

ՀՀ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ
ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

ԿՈՒՋԱՆՅԱՆ ԱՍՏՂԻԿ ԱՐՄԵՆԻ

ՋԵՐՄԱԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՄԻԱՖՈՏՈՆ ԴԵՏԵԿՏՈՐԻ ԶԳԱՅՈՒՆ ՏԱՐՐԻ ՄՈԴԵԼԻ
ՄՇԱԿՈՒՄԸ

Ա.04.21 - «Լազերային ֆիզիկա» մասնագիտությամբ ֆիզիկամաթեմատիկական
գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության
սեղմագիր

Երևան – 2019

**Ատենախոսության թեման հաստատվել է ՀՀ ԳԱԱ Ֆիզիկական
հետազոտությունների ինստիտուտում**

Գիտական ղեկավար՝	Ֆիզ.-մաթ. գիտ. թեկնածու Ա.Ս. Կուզանյան
Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝	Ֆիզ.-մաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր Ռ.Բ. Ալավերդյան Ֆիզ.-մաթ. գիտ. թեկնածու Հ.Հ. Ազիզբեկյան
Առաջատար կազմակերպություն՝	ՀՀ ԳԱԱ Ռադիոֆիզիկայի և էլեկտրոնիկայի ինստիտուտ

Պաշտպանությունը կայանալու է 2019թ. հոկտեմբերի 12-ին ժամը 12:00-ին, Երևանի պետական համալսարանում (0025, ք. Երևան, Ալեք Մանուկյան 1), ֆիզիկայի 049 մասնագիտական խորհրդում:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԵՊՀ գրադարանում:

Սեղմագիրն առաքված է 2019թ. սեպտեմբերի 2-ին

Մասնագիտական խորհրդի
գիտական քարտուղար՝



Ֆիզ.-մաթ. գիտ. թեկնածու,
դոցենտ Վ.Պ. Քալանթարյան

Тема диссертации утверждена в Институте физических исследований НАН РА

Научный руководитель:

кандидат физ.-мат. наук, А.С. Кузанян

Официальные оппоненты:

доктор физ.-мат. наук, профессор Р.Б. Алавердян

кандидат физ.-мат. наук Г.Г. Азибекян

Ведущая организация:

Институт радиофизики и электроники НАН РА

Защита диссертации состоится 12-го октября 2019г. в 12 часов в Ереванском государственном университете (0025, г. Ереван, ул. Алека Манукиана 1) на заседании Специализированного совета ВАК Физика-049.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕГУ.

Автореферат разослан 2-го сентября 2019г.

Ученый секретарь

специализированного совета



кандидат физ.-мат. наук,

доцент В.П. Калантарян

Թեմայի արդիականությունը

Գիտության և նորագույն տեխնոլոգիաների զարգացման համար անհրաժեշտ են նոր սերնդի ճշգրիտ չափիչ սարքեր: Տվիչները, որոնք կարող են գրանցել մեկ ֆոտոն և որոշել դրա էներգիան, ունեն բազմաթիվ կիրառություններ գիտության և տեխնիկայի տարբեր ոլորտներում, մասնավորապես՝ քվանտային համակարգիչների և գաղտնագրության, աստղագիտության, բարձր էներգիաների ֆիզիկայի, հաղորդակցման տեխնոլոգիաների, քվանտային մետրոլոգիայի, լազերային սպեկտրոսկոպիայի, լազերային տեսածրման, լիդարների, անվտանգության ապահովման, միկրոչիպերի թեստավորման, տարրային վերլուծության, բժշկական սարքաշինության և այլն:

Միաֆոտոն դետեկտորները (ՄՖԴ), որպես կանոն, գրանցում են ֆոտոնի կլանման արդյունքում առաջացող էլեկտրական ազդանշանը: Դասական ՄՖԴ-ներն են՝ ֆոտոբազմապատկիչները և տարափային ֆոտոդիոդները, որոնք ունեն ֆոտոնների դետեկտման ցածր արդյունավետություն, հաշվարկի ցածր և մթնային հաշվարկի բարձր արագություն, ինչն անհեռանկարային է դարձնում այս սարքերի կիրառումը որոշ ժամանակակից խնդիրների լուծման համար:

Ֆոտոնների գրանցման բնագավառում հեղափոխությունը պայմանավորված էր գերհաղորդականության երևույթի վրա հիմնված դետեկտորներով: Գերհաղորդիչ միաֆոտոն դետեկտորները (ԳՄՖԴ) իրենց տեխնիկական բնութագրերով գերազանցում են այլ դետեկտորներին: ԳՄՖԴ-ներն աշխատում են շատ ցածր ջերմաստիճաններում և աշխատանքային ջերմաստիճանի չափազանց փոքր տիրույթում: Երկրորդ խնդիրը լուծվել է գերհաղորդիչ տվիչի վրա հաստատուն հոսանքի կիրառմամբ, բայց տվյալ եղանակը բարդացնում է զգայուն տարրի կառուցվածքը:

ԳՄՖԴ-ների զարգացման հաջորդ քայլը գերհաղորդիչ նանոլարային միաֆոտոն դետեկտորների (ԳՆՄՖԴ) մշակումն էր: ԳՆՄՖԴ-ները ցուցաբերում են մեկ ֆոտոնի զգայունություն, մթնային հաշվարկի ցածր արագություն, վերականգնման կարճ ժամանակ և դետեկտման բարձր արդյունավետություն: ԳՆՄՖԴ-ներին այլընտրանք կարող են հանդիսանալ ջերմաէլեկտրական միաֆոտոն դետեկտորները (ՋՄՖԴ), քանի որ դրանք չեն պահանջում աշխատանքային խիստ պայմաններ, ունեն պարզ կառուցվածք և, ըստ տեսական հաշվարկների ու համակարգչային մոդելավորման արդյունքների, բարձր բնութագրեր:

Համեմատելով գոյություն ունեցող ՄՖԴ-ների բնութագրերը գիտության և տեխնիկայի հեռանկարային խնդիրներում առկա պահանջների հետ՝ կարող ենք պնդել, որ պարզ կառուցվածքով, բարձր դետեկտման արդյունավետությամբ, արագագործությամբ և էներգետիկ լուծաչափով դետեկտորի մշակումը արդիական խնդիր է:

Աշխատանքի նպատակը

Ատենախոսության նպատակն է մշակել բարձր բնութագրերով ՋՄՖԴ-ի զգայուն տարրի մոդել ինֆրակարմիրից մինչև ռենտգենյան ալիքի երկարության ֆոտոնների գրանցման և դրանց էներգիան որոշելու համար, ստեղծել ՋՄՖԴ-ի զգայուն տարրի նախատիպեր և ուսումնասիրել դրանք կազմող թաղանթների հատկությունները:

Գիտական նորույթը

Աշխատանքի գիտական նորույթն են համակարգչային մոդելավորման եղանակով ստացված և փորձարարական հետազոտությունների հետևյալ հիմնական արդյունքները՝

1. ուսումնասիրվել է W, Nb, Pb, $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ կլանիչներով և CeB_6 , $(La,Ce)B_6$, $FeSb_2$ տվիչներով ՋՄՖԴ-ի միաշերտ և եռաշերտ զգայուն տարրի աշխատանքը, հաշվարկվել են դետեկտորի հիմնական բնութագրերը և որոշվել են զգայուն տարրի օպտիմալ կառուցվածքը տարբեր էներգիաներով ֆոտոնների՝ հաշվարկի մեծ արագությամբ ու էներգետիկ բարձր լուծաչափով գրանցման համար,
2. առաջարկվել են լազերային փոշենստեցման եղանակով մեծաչափ բարակ թաղանթների սինթեզման լուծումներ, որոնք ներառում են մեկից ավելի թիրախների և սեկտորի տեսքով կիզակետի կիրառում,
3. ստեղծվել են ՋՄՖԴ-ի W կլանիչով և CeB_6 տվիչով միաշերտ, երկշերտ և եռաշերտ զգայուն տարրի նախատիպեր, ուսումնասիրվել են այդ հետերոկառուցվածքները կազմող թաղանթների հատկությունները:

Կիրառական նշանակությունը

Ատենախոսական աշխատանքի շրջանակներում մշակվել է լազերային փոշենստեցման եղանակով մեծաչափ բարակ թաղանթների սինթեզման նոր սարք: Սարքի առանձնահատկություններն են՝ մեկից ավել թիրախների և որոշակի երկրաչափության ճեղքերով դիմակների կիրառումը, որոնց միջոցով կատարվում է փոշենստեցում պտտվող տակդիրի կամ զուգընթաց շարժվող ժապավենի վրա: Առաջարկվել է փոշենստեցման ընթացքում թիրախի արդյունավետ օգտագործման եղանակ, որի առանձնահատկությունն է լազերային փնջի սեկտորի տեսք ունեցող կիզակետը: Այս երկու եղանակները կարող են կիրառվել լազերային փոշենստեցմամբ տարբեր միացությունների մեծաչափ բարակ թաղանթների սինթեզման տեխնոլոգիաներում և օգտագործվել օպտիկական արդյունաբերությունում, միկրոէլեկտրոնիկայում, քվանտային էլեկտրոնիկայի սարքաշինությունում, մասնավորապես ՄՖԴ-ների բազմատարր տվիչների փոշենստեցման համար:

Առաջարկվել է եռաշերտ կառուցվածքով ՋՄՖԴ-ի զգայուն տարր և մշակվել դրա ստեղծման եղանակը: ՋՄՖԴ-ի զգայուն տարրի կլանիչը և ջերմատարր կարող են լինել ծանր մետաղից կամ գերհաղորդից: Վերոնշյալ արդյունքները

զգալիորեն բարելավում են ՋՄՖԴ-ի բնութագրերը և ճանապարհ հարթում դեպի բազմաթիվ կիրառություններ:

Ստացված արդյունքները պաշտպանված են չորս ՀՀ արտոնագրերով:

Պաշտպանության ներկայացված հիմնական դրույթները

1. ՋՄՖԴ-ի հաշվարկի արագությունը, տվիչի վրա առաջացող ջերմաստիճանների տարբերության և էլեկտրական լարման առավելագույն արժեքները, այդ արժեքներին հասնելու ժամանակը, հաշվարկի արագությանը և էներգետիկ լուծաչափը կախված են զգայուն տարրի երկրաչափությունից և կլանիչի, տվիչի ու ջերմատարի նյութից:
2. ՋՄՖԴ-ի զգայուն տարրի եռաշերտ կառուցվածքի համար տվիչի վրա առաջացող ազդանշանը կախված չէ կլանիչում ֆոտոնի կլանման տիրույթից, իսկ ազդանշանի առավելագույն արժեքի կախվածությունը ֆոտոնի էներգիայից գծային է:
3. Լազերային փոշենստեցման եղանակում սեկտորաձև կիզակետի կիրառումը առավելագույնի է հասցնում թիրախի նյութի օգտագործման գործակիցը, իսկ մեկից ավելի թիրախներից փոշենստեցումը մեծացնում է սինթեզվող՝ համասեռ հաստությամբ և բաղադրությամբ թաղանթների չափերը և փոշենստեցման արագությունը:

Աշխատանքի ծավալը

Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, 5 գլուխներից և եզրակացությունից: Ատենախոսության ծավալը կազմում է 123 էջ, որը ներառում է 78 նկար և 25 աղյուսակ: Գրականության ցանկում բերված է 77 հղում:

Աշխատանքի ներկայացումը

Աշխատանքի արդյունքները ներկայացվել են 6th International Symposium “Optics & its Applications” *Տոնտոն, Իտալիա, 2018թ.*, International Conference “Laser Physics” (2018թ., 2017թ., 2015թ., 2013թ., 2012թ., 2011թ.) *Աշտարակ, Հայաստան*, European Conference “SPIE Optics and Optoelectronics” (2017թ., 2015թ., 2013թ.) *Պրահա, Չեխիա*, 3th International Conference on “Sensors and Electronic Instrumentation Advances”, *Մոսկվա, ՌԴ, 2017*, XV Межгосударственная Конференция “Термоэлектрики и их применения - 2016” *Սանկտ Պետերբուրգ, ՌԴ, 2016թ.* (դիպլոմ լավագույն զեկույցի համար), 2nd International Conference on “Sensors and Electronic Instrumental Advances”, *Բարսելոնա, Իսպանիա, 2016*, 4th International Conference “Nanotechnologies” *Nano-2016 Թբիլիսի, Վրաստան, 2016թ.*, 4th International Symposium “Optics & its Applications” *Երևան-Աշտարակ, Հայաստան, 2016թ.*, “OPTO-Meeting for Young Researchers & SPIE/OSA Student Chapter Meeting 2016” *Գրանսկ, Լեհաստան, 2016թ.*, 3rd International Symposium “Optics & its Applications” *Երևան-Աշտարակ, Հայաստան, 2015թ.*, “Single Photon Workshop” 2015 *Ժնև, Շվեյցարիա, 2015թ.*, “Developments in Optics and

Communications” (DOC Riga) *Ռիգա, Լատվիա 2015թ.*, TechConnect World Innovation, Conference & Expo *Վաշինգթոն, ԱՄՆ, 2015թ.*, 2nd International Conference “Nanotechnologies” *Nano-2014 Թբիլիսի, Վրաստան, 2014թ.*, International Conference “IONS Armenia” *Երևան, Հայաստան, 2013թ.*, 1st International Symposium “Optics & its Applications” *Երևան-Աշտարակ, Հայաստան, 2011թ.* գիտաժողովներում: Արդյունքները պարբերաբար քննարկվել են ՖՀԻ-ի սեմինարներին:

Հրատարակությունները

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները հրատարակված են գրքի գլխում, գրախոսվող ամսագրերի 10 հոդվածներում, միջազգային գիտաժողովների ժողովածուների 8 հոդվածներում և 4 արտոնագրերում: Հրատարակված աշխատանքների ցուցակը ներկայացված է սեղմագրի վերջում:

ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ներածությունում հիմնավորված է աշխատանքի արդիականությունը, սահմանված է աշխատանքի նպատակը, ներկայացված են գիտական նորոյթը և կիրառական նշանակությունը, թվարկված են պաշտպանության ենթակա հիմնական դրույթները, բերված են աշխատության կառուցվածքը և ատենախոսության թեմայով հրատարակված աշխատանքների ցանկը:

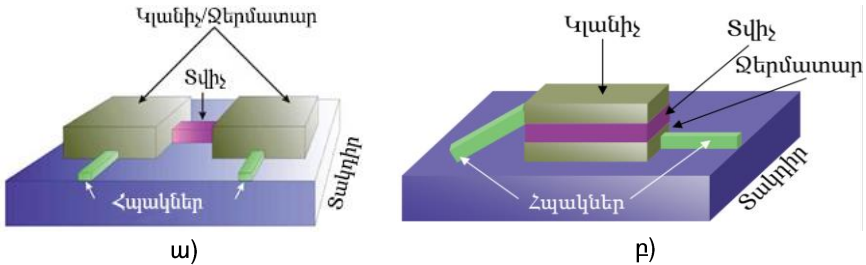
Գլուխ 1-ում ներկայացված է ատենախոսության թեմային վերաբերվող գրականության ակնարկը: Այն կազմված է 7 ենթագլխից և պարունակում է տեղեկություններ միաֆոտոն դետեկտորների տեսակների, բնութագրերի, կիրառությունների, ինչպես նաև մեծաչափ բարակ թաղանթների լազերային փոշենստեցման եղանակների մասին: Հիմնավորված է նաև ատենախոսության թեմայի ընտրությունը:

Գլուխ 2-ում նկարագրված են մետաղների և հեքսաբորիդների բարակ թաղանթների սինթեզման, քիմիական բաղադրության, միկրոկառուցվածքի և ֆիզիկական հատկությունների հետազոտման համար օգտագործված եղանակներն ու սարքավորումները, ՋՄՖԴ-ների զգայուն տարրում ֆոտոնի կլանման հետևանքով տեղի ունեցող ջերմային պրոցեսների համակարգչային մոդելավորման եղանակի մանրամասները, ինչպես նաև բերված են հաշվարկներում կիրառված նյութերի ֆիզիկական բնութագրերը:

Գլուխ 3-ում ներկայացված են CeB_6 , $(La, Ce)B_6$ և $FeSb_2$ ջերմաէլեկտրական տվիչների վրա հիմնված ՋՄՖԴ-ի միաշերտ զգայուն տարրի (Նկար 1ա) համակարգչային մոդելավորման արդյունքները [6, 10, 14, 16-18]: Բոլոր

հաշվարկներում կիրառվել է կլանիչի այնպիսի հաստություն, որը բավարար է տվյալ էներգիայով ֆոտոնը մեկին մոտ հավանականությամբ կլանելու համար:

Այդ հաստությունը որոշվում է Լամբերտ-Բերի օրենքի հիման վրա, օգտագործելով կլանիչի նյութի տվյալ ալիքի երկարության ճառագայթման կլանման գործակիցը:



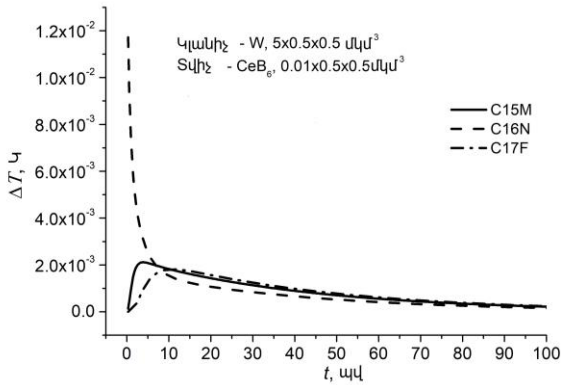
Նկար 1. ՋՄՖԴ-ի զգայուն տարրի միաշերտ (ա) և եռաշերտ (բ) կառուցվածքը [16, 7]:

Ուսումնասիրվել են 1 էՎ-ից 1 կէՎ էներգիայով ֆոտոնների կլանման հետևանքով W կլանիչով և CeB_6 տվիչով ՋՄՖԴ-ի տարբեր երկրաչափությամբ զգայուն տարրում տեղի ունեցող ջերմային պրոցեսները: Հիմնականում հետազոտվել է կլանիչ-տվիչ և տվիչ-ջերմատար սահմանների միջև $\Delta T(t)$ կախվածությունը սկսած ֆոտոնի կլանման պահից: Հաշվարկների արդյունքում գնահատվել են զգայուն տարրի հետևյալ բնութագրերը՝ ջերմաէլեկտրական տվիչի վրա առաջացող ջերմաստիճանների տարբերության առավելագույն արժեքը (ΔT_m), զգայուն տարրի վրա գեներացված առավելագույն լարումը (V_m), ազդանշանի՝ առավելագույն արժեքին հասնելու ժամանակը (t_m), ազդանշանի՝ մինչև ֆոնային արժեք նվազելու ժամանակը (t_n), դրա հակադարձ մեծությունը՝ հաշվարկի արագությունը (R): Ստորև բերված են ստացված արդյունքներից մի քանիսը:

ՋՄՖԴ-ի զգայուն տարրի ազդանշանը կախված է ֆոտոնի էներգիայից, կիրարկող ջերմաէլեկտրական տվիչի նյութի Ջեներելի գործակցից, տվիչի և կլանիչի չափերից, օգտագործված նյութերի տեսակարար ջերմունակությունից և ջերմահաղորդականության գործակցից, զգայուն տարրի աշխատանքային ջերմաստիճանից:

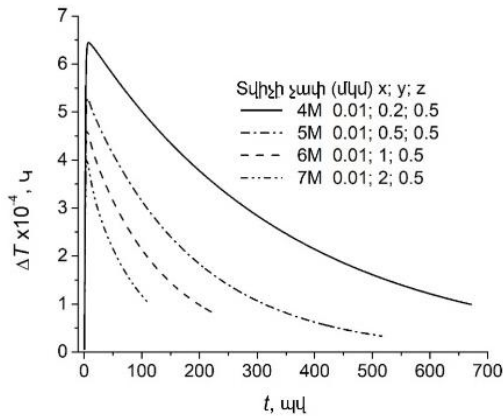
Կլանիչում ֆոտոնի կլանման տիրույթից կախված փոխվում է ΔT_m -ի արժեքը և այդ արժեքին հասնելու ժամանակը: Դիտարկվել են W կլանիչի կենտրոնում, կլանիչ-տվիչ սահմանին մոտ և այդ սահմանից հնարավորինս հեռու 100 էՎ ֆոտոնների կլանման դեպքում (համապատասխանաբար C15M, C16N և C17F հաշվարկներ): Նույն էներգիայով ֆոտոնների համար $\Delta T(t)$ կորերի սկզբնամասերը զգալիորեն տարբերվում են (Նկար 2), սակայն դա չի խոչընդոտում գնահատել ֆոտոնի էներգիայի արժեքը, քանի որ որոշ ժամանակ

անց կորերը համընկնում են: Ֆոտոնի էներգիան կարելի է որոշել ինտեգրելով $\Delta T(t)$ կախվածությունը:



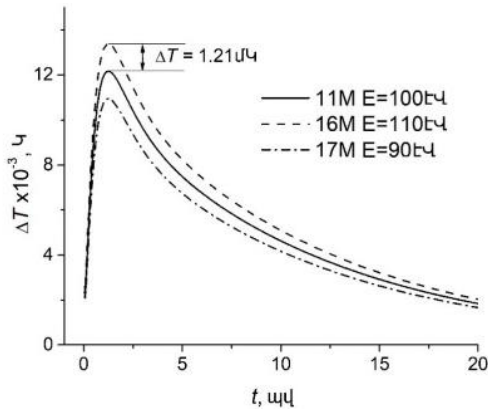
Նկար 2. $\Delta T(t)$ կախվածությունը կլանիչում ֆոտոնի կլանման դիրքից [18]:

$\Delta T(t)$ կախվածության կորերը (La, Ce)B₆ տվիչի տարբեր չափերի համար բերված են Նկար 3-ում: 0.2-2 մկմ տիրույթում, տվիչի լայնության մեծացմանը զուգընթաց, ΔT_m -ը և τ -ն նվազում են, իսկ R -ը՝ մեծանում:



Նկար 3. $\Delta T(t)$ կախվածությունը (La, Ce)B₆ տվիչի տարբեր լայնությունների դեպքում, ֆոտոնի էներգիան 100 էՎ, W կլանիչի չափերը $10 \times 10 \times 0.5$ մկմ³ [17]:

Դիտարկվել են 100 էՎ, 110 էՎ և 90 էՎ էներգիայով ֆոտոնների կլանման հետևանքով առաջացող ջերմային պրոցեսները W կլանիչի $5 \times 0.5 \times 0.5$ մկմ³, (La, Ce)B₆ տվիչի $0.01 \times 0.1 \times 0.5$ մկմ³ չափերի համար (Նկար 4):

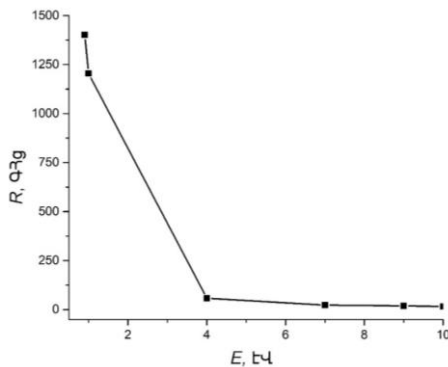


Նկար 4. $\Delta T(t)$ կախվածությունը 100 ± 10 էՎ ֆոտոնների կլանման դեպքում [17]:

Ֆոտոնի էներգիայի 10% տարբերությունը առաջացնում է ΔT_m -ի 1.21 մՎ տարբերություն, որը (La, Ce)B₆ -ի 85 մկՎ/Կ Ջեյմսի գործակցի պարագայում համապատասխանում է 102 նՎ լարման տարբերությանը: Չափելով 10 նՎ լարման տարբերություն՝ կապահովենք 1% էներգիայի լուծաչափ:

Առավել մեծ ազդանշան ստանալու ակնկալիքով որպես ջերմաէլեկտրական տվիչ է դիտարկվել FeSb₂-ը, որը 9 Կ-ում ունի -42000 մկՎ/Կ Ջեյմսի գործակից: Ուսումնասիրվել է ΔT_m -ի և R-ի կախվածությունը FeSb₂ տվիչի երկարությունից 100 էՎ ֆոտոնների համար: Տվիչի երկարության աճին զուգընթաց (մինչև 5 մկմ) ΔT_m -ի արժեքը աճում է մինչև 0.56 մՎ ($V_m=23.35$ մկՎ): V_m -ի այդպիսի արժեքը ապահովում է 0.1 էՎ էներգետիկ լուծաչափ:

Ինչպես երևում է Նկար 5-ից, 0.9-10 էՎ տիրույթում, ֆոտոնի էներգիայի (E) նվազմանը զուգընթաց, մեծանում է դետեկտորի հաշվարկի արագությունը հասնելով 1402 ԳՀց-ի:

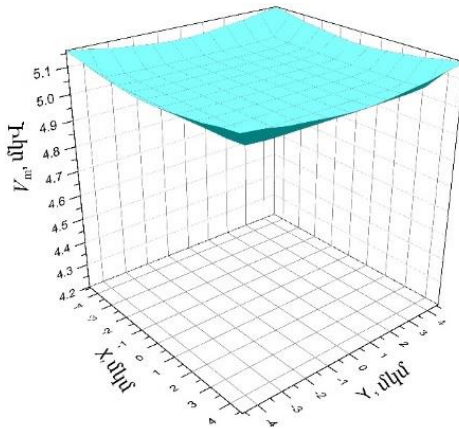


Նկար 5. $R(E)$ կախվածությունը W կլանիչի $0.5 \times 5 \times 0.1$ մկմ³ և FeSb₂ տվիչի $5 \times 0.5 \times 0.1$ մկմ³ չափերի համար [6]:

Ամփոփելով արդյունքները կարելի է պնդել, որ ՋՄՖԴ-ի միաշերտ զգայուն տարրն ունի պարզ կառուցվածք, բարձր բնութագրեր և կարող է մրցակցել ժամանակակից լավագույն գերհաղորդիչ ՄՖԴ-ների հետ:

Գլուխ 4-ում ընդգրկված են համակարգչային մոդելավորման եղանակով W, Pb, Nb, YBCuO կլանիչների և CeB₆, (La,Ce)B₆ և FeSb₂ տվիչների վրա հիմնված ՋՄՖԴ-ի եռաշերտ զգայուն տարրի հատկությունների ուսումնասիրության արդյունքները [2, 4, 7-9, 12, 13, 15, 16, 22, 23]: Եռաշերտ զգայուն տարրի կառուցվածքը պատկերված է Նկար 1թ-ում:

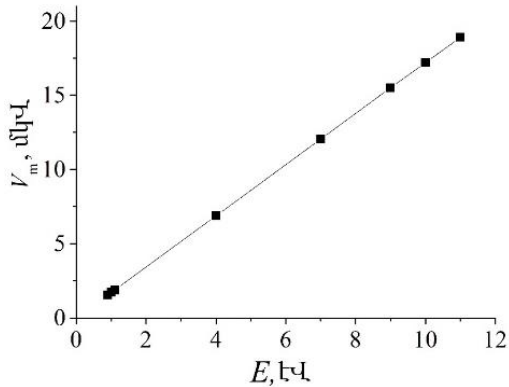
Հետագոտելով կլանիչի տարբեր տիրույթներում ֆոտոնների կլանումը՝ եզրակացնում ենք, որ ΔT_m և V_m բնութագրերի փոփոխություն է գրանցվում միայն կլանիչի եզրերին ֆոտոնի կլանման դեպքում (Նկար 6):



Նկար 6. W/CeB₆/W եռաշերտ զգայուն տարրի ազդանշանի կախվածությունը կլանիչում 100 էՎ էներգիայով ֆոտոնների կլանման տիրույթից [16]:

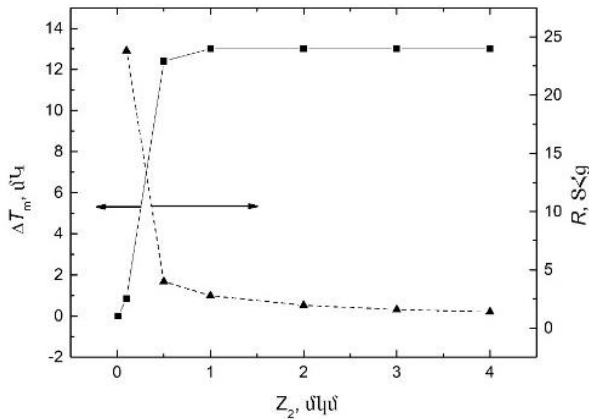
Դիմակի կիրառմամբ սահմանափակելով ֆոտոնների կլանման հնարավորությունը եզրերում՝ կլուծենք գեներացվող ազդանշանի կախվածության խնդիրը ֆոտոնի կլանման տիրույթից:

V_m -ի կախվածությունը կլանված ֆոտոնի էներգիայից գծային է (Նկար 7): Սա շատ կարևոր արդյունք է, քանի որ հնարավորություն է ընձեռում փորձի ժամանակ, չափելով գեներացված լարման առավելագույն արժեքը, միարժեքորեն որոշել կլանված ֆոտոնի էներգիան:



Նկար 7. V_m -ի կախվածությունը ֆոտոնի էներգիայից W/CeB₆/W զգայուն տարրում [4]:

Ջերմաէլեկտրական տվիչի վրա առաջացող ջերմաստիճանների տարբերության և հաշվարկի արագության կախվածությունը FeSb₂ տվիչի հաստությունից 100 էՎ էներգիայով ֆոտոնների կլանման դեպքում բերված է Նկար 8-ում:



