://inst.eecs.berkeley.edu/~cs150/fa06/Labs/verilog-ieee.pdf>
84. Ciletti M.D. Advanced Digital Design with the Verilog HDL (2 edition).-Prentice Hall, Pearson Education, 2010.- ISBN-13: 978-0136019282.-984 p.
85. SystemVerilog 3.1a Language Reference Manual.-
http://www.ece.uah.edu/~gaede/cpe526/SystemVerilog_3.1a.pdf
86. Grimaldi R.P., Discrete and Combinatorial Mathematics: An Applied Introduction.-2nd ed.-Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1989.- 800 p.
87. Microsoft® Visual Studio Documentation.- <https://docs.microsoft.com/en-us/visualstudio/>
88. Powers L., Snell M. Microsoft Visual Studio 2015 Unleashed (3rd Edition).- Sams Publishing, Sept. 5, 2015.-1320 p.
89. <https://www.wikiwand.com/hy/Օրգանական միացություններ>
90. http://www.kayelaby.npl.co.uk/chemistry/3_8/3_8_7.html
91. Shimadzu Corporation® Application Handbook: Food, Beverages, Agriculture.-2012.-Release 2, No. A463, LAAN-A-UV-E036.-P. 203-207.
92. Zhao X., Lin Ch.W., Wang J. and Oh D.H. Advances in Rapid Detection Methods for Foodborne Pathogens // J. Microbiol. Biotechnol.-2014.-Vol.24-3.-
<http://dx.doi.org/10.4014/jmb.1310.10013>.-P. 297-312.

93. Frisvad J.C. and Thrane U. Standardized High-Performance Liquid Chromatography of 182 Mycotoxins and Other Fungal Metabolites Based on Alkylphenone Retention Indices and Uv-Vis Spectra (Diode Array Detection) // Journal of Chromatography.-Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V., 1987.-Vol 404-1.-P. 195-214.
94. Grant W.B., Kagann R.H. and McClenny W.A. Optical Remote Measurement of Toxic Gases // Journal of the Air & Waste Management Association.-1992.-Vol. 42:1.-DOI: 10.1080/10473289.1992.10466965.-P. 18-30.
95. V.N. Rai, Laser-Induced Breakdown Spectroscopy: A Versatile Technique of Elemental Analysis and Its Applications // Cornell University Library.-2014.-[arXiv:1407.0132v1](https://arxiv.org/abs/1407.0132v1) [physics.optics].-P. 1-35.

№ 636/17

" 22 " 06 2017



Հաստատում եմ՝
«ՍԻՆՈՓՍԻՍ ԱՐՄԵՆԻԱ» ՓԲԸ Գլխավոր տնօրեն՝
Հ. Մուսայեյան

Տարոն Սամվելի Հովհաննիսյանի «Օբյեկտները հեռավերլուծող դյուրակիր ֆոտոսպեկտրաչափի մշակումը» թեմայով թեկնածուական ատենախոսության արդյունքների

ՆԵՐԴՐՄԱՆ ԱԿՏ

ՀԱՊՀ «Հեռահաղորդակցական ցանցեր, սարքավորումներ և համակարգեր» մասնագիտությամբ 3-րդ կուրսի ասպիրանտ Ս. Ս. Հովհաննիսյանի կողմից մշակված նոր լուծումները և ստացված հետևյալ արդյունքները կարող են ներդրվել «ՍԻՆՈՓՍԻՍ ԱՐՄԵՆԻԱ» ՓԲԸ-ում.

- ծրագրային միջավայրից, JTAG ինտերֆեյսի միջոցով հիշասարքերի հետ տվյալների փոխանակում,
- դրանց աշխատանքային ռեժիմների ընտրության, պարամետրերի կարգաբերման և թեստավորման հնարավորություն,
- անալոգային և խառը ազդանշանային ինտեգրալ սխեմաների (ԻՍ) մուտքերի կառավարում և ելքերի գրանցում՝ աշխատանքային ռեժիմների ընտրության, պարամետրերի կարգաբերման և թեստավորման նպատակով:

Դրանք կարող են հանդիսանալ նախատիպ և օգտագործվել հիշասարքերի, խառը ազդանշանային և անալոգային ԻՍ-երի ներդրված ինքնաթեստավորման ու վերանորոգման համակարգերի նախագծման և ստուգման գործընթացներում: Մշակված նախատիպը բավարարում է ժամանակակից ներդրված համակարգերի էլեկտրոնային նախագծման բնագավառում գործիքային միջոցներին ներկայացվող բոլոր պահանջներին:

ԻՍ-երի ներդրված ինքնաթեստավորման և վերանորոգման

դեպարտամենտի ավագ կառավարիչ,

Ֆ-մ.գ.դ., պրոֆեսոր, ՀՀ ԳԱԱ ակադեմիկոս՝

Ս. Կ. Շուրավյան



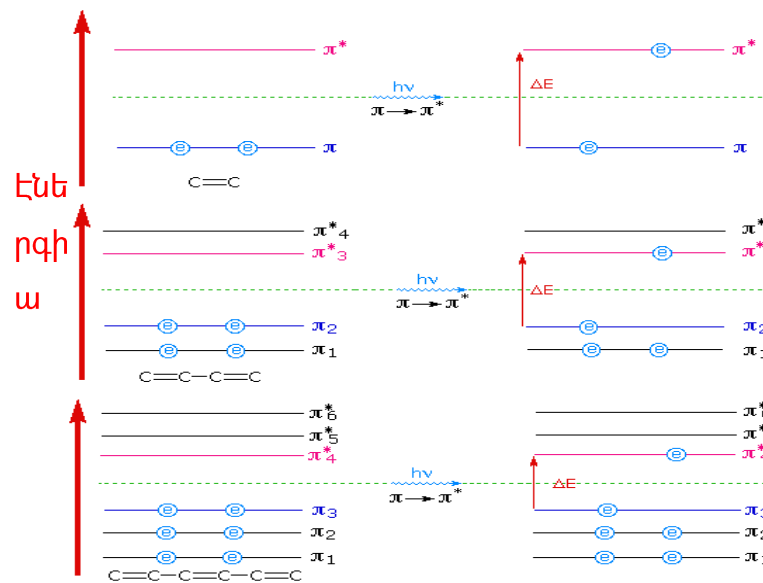
Որոշ նյութերի կլանման սպեկտրների օրինակներ և դրանց վերլուծությունը

Մոլային կլանման գործակիցները $n \rightarrow \pi^*$ անցումների դեպքում հարաբերականորեն փոքր են և գտնվում են 10-ից 100 $լ \cdot մոլ^{-1} \cdot սմ^{-1}$ միջակայքում: $\pi \rightarrow \pi^*$ անցումները սովորաբար տալիս են 1.000-ից 10.000 $լ \cdot մոլ^{-1} \cdot սմ^{-1}$ արժեքների միջակայքում ընկած մոլային կլանման գործակիցներ: Նմուշը լուծելու համար կիրառվող լուծիչները նույնպես ազդում են նմուշի ելքային կլանման սպեկտրի վրա: Լուծիչի աճող բևեռականության հետ $n \rightarrow \pi^*$ անցումների առաջացրած պիկերը շեղվում են դեպի կարճալիքային միջակայք (կապույտ շեղում): Դա առաջանում է միայնակ էլեկտրոնային զույգի աճող լուծողականության պատճառով, ինչը նվազեցնում է n ուղեծրի էներգիան: Հաճախակի (բայց ոչ միշտ) հակառակ շեղում է նկատվում («կարմիր շեղում») $\pi \rightarrow \pi^*$ անցման դեպքում: Սա առաջանում է լուծիչի և լուծվող նմուշի մոլեկուլների միջև եղած բևեռացման ձգողական ուժերի պատճառով, որոնք իջեցնում են u' գրգռված, u' չգրգռված (համեմատաբար ավելի փոքր չափով) վիճակների էներգետիկ մակարդակները, ինչի արդյունքում այս երկու տիպի վիճակների միջև եղած էներգիաների տարբերությունը նվազում է: Այս երևույթը ազդում է նաև $n \rightarrow \pi^*$ անցման վրա, բայց այդ դեպքում գերակշիռ է «կապույտ շեղման» դերը [18]:

Քրոմոֆորը մոլեկուլի զույնի համար պատասխանատու հատվածն է: Դա մոլեկուլի այն տիրույթն է, որտեղ երկու առանձին մոլեկուլային ուղեծրերի էներգիաների միջև տարբերությունն ընկնում տեսանելի սպեկտրի էներգիաների միջակայքից ներս: Այդպիսով, քրոմոֆորի հետ բախվող տեսանելի լույսը կարող է կլանվել հանգստի վիճակից գրգռված վիճակի անցում կատարող էլեկտրոնի կողմից:

Մոլեկուլներում քրոմոֆորների առկայությունը լավագույնս գրանցվում է տեսանելի և ՈւՄ սպեկտրաչափությամբ, սակայն այդ միջակայքի գործիքների ճնշող մեծամասնությունը չի կարող զգալ 200 նմ-ից կարճ ալիքների կլանումը, ինչը խնդրահարույց է դարձնում մեկուսացված քրոմոֆորների հայտնաբերումը: Բարեբախտաբար, կան բազմաթիվ օրգանական միացություններ, որոնք պարունակում են **զուգորդված (կոնյուգացված) կրկնակի կապերով համակարգեր** (այսուհետ՝ «զուգորդված համակարգեր»), որոնցում երկու կրկնակի կապերը

միմյանցից բաժանված են պարզ կապով [8]: Երբ երկու կրկնակի կապեր զուգորդվում են, չորս π -ատոմային ուղեծրերը միավորվում են և ստեղծում չորս π -մոլեկուլային ուղեծրեր, որոցից երկուսը կապակցող են, իսկ մյուս երկուսը՝ փխրեցնող: Նույն կերպ՝ երեք կրկնակի կապերի զուգորդումն ստեղծում է վեց π -մոլեկուլային ուղեծրեր՝ կեսը կապակցող, մյուս կեսը՝ փխրեցնող: Էներգիապես ամենանպաստավոր $\pi \rightarrow \pi^*$ գրգռման էլեկտրոնային անցումը տեղի է ունենում ամենաբարձր էներգիայով կապակցող π ուղեծրից դեպի ամենացածր էներգիայով փխրեցնող π ուղեծիր (նկ. Հ.2.1.) [18]:

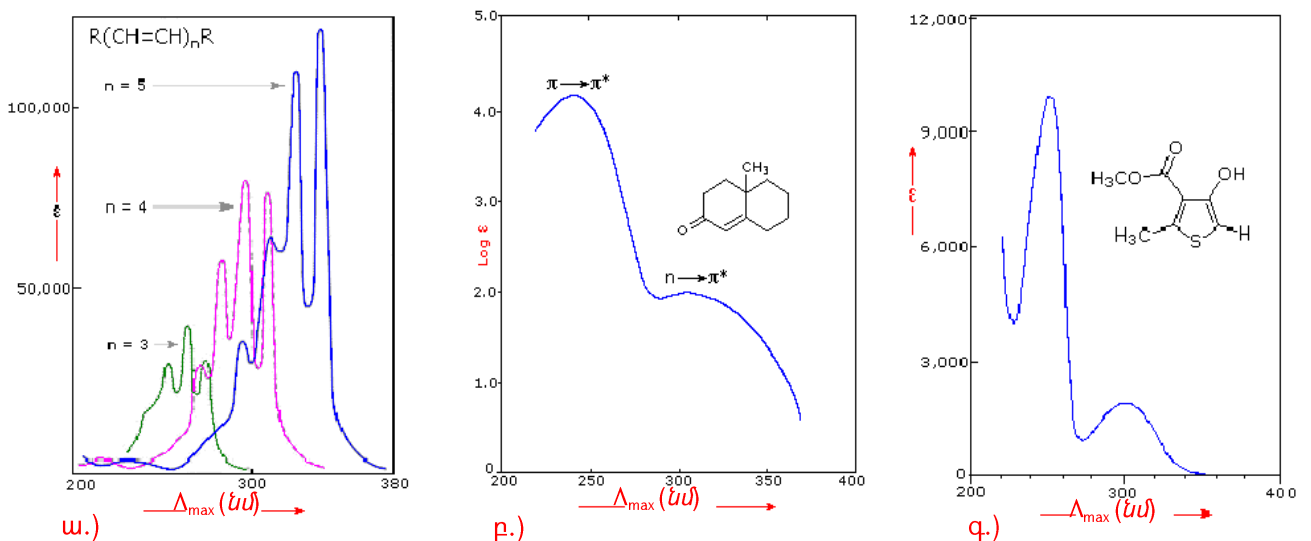


Նկ. Հ.2.1. $\pi \rightarrow \pi^*$ գրգռման օրինակներ [18]

Դրա պատճառն այն է, որ զուգորդված համակարգում գտնվող π էլեկտրոնների շարժման վիճակը ավելի հեշտ է փոփոխվում, քան σ էլեկտրոններինը, որոնցից կազմված է մոլեկուլի կառուցվածքի շրջանակը: Եթե ընկնող լուսային հոսքից կլանված ֆոտոնը բախվում է π էլեկտրոնի հետ, ապա այդ π էլեկտրոնը հեշտությամբ անցնում է շարժման մեկ այլ վիճակի: Սա ճիշտ է նույնիսկ այն դեպքում, երբ ֆոտոնն օժտված է էներգիայի համեմատաբար փոքր չափաբաժնով: Էլեկտրոնի կողմից դրա կլանման շնորհիվ կատարվող անցումն արտահայտում է այդ կլանման եղանակը: Հարաբերականորեն մեծ զուգորդված համակարգերում գտնվող π էլեկտրոններն ավելի հեշտ են ենթարկվում ցածր էներգիայով ֆոտոնների ազդեցությանը: Եթե ֆոտոնի $E_{\text{ֆոտո}}$ էներգիան համեմատաբար փոքր է, ապա կլանված λ ալիքի երկարությունը համեմատաբար մեծ է: Հետևաբար, զուգորդված համակարգերն ունեն մեծ ազդեցություն պիկային ալիքի երկարության և կլանման ինտենսիվությունների

վրա, և եթե մոլեկուլը պարունակում է զուգորդված համակարգ, ապա **կլանման պիկերը շեղվում են դեպի λ -ի մեծ արժեքների տիրույթ** (սպեկտրի երկարալիքային միջակայք) [8]:

Նկ. <.2.2. ա.-ում բերված պոլիենի սպեկտրից պարզ է դառնում, որ զուգորդված π - էլեկտրոնային համակարգում յուրաքանչյուր հավելյալ կրկնակի կապը նյութի կլանման պիկը շեղում է մոտ 30 նմ չափով՝ նույն ուղղությամբ: Բացի այդ, մոլային կլանման գործակիցը (ϵ) գրեթե կրկնապատկվում է յուրաքանչյուր նոր զուգորդված կրկնակի կապի ներմուծման հետ: Զուգորդված π -էլեկտրոնային շատ այլ համակարգեր ևս հանդես են գալիս որպես քրոմոֆորներ և կլանում են լույսը 200-ից 800 նմ միջակայքում: Դրանք ներառում են չհագեցած ալիֆատիկները, կետոնները և արոմատիկ օղակով միացությունները: Մի քանի օրինակներ ներկայացված են նկ. <.2.2.-ում (բ. և գ.): Չհագեցած կենտոնի սպեկտրը (բ.) ցույց է տալիս մոլային կլանման գործակցի լոգարիթմական ներկայացման առավելությունը: $\pi \rightarrow \pi^*$ կլանումը 242 նմ պիկում շատ ուժեղ է՝ $\epsilon = 18.000$: Թույլ $n \rightarrow \pi^*$ կլանման դեպքում 300 նմ-ի մոտ $\epsilon = 100$ [18]:



Նկ. <.2.2. Որոշ զուգորդված համակարգերի կլանման սպեկտրը [18]

Զուրը և ստորին (բևեռային) ալկոհոլները, դիէթիլ եթերից և դիօքսանից մինչև ոչ բևեռային ցիկլոհեքսանը և թեթև բենզինը կարող են կլանել 190 նմ-ից երկար միջակայքի ալիքներ, մինչդեռ, օրինակ, քլորոֆորմը կլանում է ~245 նմ-ից կարճ ալիքները: Ալկոհոլներում և եթերներում թթվածնի չկապակցվող էլեկտրոնների առկայությունը թույլ չի տալիս 160 նմ-ից երկար ալիքների կլանումը, և հետևաբար, դրանք ևս կիրառելի են տեսանելի սպեկտրաչափության մեջ՝ որպես լուծիչներ [90]: Աղ.

Հ.2.1.-ը ներկայացնում է որոշ լուծիչների արգելակման ալիքի երկարությունների մոտավոր արժեքները, որոնցից ավելի կարճ ալիքի երկարությունների միջակայքում լուծիչի կլանումը կարող է անընդունելի կերպով մեծ լինել:

Աղյուսակ Հ.2.1. Որոշ լուծիչների արգելակման ալիքի երկարությունների մոտավոր արժեքները [18, 90]

| Լուծիչ | L ₀ | L ₁ | Լուծիչ (շարունակություն) | L ₀ | L ₁ |
|-------------------|----------------|----------------|--------------------------------|----------------|----------------|
| Ալկոհոլներ | | | 1,2-դիքլորէթան | 250 | 230 |
| Մեթանոլ | 240 | 205 | Տետրաքլորէթիլեն | 320 | 290 |
| Էթանոլ | 240 | 205 | Տրիքլորէթիլեն | >400 | - |
| n-պրոպանոլ | 250 | 210 | Ալկաններ | | |
| 2-պրոպանոլ | 240 | 205 | Պենտան | 230 | 200 |
| n-բութանոլ | 245 | 215 | Հեքսան | 225 | 195 |
| s-բութանոլ | 285 | 260 | Հեպտան | 230 | 200 |
| Իզոբութանոլ | 250 | 200 | Ցիկլոպենտան | 220 | 195 |
| Էսթերներ | | | Ցիկլոհեքսան | 235 | 200 |
| Էթիլացետան | 280 | 260 | 2,2,4-տրամեթիլպենտան (իզոկտան) | 230 | 210 |
| n-բութիլացետան | 275 | 255 | Դեկալին | 250 | 230 |
| Եթերներ | | | Արոմատիկ ածխաջրածիններ | | |
| Դիէթիլէթեր | 255 | 220 | Բենզին | 295 | 280 |
| ρ-դիօքսան | 290 | 220 | Տոլուեն | 315 | 285 |
| տետրահիդրոֆուրան | 280 | 220 | Քլորբենզին | 310 | 285 |
| 2-մեթօքսիէթանոլ | 270 | 200 | 1,2-դիքլորբենզին | 350 | 295 |
| 2-էթօքսիէթանոլ | 280 | 210 | Օ-քսիլեն | 325 | 290 |
| 1,2-դիմեթօքսիէթան | 300 | 220 | 1,2,4-տոաքլորբենզին | 350 | - |

| Կետոններ | | | Այլ միացություններ | | |
|------------------------|-----|-----|---------------------|------|-----|
| Ացետոն | 340 | 330 | Ացետոնիտրիլ | 200 | 190 |
| Բութան-2-ոն [MEK] | 345 | 330 | N,N-դիմեթիլֆորմամիդ | 300 | 270 |
| 4-մեթիլպենտանոն [MIBK] | 375 | 335 | Դիմեթիլսուլֆօքսիդ | 330 | 285 |
| 4-մեթիլիեքսանոն [MIAK] | 350 | 330 | Նիտրոմեթան | >400 | 380 |
| Հալրիդ-ածխածիններ | | | Պիրիդին | 345 | 325 |
| Քլորոֆորմ | 260 | 240 | Ջուր | 190 | 185 |
| Դիքլորմեթան | 245 | 230 | | | |