Նկար 8. ΔT_m և R բնութագրերի կախվածությունը FeSb₂ տվիչի Z_2 հաստությունից [13]:

Ինչպես երևում է գրաֆիկներից, տվիչի հաստության նվազմանը զուգընթաց հաշվարկի արագությունը աճում է և $Z_2=0.1$ մկմ դեպքում հասնում 23.8 ՏՀց-ի, սակայն ΔT_m -ը նվազում է մինչև 8.49×10^{-4} Կ՝ մնալով ֆոնային արժեքից բարձր:

Աղյուսակ 1-ում բերված են ՋՄՖԴ-ի W/CeB₆/W և W/FeSb₂/W զգայուն տարրերում 1-1000 էՎ էներգիայով ֆոտոնների կլանման հետևանքով առաջացող ջերմային պրոցեսների համակարգչային մոդելավորման արդյունքում ստացված հիմնական բնութագրերը: Տվյալների համեմատությունից պարզ է դառնում, որ FeSb₂ տվիչի վրա գեներացված լարումը և հաշվարկի արագությունը գերազանցում են CeB₆ տվիչի համապատասխան բնութագրերին:

Աղյուսակ 1. CeB₆ և FeSb₂ տվիչներով դետեկտորների բնութագրերը

E, էՎ	ΔT _m , մԿ		V _m , մկՎ		R, ԳՀց	
	CeB ₆	FeSb ₂	CeB ₆	FeSb ₂	CeB ₆	FeSb ₂
1000	5.64	51.6	0.846	2167	208	1075
100	33.71	13	5.056	546	337	2778
10	114.7	102	17.2	4284	758	4545
1	11.5	10.2	1.725	428	3300	9259

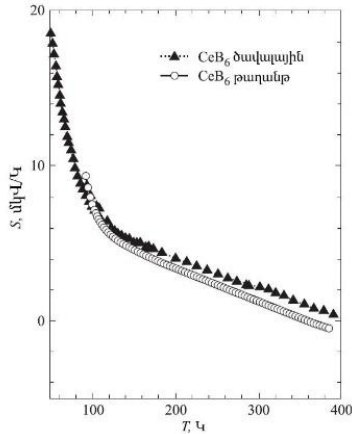
W/(La,Ce)B₆/W զգայուն տարրի ջերմատարի հաստության 1–5 մկմ տիրույթում փոփոխության արդյունքում ΔT_m-ը չի փոփոխվում, սակայն R-ը նվազում է մոտ երկու անգամ՝ մնալով տերահերցերի կարգի: Տվիչի էներգետիկ լուծաչափը գնահատելու համար դիտարկվել է 9 էՎ, 10 էՎ և 11 էՎ էներգիայով ֆոտոնների կլանումը: Ֆոտոնի էներգիայի 1 էՎ-ով փոփոխվելը հանգեցնում է ջերմաէլեկտրական տվիչի վրա առաջացող լարման 8.024 մկՎ տարբերության, որից նույնիսկ 10 անգամ փոքր ազդանշանը դժվար չէ չափել: Կարող ենք ասել, որ ՋՄՖԴ-ի W/(La,Ce)B₆/W եռաշերտ զգայուն տարրը 10 էՎ էներգիայով ֆոտոնների գրանցման համար կարող է ապահովել 0.1 էՎ զգայունություն:

Ուսումնասիրվել է գերհաղորդիչ կլանիչով և ջերմատարով Nb/(La,Ce)B₆/Nb եռաշերտ զգայուն տարրով ՋՄՖԴ-ի բնութագրերի կախվածությունը կլանիչի, տվիչի և ջերմատարի հաստությունից: Արդյունքներից պարզ է դառնում, որ 100 էՎ էներգիայով ֆոտոնների կլանման դեպքում, ջերմաէլեկտրական տվիչի հաստության նվազմանը զուգընթաց, հաշվարկի արագությունը աճում է և 0.01 մկմ հաստության պարագայում հասնում 222.2 ԳՀց-ի, իսկ գեներացվող լարումը 1.878 մկՎ-ից նվազում է 0.273 մկՎ: Գերհաղորդիչների կիրառումը դետեկտորի եռաշերտ զգայուն տարրում հնարավորություն է ընձեռում զգալիորեն նվազեցնել ջերմաէլեկտրական տվիչի հաստությունը և ապահովել ՋՄՖԴ-ի ռեկորդային բնութագրեր:

Ստացված արդյունքներից հետևում է, որ ՋՄՖԴ-ի եռաշերտ զգայուն տարրն ունի մի շարք առավելություններ միաշերտի նկատմամբ, ունակ է առաջարկել միաֆոտոն դետեկտման խնդիրների ավելի պարզ լուծումներ և մրցակցել ամենաբարձր հասկանիչներով օժտված միաֆոտոն դետեկտորների հետ:

Գլուխ 5-ում ներկայացված են ՋՄՖԴ-ի զգայուն տարրի կառուցվածքում կիրառվող բարակ թաղանթների ստացման առանձնահատկությունները,

թաղանթների քիմիական բաղադրության, միկրոկառուցվածքի և ֆիզիկական հատկությունների ուսումնասիրման տվյալները, դետեկտորների բազմատարր տվիչի համար անհրաժեշտ մեծաչափ թաղանթների լազերային փոշենստեցման որոշ խնդիրների լուծումները [1, 3, 5, 11, 19-21]: Էլեկտրոնաճառագայթային եղանակով CeB_6 թաղանթները փոշենստեցվել են դիէլեկտրիկ (Al_2O_3 , AlN), կիսահաղորդիչ (Si) և մետաղական (Mo , W) տակդիրների վրա: Օգտագործվել են հիմնական նյութի 99.99% պարունակությամբ բազմաբյուրեղային թիրախներ: Ստացվել են CeB_6 թաղանթներ, որոնց Ջեյքեյի գործակիցը ցածր ջերմաստիճաններում չի զիջում ծավալային նմուշներին (Նկար 9): Սա կարևոր արդյունք է, քանի որ այդպիսի ֆիզիկական բնութագրերով CeB_6 բարակ թաղանթները կարող են կիրառվել ՋՄՖԴ-ի տարբեր կառուցվածքներով զգայուն տարրի նախատիպերի ստեղծման համար:

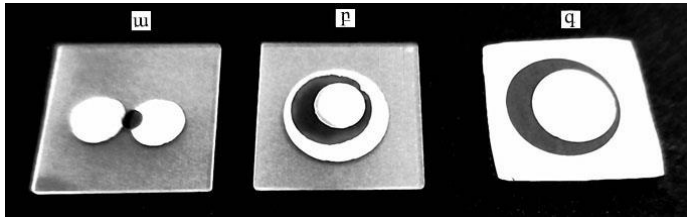


Նկար 9. Al_2O_3 տակդիրի վրա փոշենստեցրած CeB_6 թաղանթի և ծավալային նմուշի Ջեյքեյի գործակիցների ջերմաստիճանային կախվածությունը [5]:

W թաղանթների փոշենստեցման համար կիրառվել են թիթեղներից բաղկացած թիրախներ և որոշվել են ցածր դիմադրությամբ թաղանթների փոշենստեցման պայմանները՝ տակդիրի 550 μ ջերմաստիճան, 300 մԱ էմիսիայի հոսանք, 15.6 նմ/րոպե փոշենստեցման արագություն: Էլեկտրոնային տեսածրող մանրադիտակով ուսումնասիրության արդյունքում պարզվել է, որ թաղանթներն ունեն հատկավոր կառուցվածք: Հատիկների չափը միջինում 200 նմ է:

ՋՄՖԴ-ի զգայուն տարրի նախատիպեր ստանալու համար հաջորդաբար փոշենստեցվել են W և CeB_6 թաղանթներ (Նկար 10): Հետազոտությունները ցույց են տվել, որ այդ հետերոկառուցվածքները կազմող թաղանթների ֆիզիկական հատկությունները չեն տարբերվում նյութերի առանձին փոշենստեցման արդյունքում ստացված թաղանթների հատկություններից: Օպտիկական սպեկտրերի ուսումնասիրությունը ցույց է տվել, որ W թաղանթը ունի բարձր անդրադարձման գործակից ինֆրակարմիրից մինչև մոտ ուլտրամանուշակագույն

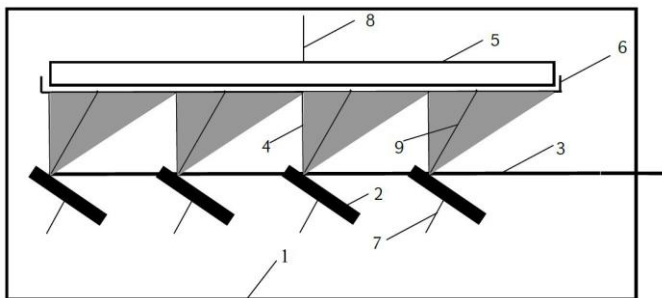
տիրույթում, ուստի W կլանիչը կարող է ապահովել դետեկտման բարձր արդյունավետություն, ինչը կարևոր է ՄՖԴ-ի կիրառման որոշ խնդիրներում կոշտ ուկտրամանուշակագույն և ռենտգենյան տիրույթի ֆոտոնների համար:



Նկար 10. ՋՄՖԴ-ի գզայուն տարրի երեք կառուցվածքներ. ա-միաշերտ, բ-եռաշերտ, գ-երկշերտ [3]: Տակդիրի չափը 10×10 մմ²:

Լազերային փոշենստեցման եղանակով մեծաչափ բարակ թաղանթների սինթեզման, ինչպես նաև նորագույն տեխնոլոգիաներում լազերային փոշենստեցման եղանակի լայնորեն կիրառման համար ցանկալի է լուծել թիրախի արդյունավետ օգտագործման խնդիրը: Խնդրի լուծումն է լազերային ճառագայթի սեկտորաձև տեսքի կիզակետի օգտագործումը:

Լազերային փոշենստեցման ընթացքում հնարավոր է փոշենստեցման արագությունը և թաղանթի մակերեսը մեծացնել՝ օգտագործելով մեկից ավել թիրախներ, իսկ թաղանթի հաստության և բաղադրության համասեռությունը հնարավոր է ապահովել հատուկ դիմակի միջոցով: Նկար 11-ում պատկերված են վակուումային խցիկը (1), պտտվող թիրախները (2), լազերային ճառագայթները (3), յուրաքանչյուր թիրախի վրա լազերային ճառագայթի ազդեցության հետևանքով առաջացած պլազմային ջահը (4), տակդիրը (5), դիմակը (6), թիրախի պտտման առանցքը (7), տակդիրի պտտման առանցքը (8), պլազմային ջահի առանցքը (9): Դիմակի սեկտորաձև ճեղքերն պետք է ունենան այնպիսի կորություն, որ սեկտորի միջին գիծը համընկնի անշարժ տակդիրի վրա փոշենստեցված թաղանթի միևնույն հաստության կորի հետ:



Նկար 11. ԻԼՓ բազմաթիրախ համակարգի գծապատկեր [1]:

Ստացված արդյունքները հիմք են հանդիսանում ՋՄՖԴ-ի զգայուն տարրի և բազմատարր տվիչի ստեղծման համար:

ԱՄՓՈՓՈՒՄ

Ներկայացված ատենախոսական աշխատանքում ուսումնասիրվել է բարձր բնութագրերով ՋՄՖԴ-ի զգայուն տարրի ստեղծման հնարավորությունը ինֆրակարմիրից մինչև ռենտգենյան ալիքի երկարության ֆոտոնների գրանցման և դրանց էներգիան որոշելու համար: Ատենախոսության հիմնական արդյուքներն են.

1. Հաշվարկվել են ՋՄՖԴ-ի բնութագրերը միաշերտ զգայուն տարրում 1 էՎ – 1 կէՎ էներգիայով ֆոտոնների կլանման հետևանքով տեղի ունեցող ջերմային պրոցեսների հետազոտման հիման վրա: Ցույց է տրվել, որ կլանիչում ֆոտոնի կլանման տիրույթից կախված փոխվում է տվիչի եզրերին առաջացած ջերմաստիճանների տարբերության ժամանակային կախվածության տեսքը, առաջացած ջերմաստիճանների տարբերության առավելագույն արժեքը և այդ արժեքին հասնելու ժամանակը:
2. Բացահայտվել է, թե ինչպես են ՋՄՖԴ-ի միաշերտ զգայուն տարրի հիմնական բնութագրերը՝ հաշվարկի արագությունը և տվիչի վրա առաջացող լարման առավելագույն արժեքը, կախված զգայուն տարրի երկրաչափությունից ու օգտագործված նյութերից:
3. Ցույց է տրվել, որ W կլանիչով, (La,Ce)B₆ կամ CeB₆ տվիչով միաշերտ զգայուն տարրը, 0.5Կ և 9Կ աշխատանքային ջերմաստիճաններում համապատասխանաբար, ունակ է գրանցել ինֆրակարմիրից մինչև ռենտգենյան տիրույթի ֆոտոններ, ապահովել գիգահերցերի հասնող հաշվարկի արագություն, տասնյակ միկրովոլտերի մեծության ազդանշան և 1%-ից ոչ պակաս էներգետիկ լուծաչափ:
4. Բացահայտվել է, որ նույն 9Կ աշխատանքային ջերմաստիճանում FeSb₂ տվիչով միաշերտ զգայուն տարրի R և V_m բնութագրերն ավելի բարձր են CeB₆ տվիչով զգայուն տարրի բնութագրերի համեմատ:
5. 1 էՎ – 1 կէՎ էներգիայով ֆոտոնների կլանման արդյունքում առաջացող ջերմային պրոցեսների հետազոտման հիման վրա հաշվարկվել են ՋՄՖԴ-ի եռաշերտ զգայուն տարրի բնութագրերը: Ցույց է տրվել, որ զգայուն տարրի միևնույն երկրաչափության համար ΔT_m և V_m բնութագրերի փոփոխություն գրանցվում է միայն կլանիչի եզրերին ֆոտոնի կլանման դեպքում:
6. Բացահայտվել է, որ եռաշերտ զգայուն տարրի ΔT_m և V_m բնութագրերի կախվածությունը ֆոտոնի էներգիայից գծային է, ինչը հնարավորություն է ընձեռում, չափելով տվիչի վրա առաջացած լարման առավելագույն արժեքը, միարժեքորեն որոշել ֆոտոնի էներգիան:
7. Որոշվել է, որ եռաշերտ զգայուն տարրի կլանիչի մակերեսի՝ որոշակի սահմաններում մեծացումը բերում է դետեկտորի հաշվարկի արագության աճին, մինչ դեռ տվիչի վրա գեներացված լարման փոփոխություն չի գրանցվում:

8. Ցույց է տրվել, որ եռաշերտ զգայուն տարրի (La, Ce)B₆, CeB₆ և FeSb₂ տվիչների հաստության նվազեցումը 1 մկմ-ից 0.01 մկմ հանգեցնում է հաշվարկի արագության կտրուկ աճի:
9. Գերհաղորդիչ Nb, Pb և YBCO կլանիչներով զգայուն տարրի տվիչի հաստությունը հնարավոր է նվազեցնել առանց ազդանշանի գրանցման համար խոչընդոտներ առաջացնելու:
10. Հիմնավորվել է, որ ԶՄՖԴ-ի եռաշերտ զգայուն տարրը կարող է ապահովել միկրովոլտերի հասնող ազդանշան և տերահերցերի հասնող հաշվարկի արագություն ինֆրակարմիրից մինչև ռենտգեյան տիրույթի ֆոտոնների գրանցման համար:
11. Կատարվել է ԶՄՖԴ-ի զգայուն տարրի կառուցվածքում կիրառվող բարակ թաղանթների ֆիզիկական հատկությունների և փոշենստեցման պայմանների փոխկապակցվածության հետազոտում, ինչը թույլ է տվել սինթեզել այնպիսի CeB₆ թաղանթներ, որոնց Չեբեկի գործակիցը ցածր ջերմաստիճաններում չի զիջում ծավալային նմուշներին:
12. Որոշվել է, որ էլեկտրոնաճառագայթային եղանակով W թաղանթների փոշենստեցման համար նպատակահարմար է օգտագործել բարակ թիթեղներից կազմված թիրախներ:
13. Ցույց է տրվել, որ W և CeB₆ թաղանթների փոշենստեցման օպտիմալ պայմանները կարող են կիրառվել տարբեր կոնֆիգուրացիաներով W/CeB₆/W հետերոկառուցվածքներ ստանալու համար:
14. Բացահայտվել է, որ երբ լազերային փնջի կիզակետը սեկտորաձև է և համընկնում է թիրախի մակերեսի սեկտորի հետ, փոշենստեցման պրոցեսի ընթացքում թիրախի նյութը հավասարաչափ է գոլորշանում թիրախի ամբողջ մակերևույթից, ինչը հնարավոր է դարձնում փոշենստեցման համար օգտագործել թիրախի ամբողջ ծավալը:
15. Առաջարկվել է համատեռ հաստությամբ և բաղադրությամբ մեծաչափ բարակ թաղանթների լազերային փոշենստեցման եղանակ, որը հնարավոր է դարձնում, կիրառելով մեկից ավել թիրախներ և ճեղքերի որոշակի կոնֆիգուրացիայով դիմակ, մեծացնել առաջընթաց շարժվող ժապավենի վրա փոշենստեցվող թաղանթի լայնքը և պտտվող տակդիրի վրա փոշենստեցվող թաղանթի տրամագիծը:

Հրատարակված աշխատանքների ցուցակ

1. A.S. Kuzanyan, A.A. Kuzanyan, “Pulsed Laser Deposition of Large-Area Thin Films and Coatings” Chapter 7 in Applications of Laser Ablation - Thin Film Deposition, Nanomaterial Synthesis and Surface Modification Edited by Dongfang Yang, INTECH Publisher, ISBN: 978-953-51-2812-0, pp. 149-173, (2016).
2. A.A. Kuzanyan, V.R. Nikoghosyan, A.S. Kuzanyan, “Simulation of Heat Propagation Processes in the Detection Pixel with Superconducting Layers of Single-Photon Thermoelectric Detector” Journal of Contemporary Physics (Armenian Academy of Sciences), 53(1), pp. 96–110, (2018).
3. S.I. Petrosyan, A.A. Kuzanyan, G.R. Badalyan, A.S. Kuzanyan, “Preparation and Investigation of the Properties of W/CeB₆/W Heterostructure as a Sensitive Element of Single-Photon Thermoelectric Detector” Journal of Contemporary Physics (Armenian Academy of Sciences), 53(2), pp. 208–218, (2018).
4. A.S. Kuzanyan, A.A. Kuzanyan, V.R. Nikoghosyan, V.N. Gurin, M.P. Volkov, “Prospects of Using Rare-Earth Hexaborides in Thermoelectric Single-Photon Detectors” ISSN 1063-7826, Semiconductors, 51(7), pp. 870–873 (2017).
5. A.A. Kuzanyan, A.S. Kuzanyan, G.R. Badalyan, S.I. Petrosyan, V.O. Vardanyan, V.N. Gurin, M.P. Volkov, S.Kh. Pilosyan, “CeB₆ Thin Films Synthesis by e-beam Deposition” ISSN 1063-7826, Semiconductors, 51(8), pp. 999–1001, (2017).
6. A.A. Kuzanyan, V.R. Nikoghosyan, A.S. Kuzanyan, “Investigation of the Processes of Heat Propagation in W/FeSb₂/W Detection Pixel of the Single Photon Thermoelectric Detector” Journal of Contemporary Physics (Armenian Academy of Sciences), 52(3), pp. 249–257, (2017).
7. A.A. Kuzanyan, A.S. Kuzanyan, V.R. Nikoghosyan, V.N. Gurin, M.P. Volkov, “Investigation of Processes of Heat Propagation in Multilayer Sensor of Thermoelectric Single-photon Detector” Journal of Contemporary Physics (Armenian Academy of Sciences), 51(2), pp. 181-190 (2016).
8. A.A. Kuzanyan, “Computer Simulation of Heat Distribution Processes in W/(La,Ce)B₆/W Sensor of Thermoelectric Detector” ISSN 1068–3372, Journal of Contemporary Physics (Armenian Academy of Sciences), 51(4), pp. 360-370, (2016).
9. A.A. Kuzanyan, A.S. Kuzanyan, V.R. Nikoghosyan, “Ultra-fast Sensor for Single-Photon Detection in a Wide Range of the Electromagnetic Spectrum” Sensors & Transducers, 207(12), pp. 21-29, (2016).
10. A.S. Kuzanyan, V.R. Nikoghosyan, A.A. Kuzanyan, “CeB₆ Sensor for Thermoelectric Single-photon Detector” Sensors & Transducers, 191(8), pp. 57-62, (2015).
11. A.S. Kuzanyan, A.A. Kuzanyan, V.A. Petrosyan, S.Kh. Pilosyan, A.Z. Grasiuk, “A Simple Solution to the Problem of Effective Utilization of the Target Material for Pulsed Laser Deposition of Thin Films”, Quantum Electronics 43 (12), pp. 1170-1174, (2013).
12. A.S. Kuzanyan, V.R. Nikoghosyan, A.A. Kuzanyan, “An Ultrafast Thermoelectric Sensor for Single-photon Detection in a Wide Range of the Electromagnetic