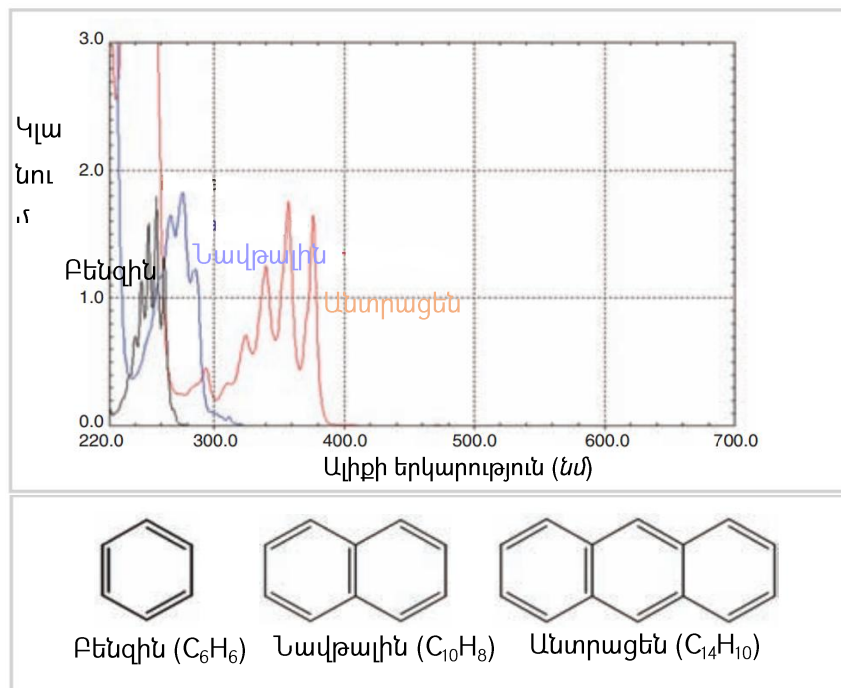
Քանակական վերլուծության դեպքում կիրառվում են աղ. Հ.2.1.-ում բերված L_0 սյունակի արժեքները, որոնց դեպքում օպտիկական ճանապարհի 10 մմ երկարությամբ լուծիչի հարաբերական կլանումը (ջրի նկատմամբ) գերացանցում է 0.05-ը՝ $Abs_{1\text{սմ}}^{1\%} > 0.05$: Որակական վերլուծության դեպքում հնարավոր է աշխատել զգալիորեն ավելի կարճ ալիքի երկարությունների առկայությամբ, որոնք բերված են աղ. Հ.2.1.-ի L_1 սյունակում և համապատասխանում են $Abs_{1\text{սմ}}^{1\%} > 0.1$ պայմանին [90]:

Գոյություն ունեն բազմաթիվ գունավորված օրգանական միացություններ, ինչպիսիք են պիգմենտները և ներկանյութերը: Օրգանական միացության գույնի և կառուցվածքի միջև կա սերտ կապ: Միացությունների գունավորման պատճառները հասկանալու համար հարկավոր է որոշել զուգորդված համակարգերի և գույնի միջև եղած կապը, ինչը կարելի է հետազոտել ՈւՄ և տեսանելի միջակայքի ֆոտոսպեկտրաչափով ստացված կլանման սպեկտրի օգնությամբ: Նկ. Հ.2.2.-ից կարելի է նկատել, որ զուգորդված համակարգի մեծացմանը զուգընթաց պիկային ալիքի երկարությունները շեղված են դեպի երկար ալիքների տիրույթ: Մասնավորապես **սննդային ներկերը** սովորաբար մեծ զուգորդված համակարգեր ունեն և կլանման պիկերը, շեղվելով դեպի երկարալիքային միջակայքը, հայտնվում են տեսանելի տիրույթում (400 նմ-ից 700 նմ): Տեսանելի գույնը նյութի կողմից չկլանված լույսն է, և դրա ալիքի երկարությունը կոչվում է «փոխլրացնող գույն»: Կարմիր (№ 102) ներկը կլանում է կապույտ և կանաչ լույսը 450 նմ-ից 550 նմ միջակայքում, իսկ դրանց

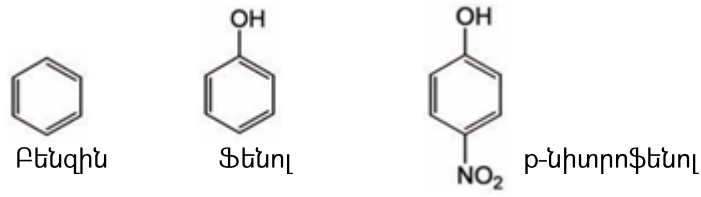
փոխլրացնող գույնը տեսանելի կարմիրն է: Կապույտ (N° 1) ներկը կլանում է 450 նմ-ից 550 նմ միջակայքի դեղին լույսը [8]:

Նկ. Հ.2.3.-ը ցույց է տալիս բենզինի, նավթալինի և անտրացենի մոլեկուլային կառուցվածքը և դրանց կլանման սպեկտրները, որոնք ստացվում են այս միացությունները էթանոլի մեջ տարրալուծելով և ստացված լուծույթը վերլուծելով: Միացությունների կոնցենտրացիաներն ընտրված են այնպես, որ կլանման ինտենսիվությունները գրեթե հավասար լինեն: Համապատասխան լուծիչի (աղ. Հ.2.1.) ընտրության վրա ազդում է ալիքի երկարությունների ուսումնասիրվող միջակայքը (ՈւՄ և տեսանելի):

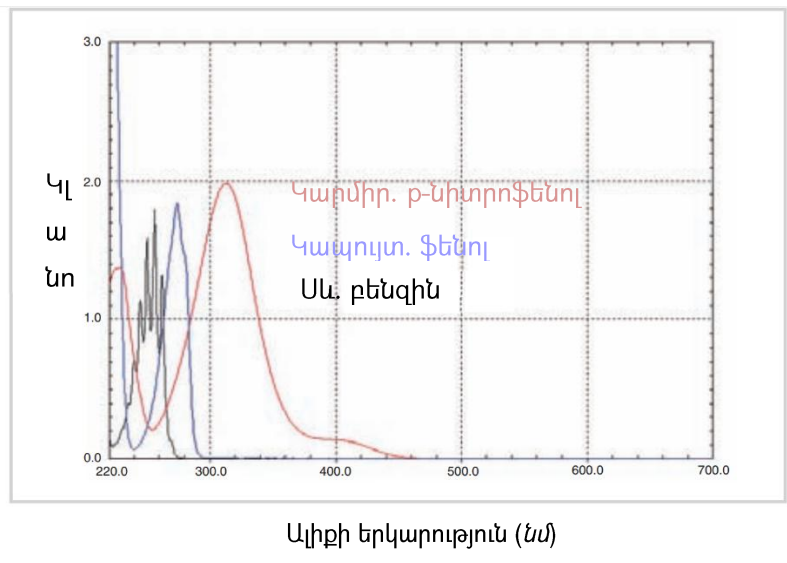
Կլանման պիկերի վրա ազդում են նաև **Ֆունկցիոնալ խմբերը**: Նկ. Հ.2.4.-ը ցույց է տալիս բենզինի, բենզինի օղակի հետ կապակցված հիքսոքսիլ (OH) խմբից կազմված ֆենոլի և բենզինի օղակի հետ կապակցված հիքսոքսիլ և նիտրո (NO₂) խմբերից կազմված p-նիտրոֆենոլի կլանման սպեկտրները: Ֆունկցիոնալ խմբերն ազդում են զուգորդված համակարգերի վրա, ինչի արդյունքում կլանման պիկերը (նկ. Հ.2.5.) հայտնվում են բենզինի կլանման պիկից ավելի երկար ալիքների միջակայքում՝ չանցնելով 400 նմ-ը և չմտնելով տեսանելի լույսի տիրույթ [8]:



Նկ. Հ.2.3. Բենզինի, նավթալինի և անտրացենի մոլեկուլների կառուցվածքը (վերևից) և դրանց կլանման սպեկտրը (ներքևից) [8, 18]

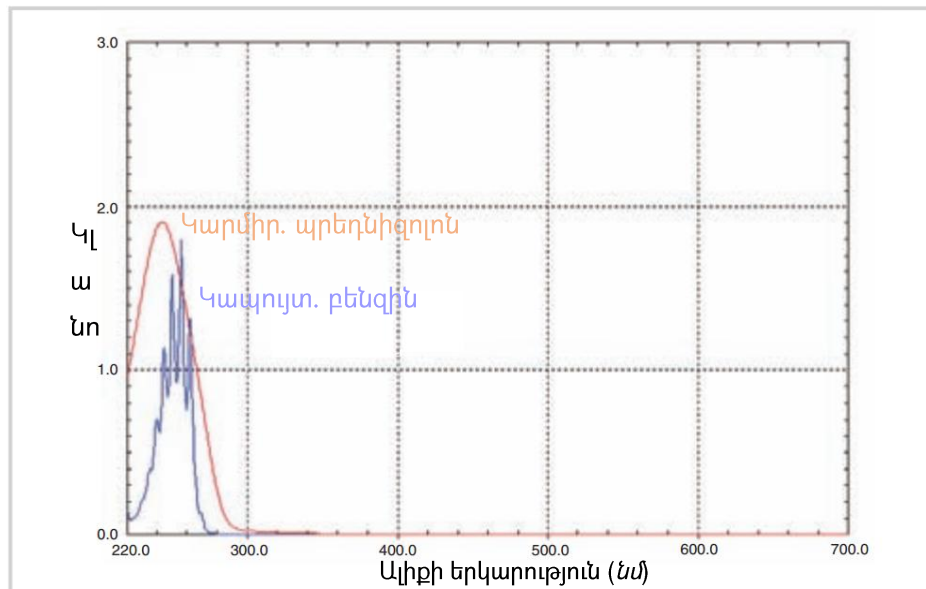


Նկ. Հ.2.4. Բենզինի, ֆենոլի և p-նիտրոֆենոլի մոլեկուլների կառուցվածքը [8]

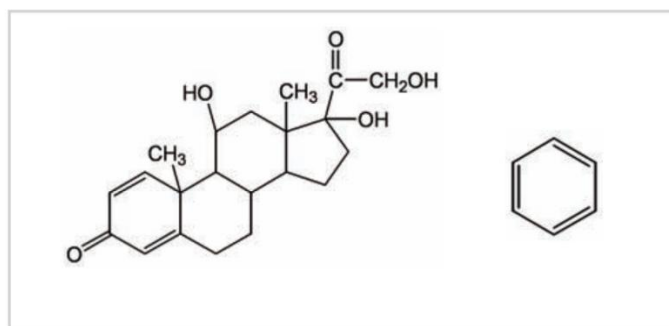


Նկ. Հ.2.5. Բենզինի, ֆենոլի և p-նիտրոֆենոլի մոլեկուլների կլանման սպեկտրները [8]

Հետևաբար, օրգանական միացությունների գույնի վրա ավելի մեծ է զուգորդված համակարգի չափի ազդեցությունը: Նկ. Հ.2.6.-ում բերված է դեղագործության մեջ կիրառվող պրեդնիզոլոնի և բենզինի կլանման սպեկտրները: Չնայած որ պրեդնիզոլոնն ունի մեծ շրջանակով մոլեկուլային կառուցվածք (նկ. Հ.2.7.), դրա զուգորդված համակարգը փոքր է, և կլանման պիկի ալիքի երկարությունը շատ քիչ է շեղված դեպի երկարալիքային միջակայք ու գրեթե նույն դիրքում է, ինչ բենզինի պիկը [8, 18]:



Նկ. Հ.2.6. Պրեդնիզոլոնի և բենզինի կլանման սպեկտրները [8]

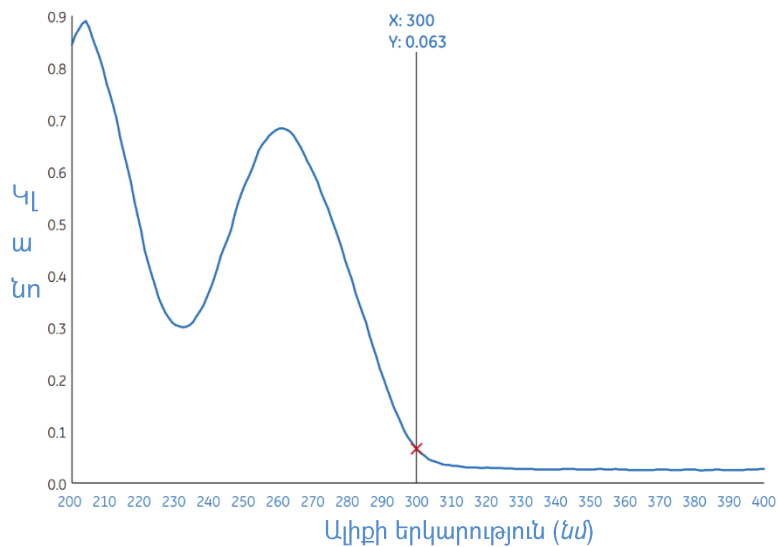


Նկ. Հ.2.7. Պրեդնիզոլոնի և բենզինի մոլեկուլային կառուցվածքները [8]

Սպիտակուցների չափումը: Թիրոզին և տրիպտոֆան ամինաթթուներն ունեն 280 նմ ալիքի երկարությանը շատ բնորոշ կլանում (A_{280}), ինչը թույլ է տալիս իրականացնել սպիտակուցի կոնցոնտրացիայի ուղիղ չափումներ: A_{280} -ի ուղիղ չափումն արագ է և ունի բազմաթիվ առավելություններ, քանի որ օգտագործվում է միայն սպիտակուցի լուծույթը՝ առանց որևէ լրացուցիչ ռեագենտի: Սպիտակուցի քիմիական կառուցվածքն ազդում է կլանման վրա. ամինաթթուների թիվը, ինչպես նաև դրանց տիպը առաջացնում են փոփոխություն: 280 նմ-ում սպիտակուցի կլանման չափը կախված է ամինաթթուների (թիրոզին և հատկապես տրիպտոֆան) քանակից, քանի որ ֆենիլալանինի արոմատիկ օղակը լավ է կլանում 260 նմ-ում, բայց 280 նմ-ում՝ ոչ: Այդպիսով, նմանատիպ մոլեկուլային զանգվածով սպիտակուցները կարող են ունենալ

բավականին տարբեր կլանումներ, քանի որ դրանք կարող են պարունակել տրիպտոֆանի և թիրոզինի բացարձակապես տարբեր քանակություններ [4-5, 7]:

ԴՆԹ-ի և ՌՆԹ-ի մոլեկուլները նույնպես կլանում են տեսանելի և մոտակա ՈւՄ միջակայքի լույսը՝ 260 նմ և 280 նմ ալիքի երկարություններում (նկ. Հ.2.8.): 230 նմ և 320 նմ ալիքի երկարությունների չափումները ևս կարող են տրամադրել հավելյալ տեղեկատվություն: Նուկլեինաթթուներում պարունակվող պուրինները և պիրիմիդինները բնականորեն կլանում են 260 նմ ալիքի երկարությամբ լույսը [7]:



Նկ. Հ.2.8. Մաքուր ԴՆԹ-ի բնութագրիչ ալիքի երկարությունների կլանումը [7]

260 նմ-ի շրջակայքում կա լայն կլանման պիկ՝ նախորդող անկմամբ, 230 նմ-ում: Հետևաբար, ԴՆԹ-ի կլանման չափման համար անհրաժեշտ է հստակորեն տարբերակել 260 նմ-ի պիկը 230 նմ-ի չափումից:

Ստորև, աղ. Հ.2.2.-ում ներկայցված են որոշ պարզ քրոմոֆորներ և դրանց կողմից լույսի կլանման բնութագրերը:

Աղյուսակ Հ.2.2. Պարզ քրոմոֆորների կողմից լույսի կլանման բնութագրերը [18, 90]

| Քրոմոֆոր | Անվանումը | Օրինակ | Գրգռում | λ_{\max} , նմ | ϵ , $լ \cdot մոլ^{-1} \cdot սմ^{-1}$ | Լուծիչ |
|----------|-----------|---------------------------------|-------------------------------|-----------------------|---|--------|
| C-H | - | CH ₄ | $\sigma \rightarrow \sigma^*$ | 122 | խիտ | |
| C-C | Էթան | CH ₃ CH ₃ | $\sigma \rightarrow \sigma^*$ | 130 | խիտ | |

| | | | | | | |
|--------------------|------------|--|--------------------------|------------|------------------|--------|
| C-O | - | CH ₃ OH | $n \rightarrow \sigma^*$ | 183 | 200 | |
| C-S | - | CH ₃ SH | $n \rightarrow \sigma^*$ | 235 | 180 | - |
| C-N | - | CH ₃ NH ₂ | $n \rightarrow \sigma^*$ | 210 | 800 | - |
| C-Cl | Քլորիդ | CH ₃ Cl | $n \rightarrow \sigma^*$ | 173 | 200 | - |
| C-Br | Բրոմիդ | Մեթիլ բրոմիդ | $n \rightarrow \sigma^*$ | 205-210 | 200-300 | Հեքսան |
| C-I | Յոդիդ | Մեթիլ յոդիդ CH ₃ I | $n \rightarrow \sigma^*$ | 255 258 | 360 380 | Հեքսան |
| -CN | Նիտրիլ | - | - | <180 | - | - |
| -C≡C- | Էթին | 1-հեքսին | $\pi \rightarrow \pi^*$ | <180 | 10.000 | Հեքսան |
| -SO ₂ - | Սուլֆոն | - | - | 180 | - | - |
| -O- | Եթեր | - | - | 185 | 1.000 | - |
| -NOH | Օքսիմ | - | - | 190 | 5.000 | - |
| -C=C- | Էթեն | Էթեն CH ₂ =CH ₂ | $\pi \rightarrow \pi^*$ | 171 165 | 15.000 16.000 | Հեքսան |
| -SH | Թիոլ | - | - | 195 | 1.500 | - |
| -NH ₂ | Ամին | - | - | 195 | 3.000 | - |
| -CO . OR | Էսթեր | - | - | 205 | 50 | - |
| -CO . OH | Կարբօքսիլ | - | $n \rightarrow \pi^*$ | 205 | 60 | - |
| -CH . O | Ալդեհիդ | - | - | 210 290 | 1.000+ 20 | - |
| -CN . O | Ամիդ | - | $n \rightarrow \pi^*$ | 214 | - | - |
| -SO- | Սուլֆօքսիդ | - | - | 210 | 1.500 | - |

| | | | | | | |
|--------------------|---------|------------------------------------|------------------|-------------|----------------|------------------|
| -NO ₂ - | Նիտրո | - | n → π* | 277 210 | 10 10.000 | - |
| -O-NO | Նիտրիտ | - | - | 225 >300 | 1.500 թույլ | - |
| -O-NO ₂ | Նիտրատ | - | n → π* | 270 | 10 | - |
| >C=O | Կետոն | Էթանալ | n → π* π → π* | 290 180 | 15 1.000 | Հեքսան Հեքսան |
| -N=N- | Ազո | CH ₃ N=NCH ₃ | n → π* | 347 | 15 | - |
| -C=S- | - | CH ₃ CSCCH ₃ | n → π* | 460 | թույլ | - |
| -N=O | Նիտրոզո | Նիտրոմեթան | n → π* π → π* | 275 200 | 17 5.000 | Էթանոլ Էթանոլ |

Աղյուսակ Հ.2.2. (շարունակություն)

Աղ. Հ.2.3.-ում բերված են պիկային ալիքի երկարությունները և տարբեր օրգանական միացությունների մոլային կլանման գործակիցները: Մոլային կլանման գործակիցը ցույց է տալիս, թե ինչքան մեծ է նյութի կողմից ընկած լույսի կլանման չափը. մեծ արժեքը նշանակում է կլանման մեծ չափ: Մեծ զուգորդված համակարգերի կլանման պիկերը սովորաբար նույնպես մեծանում են:

Աղյուսակ Հ.2.3. Տարբեր օրգանական միացությունների կլանման պիկերը և մոլային կլանման գործակիցները [8, 90]

| Նյութը | Կլանման պիկ, նմ | | Մոլային կլանման գործակից, մոլ·լ ⁻¹ ·սմ ⁻¹ | |
|--|---------------------|--------|---|---------|
| | E ₂ գոտի | B գոտի | E ₂ գոտի | B գոտի |
| Բենզին (C ₆ H ₆) | 204 | 256 | 7.900 | 180-200 |
| Տոլուեն (C ₆ H ₅ CH ₃) | 207 | 261 | 7.000 | 300 |

| | | | | |
|-------------------------------------|-----|-----|---------|-------|
| Մ-քսիլեն ($C_6H_4(CH_3)_2$) | - | 263 | - | 300 |
| Քլորբենզեն (C_6H_5Cl) | 210 | 265 | 7.600 | 240 |
| Ֆենոլ (C_6H_5OH) | 211 | 270 | 6.200 | 1.450 |
| Ֆենոլատ իոն ($C_6H_5O^-$) | 235 | 287 | 9.400 | 2.600 |
| Անիլին ($C_6H_5NH_2$) | 230 | 280 | 8.600 | 1.430 |
| Անիլին իոն ($C_6H_5NH_3^+$) | 203 | 254 | 7.500 | 160 |
| Թիոֆենոլ (C_6H_5SH) | 236 | 269 | 10.000 | 700 |
| Նավթալին ($C_{10}H_8$) | 286 | 312 | 9.300 | 289 |
| Ստիրեն ($C_6H_5CH=CH_2$) | 244 | 282 | 12.000 | 450 |
| Անտրացեն ($C_{14}H_{10}$) | 375 | - | 7.100 | - |
| Նավթացեն ($C_{18}H_{12}$) | 477 | - | 11.000 | - |
| Էթիլեն ($CH_2=CH_2$) | 180 | - | 10.000 | - |
| 1,3-բուտադիեն (C_4H_6) | 217 | - | 21.000 | - |
| Վիտամին A ($C_{20}H_{30}O$) | 328 | - | 51.000 | - |
| β -կարոտին ($C_{40}H_{56}$) | 450 | - | 140.000 | - |

Աղյուսակ Հ.2.3. (շարունակություն)

Գունավորված մետաղ-լիգանտ կոմպլեքսերի ձևավորումը և վերլուծությունը

Լուծույթներում մետաղների քանակական վերլուծությունը հիմնականում իրականացվում է ատոմային կլանման կամ ատոմային ճառագայթման (ֆլուորեսցենցիա) սպեկտրաչափության միջոցով, սակայն եթե հետազոտվող նյութը չի կլանում ՈւՄ և տեսանելի տիրույթում, կամ եթե կլանումը շատ թույլ է, ապա շատ

հաճախ հնարավոր է այդ նյութը քիմիական ռեակցիայի մեջ մտցնել մեկ այլ նյութի հետ, որն ունի կլանման բարձր գործակից: Շատ մնացորդային մետաղներ կարելի է հետազոտել գունավորված մետաղ-լիգանտ կոմպլեքսերի ձևավորումից հետո: Օրինակ, Fe^{2+} -ի թույլ լուծույթը չի կլանում տեսանելի լույսը, սակայն Fe^{2+} -ը, ռեակցիայի մեջ մտնելով օ-ֆենանթրոլինի հետ, կազմում է նարնջագույն-կարմիր $Fe(\text{ֆեն})_3^{2+}$ -ի կոմպլեքս, որն 500 նմ-ի մոտակայքում ունի ուժեղ, լայն կլանման գոտի: Այլ մետաղների, որոշ անօրգանական ոչ-մետաղների և օրգանական միացությունների հայտնաբերման մի քանի եղանակ բերված է աղ. Հ.2.4.-ում: Դրանց կիրառման օրինակներից են մաքուր **ջրի և ջրային թափոնների որակի վերահսկողության** համակարգերը, որոնք ևս հաճախ հիմնվում են ՈւՄ և տեսանելի միջակայքի ճառագայթման կլանման վրա [6]:

Աղյուսակ Հ.2.4. Որոշ մետաղների, անօրգանական ոչ-մետաղների և օրգանական միացությունների հայտնաբերման մեթոդներ [6]

| Հետազոտվող նյութ | Մեթոդ | Կլանման λ , նմ |
|------------------|---|------------------------|
| | Մնացորդային մետաղներ | |
| Ալյումին (Al) | Ռեակցիա էրիոքրոմի ցիանիդի հետ (R գունանյութ) pH=6 պայմանում՝ ձևավորելով վարդագույն-կարմիր կոմպլեքս | 535 |
| Մկնդեղ (As) | Ցինկով (Zn) վերականգնում մինչև AsH_3 և ռեակցիա արծաթի (Ag) դիէթիլդիթիոկարբանատի հետ՝ ստանալով կարմիր կոմպլեքս | 535 |
| Կադմիում (Cd) | Լուծազատում. NaOH-ով հիմնային դարձված նմուշից կորզում դիթիզոն ($C_{13}H_{12}N_4S$) (լիգանտ) պարունակող քլորոֆորմի ($CHCl_3$) մեջ՝ ձևավորելով վարդագույն-կարմիր կոմպլեքս | 518 |
| Քրոմ (Cr) | Օքսիդացում մինչև Cr(VI)-ի և ռեակցիա դիֆենիլկարբոզիդի հետ՝ ձևավորելով կարմիր-մանուշակագույն արդյունք | 540 |
| Պղինձ (Cu) | Ռեակցիա նեոկուպրինի հետ չեզոքից մինչև թեթև թթվային լուծույթում և կորզում $CHCl_3/CH_3OH$ -ի մեջ՝ ձևավորելով դեղին կոմպլեքս | 457 |

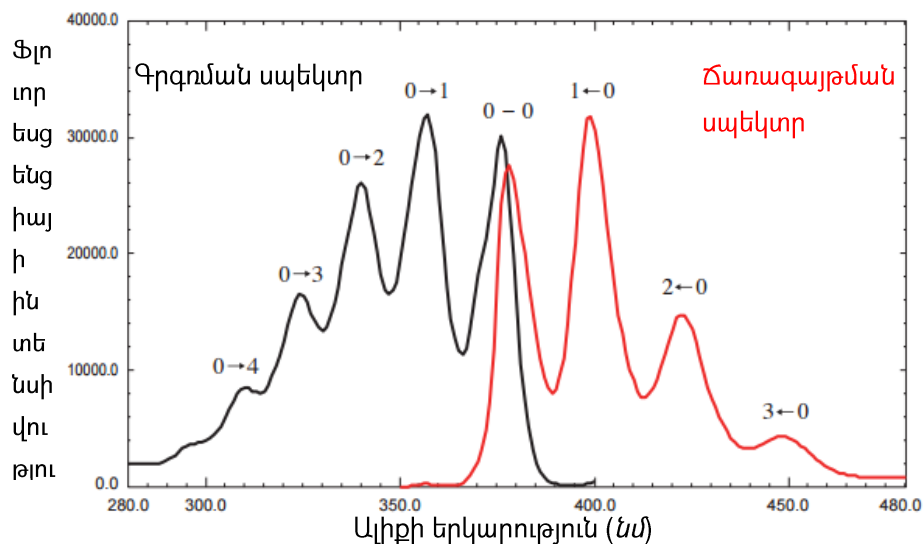
| | | |
|---------------------------------|--|-----|
| Երկաթ (Fe) | Վերականգնում մինչև Fe^{2+} և ռեակցիա օ-ֆենանթրոլինի հետ՝ ձևավորելով նարնջագույն-կարմիր կոմպլեքս | 510 |
| Կապար (Pb) | Լուծազատում. NH_3/NH_4^+ բուֆերով հիմնային դարձված նմուշից կորզում դիթիզոն (լիզանտ) պարունակող քլորոֆորմի ($CHCl_3$) մեջ՝ ձևավորելով բալագույն-կարմիր կոմպլեքս | 510 |
| Մանգան (Mn) | Պերսուլֆատի միջոցով օքսիդացում մինչև MnO_4^- ձևավորելով կարմիր-մանուշակագույն (անգլ.՝ purple) լուծույթ | 525 |
| Սնդիկ (Hg) | Լուծազատում. թթվային նմուշից կորզում դիթիզոն (լիզանտ) պարունակող քլորոֆորմի ($CHCl_3$) մեջ՝ ձևավորելով նարնջագույն կոմպլեքս | 492 |
| Ցինկ (Zn) | Ռեակցիա ցինկոնի հետ $pH=9$ պայմանում՝ ձևավորելով կապույտ կոմպլեքս | 620 |
| Անօրգանական ոչ-մետաղներ | | |
| Ամոնիակ | Ռեակցիա հիպոքլորիդի և ֆենոլի հետ՝ կիրառելով մանգանային աղի կատալիզատոր և որպես արդյունք ձևավորելով կապույտ ինդոֆենոլ | 630 |
| Ցիանիդ | Ռեակցիա քլորոամին-Դ-ի հետ՝ ձևավորելով $CNCl$, այնուհետև՝ պիրիդին-բարբիտուրական թթվի հետ՝ ձևավորելով կարմիր-կապույտ գունանյութ | 578 |
| Ֆլյուորիդ | Ռեակցիա Zr-SPADNS կարմիր լաքի հետ՝ ձևավորելով կարմիր լաքի գույնը թուլացնող ZrF_6^{2-} | 570 |
| Քլորին (մնացորդային) | Ռեակցիա «լեյկո-բյուրեղային մանուշակագույն» (LCV) գունանյութի հետ՝ ձևավորելով կապույտ արդյունք | 592 |
| Նիտրատ | Ռեակցիա կադմիումի (Cd) հետ՝ ձևավորելով NO_2^- , այնուհետև՝ սուլֆանիլամիդի և <i>N</i> -(1-նավթիլ)-էթիլենդիամինի հետ՝ ձևավորելով կարմիր «ազո» գունանյութ | 543 |
| Ֆոսֆատ | Ռեակցիա ամոնիումի (օրթո)մոլիբդատի ($(NH_4)_2MoO_4$) հետ, այնուհետև վերականգնում $SnCl_2$ -ի միջոցով՝ ձևավորելով «մոլիբդենային կապույտ» գույն | 690 |
| Օրգանական միացություններ | | |

| | | |
|-----------------------------------|---|-----|
| Ֆենոլ | Ռեակցիա 4-ամինաանտիպիրինի և $K_3Fe(CN)_6$ հետ՝ ձևավորելով «դեղին անտիպիրին» գունանյութ | 460 |
| Անիոնիկ մակերևութային ակտիվ նյութ | Ռեակցիա կատիոնային մեթիլենի կապույտ գունանյութի հետ և կորզում $CHCl_3$ -ի մեջ՝ ձևավորելով «կապույտ իոնների» զույգ | 652 |
| Գլյուկոզա ($C_6H_{12}O_6$) | Ռեակցիա <i>o</i> -տոլուդինի հետ՝ $100^\circ C$ ջերմաստիճանում՝ ձևավորելով կապույտ-կանաչ կոմպլեքս | 630 |

Աղյուսակ Հ.2.4. (շարունակություն)

Նյութերի ֆլուորեսցենցիային սպեկտրի օինակներ և դրանց վերլուծությունը

Նկ. Հ.2.9.-ը ցույց է տալիս ֆլուորոսպեկտրաչափով չափված ցիկլոհեքսանի մեջ լուծված անտրացենի գրգռման և ճառագայթման սպեկտրները: «0→1»-ի նման նշումներն ազդարարում են S_0 -ի $V_0 = 0$ մակարդակից էլեկտրոնի անցումը S_1 -ի $V_1 = 1$ մակարդակ (նկ. 2.2.): Այն ցույց է տալիս, թե ինչպես են գրգռման և ճառագայթման սպեկտրների պիկերի միջև եղած միջակայքերը կախված S_1 -ի տատանողական էներգետիկ մակարդակների միջև եղած տարբերությունից [19]:

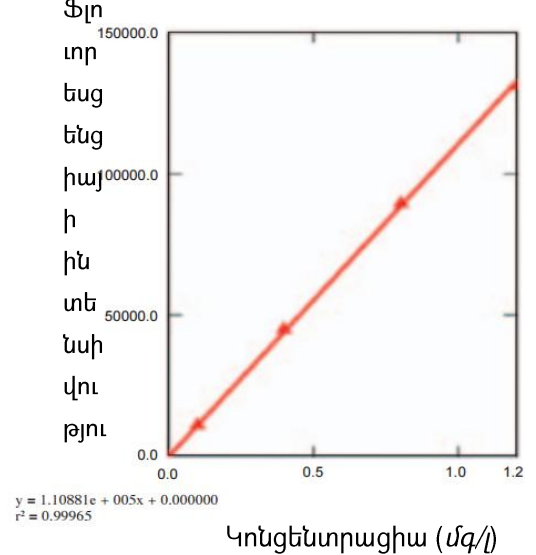
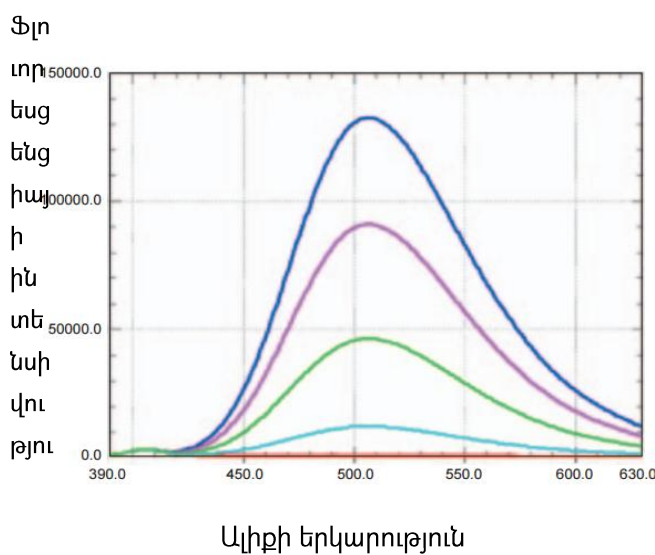


Նկ. Հ.2.9. Ցիկլոհեքսանի մեջ լուծված անտրացենի գրգռման և ճառագայթման սպեկտրները [19]

Ճառագայթման սպեկտրի պիկերի միջև եղած միջակայքերը կախված են S_0 -ում տատանողական էներգետիկ մակարդակների միջև եղած էներգիաների

տարբերությունից, բայց էներգիաների այդ տարբերությունը չի կարող հաստատվել տեսանելի և ուլտրամանուշակագույն սպեկտրաչափության միջոցով: Ավելին, «0-0» գոտին գտնվում է ալիքի երկարությունների այն միջակայքում, որտեղ գրգռման և ճառագայթման սպեկտրները փոխձածկվում են: Երբ գրգռված և հանգստի վիճակներում տատանողական էներգետիկ մակարդակների միջև եղած միջակայքերը նույնատիպ են, գրգռման և ճառագայթման սպեկտրները միմյանց հայելային արտապատկերումներն են: Կենտրոնը և համաչափության առանցքը «0-0» գոտին է:

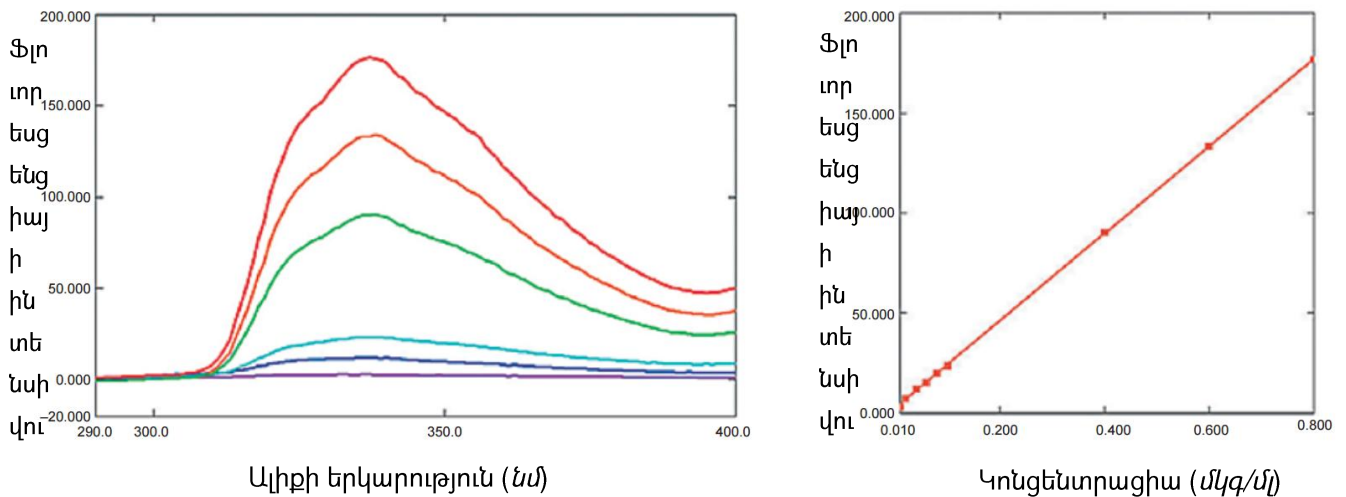
Ճապոնիայի նավթամթերքների ինստիտուտի ստանտարդով (JPI-5S-71-2010) սահմանվում է **դիզելային վառելիքում կումարինի առկայությունը ստուգող մեթոդ**: Այդ նպատակով կերոսինի և A-տիպի մազութի մեջ 1 մգ/լ խտությամբ խառնվում է կումարին, որն իզոմերացումից հետո ձևավորում է տրանս-օ-հիդրոօքսիցինամային թթու: Վերջինս արձակում է ֆլուորեսցենցիա: Հետևաբար, կումարինի քանակությունը կարելի է որոշել՝ հիմնվելով դրա ֆլուորեսցենցիայի ինտենսիվության չափման վրա: Տարբեր կոնցենտրացիաների դեպքում ստանդարտ կումարինի լուծույթի ճառագայթման սպեկտրը (ձախից) և կարգաբերման կորը (աջից) պատկերված են նկ. Հ.2.10.-ում: Կարգաբերման կորի մոտարկման (կորելյացիայի) գործակցի քառակուսին (r^2) 0.99965 է, ինչը քանակական լավ ճշգրտության նշան է [19]:



Նկ Հ.2.10. Տարբեր կոնցենտրացիաների դեպքում ստանդարտ կումարինի լուծույթի ճառագայթման սպեկտրը (ձախից) և կարգաբերման կորը (աջից) [19]

Դեղագործության մեջ ֆլուորոսպեկտրաչափությունը կիրառվում է տարբեր դեղամիջոցների որակական և քանակական վերլուծության համար: Դոլոքսետին

հիդրոքլորիդը միացություն է, որը «USP»-ում նշվում է որպես հակադեպրեսանտ միջոց: Դոլոքսետին հիդրոքլորիդի սպեկտրը և կարգաբերման կորը պատկերված են նկ. Հ.2.11.-ում: Այն ցույց է տալիս, որ որոշ ֆլուորեսցենցիայի կարող են նույնիսկ շատ փոքր կոնցենտրացիաների դեպքում ճշգրտորեն չափել այդ միացությունը (քանակավորման նվազագույն շեմը 0.0007 մկգ/մլ-ն է, իսկ հայտնաբերման նվազագույն շեմը՝ 0.0002 մկգ/մլ-ը) [19]:



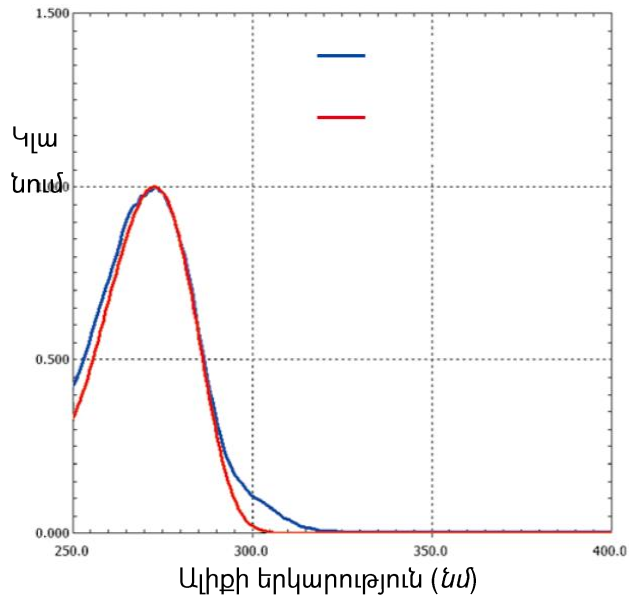
Նկ. Հ.2.11. Դոլոքսետին հիդրոքլորիդի ճառագայթման սպեկտրը (ծախից) և կարգաբերման կորը (աջից) [19]

Կիրառելով սինթրոն ֆլուորեսցենցիայի սպեկտրաչափություն՝ կարելի է հաստատել տարբեր նյութերի խառնուրդի յուրաքանչյուր առանձին բաղադրիչ, նույնիսկ եթե խառնուրդը կազմված է բազմաթիվ բաղադրիչներից: Սինթրոն ֆլուորեսցենցիայի սպեկտրաչափությունը միաժամանակ սքանավորում է և՛ գրգռման լույսի, և՛ լուսարձակման մոնոքրոմատորները՝ դրանց միջև պահպանելով ալիքի երկարությունների տրված միջակայքը:

Նյութերի արդրադարձման սպեկտրների օինակներ և դրանց վերլուծությունը

Ստորև բերված նկ. Հ.2.12.-ը ցույց է տալիս լույսն ինտեգրող գնդի կիրառմամբ, Կուբեկա-Մունկի ձևափոխության (բանաձև (1.6)) միջոցով չափված կոֆեինի փոշու ցրված արդրադարձման սպեկտրը: Համեմատության համար բերված է նաև **կոֆեինի ջրային լուծույթի** թափացնիկության (թափանցող լույսի կլանման) սպեկտրը:

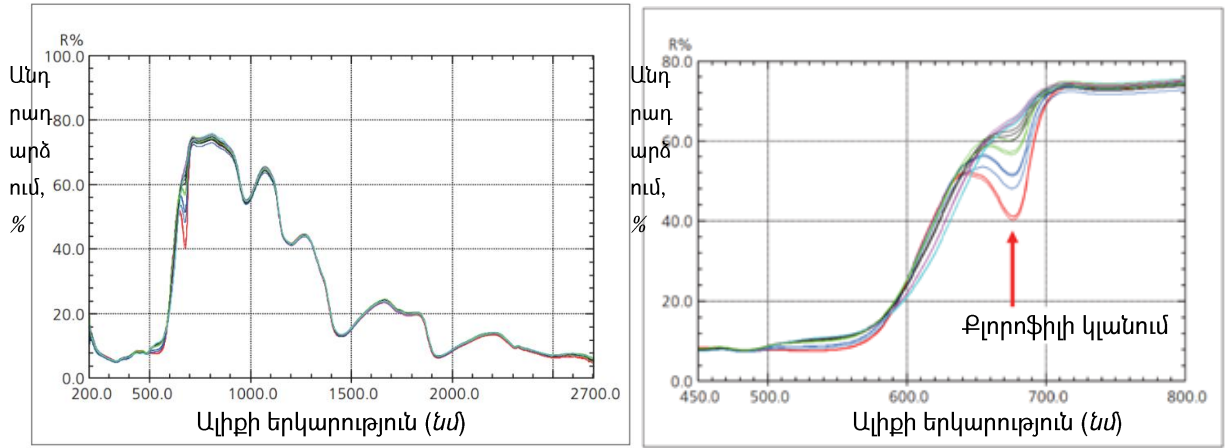
Համեմատումը հեշտացնելու համար սպեկտրները կանոնավորվել են պիկի առավելագույն արժեքով (այն «1» է): Այս արդյունքները ցույց են տալիս, որ պիկերի դիրքերը մոտավորապես նույնն են, ինչն էլ ցույց է տալիս Կուբեկա-Մունկի ձևափոխության կիրառականությունը: Կարևոր տարբերություններից է այն, որ ցրված անդրադարձման դեպքում թույլ կլանման պիկերն ավելի մեծ են ստացվում: Քանի որ նմուշը փոշիացված վիճակում է, բացառվում է նաև լուծույթներին բնորոշ որոշ հատկանիշների (օր.՝ pH-ի մակարդակ) ազդեցությունը չափման արդյունքի վրա [9]:



Նկ. Հ.2.12. Կոֆեինի փոշու ցրված անդրադարձման և թափացնիկության (թափանցող լույսի լանման) սպեկտրները [9]

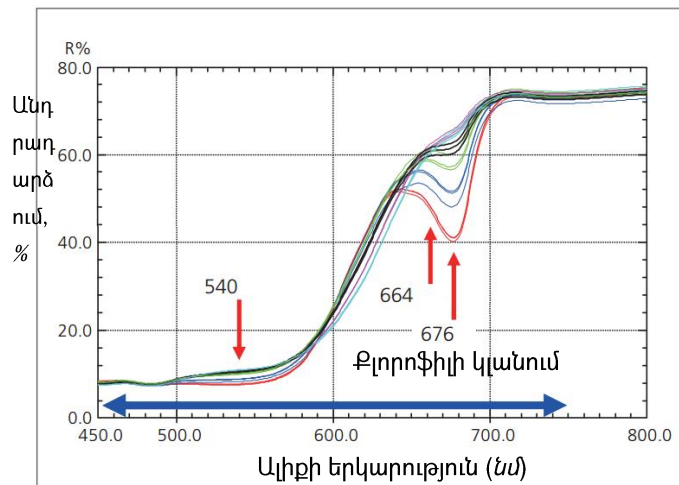
Մրգերի որոշ հատկությունների (օր.՝ քաղցրություն, թթվայնություն) ոչ-դեստրուկտիվ ստուգումները հիմնականում իրականացվում են Ում և տեսանելի միջակայքի լույսի ամբողջական անդրադարձմամբ ֆոտոսպեկտրաչափության միջոցով՝ լույսն ինտեգրող գնդի կիրառմամբ: Մրգի հասունության աստիճանն էլ կապված է դրանում քլորոֆիլի պարունակության փոփոխության հետ: Այդ կերպ ստացված խնձորի չափումների արդյունքները բերված են ստորև (նկ. Հ.2.13.) և բացահայտում են նմուշի անդրադարձման սպեկտրի և դրա չափման ժամանակի (օրեր) միջև եղած հստակ կապը [91]: Նկ. Հ.2.13.-ից պարզ է դառնում, որ օրերի ընթացքում նկատվում է սպեկտրի տեսանելի միջակայքի մեծ փոփոխություն, մինչդեռ ԻԿ միջակայքի սպեկտրը մնում է գրեթե նույնը: 680 նմ-ի շրջակայքում նկատվող իջվածքն առաջանում է նմուշում պարունակվող քլորոֆիլի կլանման արդյունքում: Այդ

իջվածքն, անցնող օրերին զուգընթաց, ակնհայտորեն փոքրանում (հարթվում) է: Այդ իջվածքի շրջակայքում չափումների տվյալների կիրառմամբ հնարավոր է բավականին ճշգրտորեն կանխատեսել բերքահավաքից կամ գնման պահից անցած օրերի քանակը:



Նկ. Հ.2.13. Խնձորի անդրադարձման սպեկտրը՝ չափված օրերի տարբերությամբ [91]

Նկ. Հ.2.14.-ում բերված են բերքահավաքի ժամանակ և դրանից 7, 14, 21, 28 և 35 օր անց կատարված խնձորի անդրադարձման սպեկտրի չափումների օրինակները: Այդ ընթացքում նմուշները պահպանվել են սենյակային ջերմաստիճանում:



Նկ. Հ.2.14. Խնձորի անդրադարձման սպեկտրի չափումները բերքահավաքից 0 (կարմիր), 7 (կապույտ), 14 (կանաչ), 21 (սև), 28 (մանուշակագույն) և 35 (բաց կապույտ) օր անց [91]

Նկարների ցանկ

Նկ. 1.1. Ինֆրակարմիրին մոտ, տեսանելի և ուտրամանուշակագույնին մոտ ճառագայթի միջակայքերը.....11

Նկ. 1.2. Պինդ մարմնում կիրառվող ֆոտոսպեկտրաչափության սկզբունքը.....12

Նկ. 1.3. Լուծույթում կիրառվող ֆոտոսպեկտրաչափության սկզբունքը.....13

Նկ. 1.4. Միաճառագայթ ֆոտոսպեկտրաչափի պարզեցված կառուցվածքը.....14

Նկ. 1.5. Ֆոտոսպեկտրաչափի հիմնական կառուցվածքային հանգույցները.....15

Նկ. 1.6. ԹԸԱ սկզբունքով աշխատող գործիքի կառուցվածքը, չափման սկզբունքը...
.....15

Նկ. 1.7. Մոնոքրոմատիկ լույսի անդրադարձումը փոշիացված նմուշից.....16

Նկ. 1.8. Հալոգենային լամպի ճառագայթման ինտենսիվության բաշխումը (3000 Կ).
.....19

Նկ. 1.9. Դեյտերիումային լամպի ճառագայթման ինտենսիվության բաշխումը.....19

Նկ. 1.10. Պրիզմայով լույսի ցրման օրինակ.....21

Նկ. 1.11. Լույսի ցրումը (դիսպերսիա) դիֆրակցիոն ցանցի միջոցով.....21

| | | |
|-----------|--|----|
| Նկ. 1.12. | Գոգավոր դիֆրակցիոն ցանցով ֆոտոսպեկտրաչափի գրաֆիկական պատկերը..... | 22 |
| Նկ. 1.13. | Նմուշի օրինակ..... | 23 |
| Նկ. 1.14. | Հեղուկ, գազային և պինդմարմնային նմուշների տեղադրումը խցիկում.... | 23 |
| Նկ. 1.15. | Դետեկտորների գրանցման ալիքի երկարությունների միջակայքը..... | 24 |
| Նկ. 1.16. | Սիլիցիումային ֆոտոդիոդի էներգետիկ մոդելը..... | 25 |
| Նկ. 1.17. | Սիլիցիումային ֆոտոդիոդի սպեկտրային զգայնության բնութագիրը..... | 26 |
| Նկ. 1.18. | ԼԿՍ մատրիցի կիրառմամբ ֆոտոսպեկտրաչափի պարզեցված կառուցվածքը..... | 27 |
| Նկ. 1.19. | ԼԿՍ աշխատանքի սկզբունքը..... | 28 |
| Նկ. 1.20. | Լիցքի տեղաշարժման գործընթացը..... | 29 |
| Նկ. 1.21. | InGaAs-ի ֆոտոդիոդի սպեկտրային զգայնության բնութագիրը..... | 31 |
| Նկ. 1.22. | Ցրված լույսի գրաֆիկական պատկերը (աջից) և ազդեցությունը կարգաբերման կորի վրա (ձախից)..... | 33 |
| Նկ. 1.23. | Y-500 գտիչի ալիքի երկարությունների բնութագիրը..... | 34 |
| Նկ. 1.24. | Ֆուրյեի ձևափոխությամբ սպեկտրաչափի կառուցվածքը..... | 37 |
| Նկ. 1.25. | Միքելսոնի հնտերֆերաչափի սխեմատիկական պատկերը..... | 38 |

| | |
|--|----|
| Նկ. 1.26. Ինտերֆերագրի օրինակ. կենտրոնական պիկը ճՁՏ կետում..... | 40 |
| Նկ. 1.27. Ինտերֆերաչափում շարժական հայելու պտտողական շարժմամբ ՕՃՏ-ի փոփոխության մոդելը..... | 40 |
| Նկ. 1.28. Բազմագույն լույսի ինտերֆերագիրը (ա) և դրա սպեկտրը (բ)..... | 41 |
| Նկ. 1.29. Նմուշի ԻԿ կլանման սպեկտրը..... | 42 |
| Նկ. 2.1. Օրգանական մոլեկուլներում հնարավոր էլեկտրոնային գրգռման տարբեր տեսակները..... | 49 |
| Նկ. 2.2. Կլանում, ֆլուորեսցենցիա և էներգետիկական մակարդակներ..... | 51 |
| Նկ. 2.3. Կլանման, ճառագայթման և գրգռման սպեկտրների ստացումը..... | 53 |
| Նկ. 2.4. $n^+ - p - n^+$ կառուցվածքը և հոսանքների ուղղությունները դրա կազմում..... | 55 |
| Նկ. 2.5. Էներգետիկ մակարդակների փոփոխությունը արտաքին լարման ազդեցությամբ..... | 57 |
| Նկ. 2.6. Ճառագայթի ինտենսիվության սպեկտրային բաշխվածության քայլ առ քայլ ստացման պարզեցված ալգորիթմը..... | 61 |
| Նկ. 2.7. Կառուցվածքի էներգետիկական գոտիական դիագրամը..... | 61 |
| Նկ. 2.8. Կառուցվածքի լայնական հատույթը և առանձին շերտերի պարամետրերը.. | 62 |

| | | |
|-----------|---|----|
| Նկ. 2.9. | 0.5 ՄՕՄ դիմադրությամբ բեռի վրա ստացված ֆոտոլարման սպեկտրային բաշխվածությունը..... | 63 |
| Նկ. 2.10. | Նմուշի վոլտ-ամպերային բնութագրերը մթնային պայմաններում..... | 64 |
| Նկ. 2.11. | Նմուշի վոլտ-ամպերային բնութագրերը լուսավորության տակ..... | 64 |
| Նկ. 2.12. | Կարմիր լուսադիոդի (L-813SRC-J4) ճառագայթի ինտենսիվության չափված սպեկտրային բաշխվածությունը..... | 65 |
| Նկ. 2.13. | Սպիտակ լուսադիոդի ճառագայթի ինտենսիվության չափված սպեկտրային բաշխվածությունը..... | 65 |
| Նկ. 2.14. | Տարբեր մոդելի լուսադիոդների չափված սպեկտրային բնութագրերը..... | 66 |
| Նկ. 2.15. | Լյումինեսցենտային լամպի չափված (վերևում) և էտալոնային (ներքևում) սպեկտրային բնութագրերը..... | 67 |
| Նկ. 3.1. | Ազդանշանի մշակման ավանդական մոտեցումը..... | 70 |
| Նկ. 3.2. | Օպտիկական ազդանշանի մշակման ներկայումս կիրառվող մոտեցումները..... | 71 |
| Նկ. 3.3. | Օպտիկական ազդանշանի մշակման առաջարկվող մոտեցումը..... | 73 |
| Նկ. 3.4. | ՎԹՓՄ ներքին կառուցվածքը և կիրառված ՎԹՓՄ-ն..... | 73 |
| Նկ. 3.5. | Մշակված սարքի ընդհանրական կառուցվածքային սխեման..... | 76 |
| Նկ. 3.6. | Կիրառված ԱԹԶ-ի կառուցվածքային բլոկ-սխեման..... | 77 |

| | | | | | |
|-----------|---------------------|---------------|----------------|----------------|-----------------|
| Նկ. 3.7. | Կիրառված | ԱԹՁ-ի | հիմնական | մուտք/ելք | |
| | հանգույցները..... | | | | 79 |
| Նկ. 3.8. | Դինամիկ | վերակառուցման | ինտերֆեյսի | ժամանակային | |
| | դիագրամները..... | | | | 80 |
| Նկ. 3.9. | Անալոգային | ազդանշանի | միացման | համարժեք | սխեման |
| | երկբևեռ | նեժիմում..... | | | 82 |
| Նկ. 3.10. | ԿԹԲՀ-ի | վրա | հիմնված | ԱՄԱԵ-ի | ընդհանուր |
| | տեսքը..... | | | | 84 |
| Նկ. 3.11. | ԱՄԱԵ-ների | զուգահեռ | միացում՝ | մեծացնելով | տվյալի |
| | լայնությունը..... | | | | բառի |
| | | | | | 87 |
| Նկ. 3.12. | Կիրառված | «MicroBlaze» | միկրոպրոցեսորի | միջուկի | |
| | կառուցվածքը..... | | | | 88 |
| Նկ. 3.13. | ՏՀԴ | միջոցով | իրականացվող | հաջորդաբար | գրելու |
| | գործողությունը..... | | | | 90 |
| Նկ. 3.14. | ՏՀԴ | միջոցով | իրականացվող | հաջորդաբար | կարդալու |
| | գործողությունը...90 | | | | |
| Նկ. 3.15. | ՏՀԴ | միջոցով | իրականացվող | հաջորդաբար | գրել-կարդալու |
| | գործողությունը՝ | | | | (խառը) |
| | վիճակների..... | առանց | | | սպասման |
| | | | | | 91 |
| Նկ. 3.16. | Ազդանշանի | ստացված | վերջնական | սպեկտրը 1, 4 | և 16 հաջորդական |
| | սքանավորումների | միջինացումից | հետո..... | | 92 |
| Նկ. 3.17. | Կիրառված | | ՓԹՀՀ-ի | կառուցվածքային | |
| | սխեման..... | | | | 93 |
| Նկ. 3.18. | Թվային | կառավարմամբ | երկբևեռ | լարման | աղբյուրի |
| | սխեման..... | | | | ընդհանուր |
| | | | | | 95 |

| | | | | | |
|-------------------------|-----------------|--------------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| Նկ. 3.19. | Ելքային | լարման | կախումը | մուտքային | |
| կողից..... | | | | | 97 |
| Նկ. 3.20. | Ելքային | լարման | սխալանքի | կախումը | մուտքային |
| կողից..... | | | | | 98 |
| Նկ. 3.21. | Տպասալի | նախագիծը | և | վերջնական | |
| տեսքը..... | | | | | 98 |
| Նկ. 3.22. | ԹԱԶ-ի | հաջորդական | ինտերֆեյսի | ժամանակային | |
| դիագրամը..... | | | | | 99 |
| Նկ. 3.23. | Ազդանշանի | ընտրանքի | անընդհատ (ա.) | և | իրադարձությամբ |
| կառավարվող (բ.) | ռեժիմների | ընտրության | մոդելավորումը | iSim | |
| միջավայրում..... | | | | | 102 |
| Նկ. 3.24. | ԱԹԶ-ի | DRP | ինտերֆեյսով | գործողությունների | իրականացման |
| մոդելավորումը | | | | | iSim |
| միջավայրում..... | | | | | 103 |
| Նկ. 3.25. | Ֆոտոսպեկտրաչափի | նախատիպի | հիմնական | հանգույցների | |
| տպասալերի | | | | ընդհանուր | |
| տեսքը..... | | | | | 104 |
| Նկ. 3.26 | Առաջնային | տվիչների | և | կենտրոնական | սերվերի միջև կապն |
| ապահովող | | | | | ցանցի |
| ճարտարապետությունը..... | | | | | 105 |
| Նկ. 3.27. | Օբյեկտների | ֆոտոսպեկտրաչափական | հեռամոնիտորինգի | | |
| սկզբունքը... | | | | | |
| | | | | | 105 |
| Նկ. 3.28. | UV-Visible | Spectrum | ծրագրային | միջոցի | ընդհանուր |
| ինտերֆեյսը..... | | | | | 106 |
| Նկ. 3.29. | Չափման | պարամետրերի | կարգաբերումը | UV-Visible | Spectrum |
| միջավայրից..... | | | | | 106 |

Աղյուսակների ցանկ

| | | |
|---------------|---|-----|
| Աղյուսակ 1.1. | Էլեկտրամագնիսական ալիքային միջակայքերի պայմանական բաժանումը..... | 11 |
| Աղյուսակ 1.2. | Սպեկտրաչափական գործիքներում կիրառվող նյութեր..... | 24 |
| Աղյուսակ 2.1. | Լույսի ճառագայթման տիպերը..... | 50 |
| Աղյուսակ 3.1. | ԱԹՁ-ի կիրառված հիմնական մուտք/ելք հանգույցների նկարագրությունը..... | 7 |
| Աղյուսակ 3.2. | «0» հասցեով ղեկավարման ռեգիստրի հիմնական դաշտերը..... | 81 |
| Աղյուսակ 3.3. | Հաջորդական ընտրանքների միջինացման կարգավորումները.... | 83 |
| Աղյուսակ 3.4. | ԱՄԱԵ-ի մուտք/ելք հանգույցների նկարագրությունը..... | 84 |
| Աղյուսակ 3.5. | ՏՀԴ ինտերֆեյսի ազդանշանների նկարագրությունը..... | 89 |
| Աղյուսակ 3.6. | ԹԱՁ-ի աշխատանքային ռեժիմները..... | 99 |
| Աղյուսակ 3.7. | Օպտիկական ինֆորմացիոն ազդանշանի թվային մշակման հանգույցի սինթեզման արդյունքը (Vivado Design Suite® միջավայրում)..... | 103 |
| Աղյուսակ 3.8. | Մշակված և հայտնի ֆոտոսպեկտրաչափների (ներառյալ մոտակա ՈւՄ և մոտակա ԻԿ միջակայքերը) հիմնական բնութագրերի համեմատությունը..... | 108 |

Հապավումների ցանկ

ԻՍ – ինտեգրալ սխեմա

ՎԹՓՄ - վերածրագրավորվող թվային փականների մատրից

ԻԿ - ինֆրակարմիր

ՈւՄ - ուտրամանուշակագույն

ԹԸԱ - թուլացած ազդանշանի ընդհանուր անդրադարձման գործակից

ԿՄՕԿ - կոմպլեմենտար մետաղ-օքսիդ-կիսահաղորդիչ

ԼԿՍ - լիցքային կապով սարք

ՃՁՏ - ճանապարհի զրոյական տարբերություն

ՕՃՏ - օպտիկական ճանապարհի տարբերություն

ԱԹՁ - անալոգաթվային ձևափոխիչ

ԻԱ - իսկության աղյուսակ

ԱԹՄ - ազդանշանների թվային մշակում

ՀԿԻՍ - հատուկ կիրառության ինտեգրալ սխեմաներ

ԴՎԻ - դինամիկ վերակառուցման ինտերֆեյս

ԱՄԱԵ - առաջին մուտք, առաջին ելք

ԿԹԲՀ - կամայական թույլտվությամբ բլոկային հիշասարք

ՀԿՀՀ - հրամանների կրճատված հավաքածուով հաշվարկում

ՈւԱԸՀ - ունիվերսալ ասինքրոն ընդունիչ և հաղորդիչ

ՀՈւԹ - հիշասարքին ուղիղ թույլտվություն

ԿՊ - կենտրոնական պրոցեսոր

ՏՀԴ - տեղային հիշասարքի դող

ՀՀԴ - համապիտանի հաջորդական դող

ՓԹՀՀ - փուլի թակարդմամբ հաճախության համակարգ

ԹԱՁ - թվաանալոգային ձևափոխիչ

ԵԼԱԲ - ելքային լարման ամբողջական բացվածք

ՄՎ - մասնակի վերակառուցում