- Spectrum” Proc. of SPIE, 10229, 102290P, (2017).
13. A.A. Kuzanyan, V.R. Nikoghosyan, A.S. Kuzanyan, “Strongly Correlated Semiconductor FeSb₂ as a Sensor of Single-Photon Thermoelectric Detector”, 3rd International Conference on Sensors Engineering and Electronics Instrumental Advances Proceedings book pp. 163-168, (2017).
 14. A.A. Kuzanyan, A.S. Kuzanyan, V.R. Nikoghosyan, “Ultrafast TSPD on the Basis of CeB₆ Sensor” Journal of Physics: Conference Series, 673, 012007, (2016).
 15. A.A. Kuzanyan, V.R. Nikoghosyan, A.S. Kuzanyan “Thermoelectric X-ray Detector”, Nano Studies, 14, pp. 203-210, (2016).
 16. A.S. Kuzanyan, A.A. Kuzanyan, V.R. Nikoghosyan, “Thermoelectric Sensor for Single-photon Detection from Infrared to Hard Ultraviolet”, Nano Studies, 13, pp. 175-190, (2016).
 17. A.S. Kuzanyan, V.R. Nikoghosyan, A.A. Kuzanyan, “Modeling of Kinetic Processes in Thermoelectric Single Photon Detectors”, Proc. of SPIE, 9504, 950400, (2015).
 18. A.A. Kuzanyan, “Nanosensor for Thermoelectric Single-photon Detector” Nano Studies, 9, 93-102, (2014).
 19. A.A. Kuzanyan, V.A. Petrosyan, A.S. Kuzanyan, “Methods for Pulsed Laser Deposition of Large-area Films Using More than One Target”, International Journal of Modern Physics: Conference Series, 15, pp. 170-178, (2012).
 20. Արմեն Կուզանյան, Վահագն Պետրոսյան, Աստղիկ Կուզանյան, «Բարակ թաղանթների ստացման սարք», ՀՀ արտոնագիր No. 2531, (2011):
 21. Արմեն Կուզանյան, Աստղիկ Կուզանյան, Վահագն Պետրոսյան, «Բարակ թաղանթների ստացման համակարգ» ՀՀ արտոնագիր No. 2737, (2013):
 22. Արմեն Կուզանյան, Աստղիկ Կուզանյան, Վահան Նիկողոսյան, «Ջերմաէլեկտրական դետեկտորի բազմաշերտ սվիչ» ՀՀ արտոնագիր No. 2946, (2015):
 23. Արմեն Կուզանյան, Աստղիկ Կուզանյան, Վահան Նիկողոսյան, «Ջերմաէլեկտրական դետեկտորի բազմաշերտ սվիչ» ՀՀ արտոնագիր No. 3043, (2016):

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Астхик Арменовна Кузаян

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОДНОФОТОННОГО ДЕТЕКТОРА

В представленной диссертационной работе изучена возможность создания чувствительного элемента термоэлектрического однофотонного детектора (ТОФД) с высокими характеристиками для регистрации фотонов и определения их энергии в области длин волн от инфракрасного до рентгеновского диапазона. Диссертация состоит из введения, 5 глав и заключения. Объем диссертации - 123 страниц, включая 78 рисунков и 25 таблиц. Список литературы содержит 77 ссылок. Результаты диссертации опубликованы в главе книги, 10 статьях в реферируемых журналах, 8 статьях в трудах международных конференций и 4 патентах. Получены следующие основные результаты диссертации.

1. Рассчитаны характеристики ТОФД на основе исследования процессов теплопереноса, возникающих в результате поглощения фотонов с энергией 1 эВ – 1 кэВ в однослойном чувствительном элементе. Показано, что в зависимости от области поглощения фотона в поглотителе меняются форма временной зависимости разности температур на краях сенсора, возникающая на краях сенсора максимальная разность температур (ΔT_m) и время достижения этого значения.
2. Установлено каким образом основные характеристики однослойного чувствительного элемента ТОФД - скорость счета (R) и максимальное значение напряжения на сенсоре (V_m), зависят от геометрии чувствительного элемента и использованных материалов.
3. Показано, что однослойный чувствительный элемент с W поглотителем, $(La, Ce)B_6$ или CeB_6 сенсором, при температуре 0,5 К и 9 К, соответственно, способен регистрировать фотоны от ИК до рентгеновского диапазона, обеспечивая гигагерцовую скорость счета, сигнал, достигающий десятков микровольт, и энергетическое разрешение не менее 1%.
4. Обнаружено, что параметры R и V_m однослойного чувствительного элемента с $FeSb_2$ сенсором выше по сравнению с параметрами чувствительного элемента с CeB_6 сенсором при той же рабочей температуре 9 К.
5. Характеристики трехслойного чувствительного элемента ТОФД рассчитаны на основе исследования процессов теплопереноса, возникающих в результате поглощения фотонов с энергией 1 эВ – 1 кэВ. Показано, что изменение параметров ΔT_m и V_m для одной и той же геометрии чувствительного элемента наблюдаются только в случае поглощения фотона на краях поглотителя.

6. Обнаружена линейная зависимость параметров ΔT_m и V_m трехслойного чувствительного элемента от энергии фотонов, что позволяет однозначно определить энергию фотона путем измерения создаваемого на сенсоре максимального напряжения.
7. Установлено, что увеличение поглощающей поверхности трехслойного чувствительного элемента в некотором интервале приводит к увеличению скорости счета детектора, однако генерируемое на датчике напряжение не изменяется.
8. Показано, что в трехслойном чувствительном элементе уменьшение толщины $\text{La}_{0.99}\text{Ce}_{0.01}\text{B}_6$, CeB_6 и FeSb_2 сенсоров от 1 до 0.01 мкм приводит к резкому увеличению скорости счета.
9. Толщину сенсора чувствительного элемента с Nb, Pb и YBCO сверхпроводящими поглотителями можно уменьшить без возникновения каких-либо трудностей для регистрации сигнала.
10. Показано, что трехслойный чувствительный элемент ТОФД может обеспечить достигающий микровольтов сигнал и терагерцовую скорость счета при регистрации фотонов в области от ИК до рентгена.
11. Исследована взаимосвязь между физическими свойствами и условиями напыления тонких пленок, которые использовались в конструкции чувствительного элемента ТОФД, что позволило получить пленки CeB_6 с коэффициентом Зеебека не уступающим объемным образцам при низких температурах.
12. Установлено, что для напыления электронно-лучевым методом пленок W целесообразно использовать мишень из тонких пластин вольфрама.
13. Показано, что оптимальные условия напыления пленок W и CeB_6 могут быть использованы для получения гетероструктур W/ CeB_6 /W различной конфигурации.
14. Обнаружено, что если фокальное пятно лазерного пучка имеет форму сектора и совпадает с сектором поверхности мишени, то во время процесса лазерного напыления материал мишени равномерно испаряется со всей поверхности мишени, что позволяет использовать весь объем мишени для напыления.
15. Предложен метод лазерного напыления однородных по толщине и составу большеразмерных пленок с использованием более чем одной мишени и маски со щелями определенной конфигурации, который позволяет увеличить ширину пленки, напыляемой надвигающуюся поступательно ленту, и диаметр пленки при напылении на вращающуюся подложку.

SUMMARY

Astghik Armen Kuzanyan

DEVELOPMENT OF THE THERMOELECTRIC SINGLE-PHOTON DETECTOR'S DETECTION PIXEL MODEL

The possibilities of creating a detection pixel of thermoelectric single-photon detector (TSPD) that provides high characteristics for photons' registration and photons' energy determination from IR to X-ray range is studied in this thesis. The thesis consists of an introduction, 5 chapters and conclusion. The volume of the thesis is 123 pages including 78 figures and 25 tables. The list of references contains 77 references. The results of the thesis are published in a book chapter, 10 articles in refereed journals, 8 articles in the proceedings of international conferences and 4 patents. The main results of the dissertation are presented below.

1. The characteristics of TSPD have been calculated on the basis of the study of heat distribution processes after 1 eV - 1 keV energy photons' absorption in the single-layer detection pixel. It has been shown that the form of time dependence of temperature difference on the edges of the sensor, the appearing maximum temperature difference (ΔT_m) and the time to reach this value are changing depending on the photon's absorption area in the absorber.
2. It has been revealed that the main characteristics of the single-layer TSPD detection pixel, the count rate (R) and the maximum value of voltage (V_m) appearing on the sensor are depending on the geometry of detection pixel and the material used.
3. It has been shown that the single-layer detection pixel with W absorber, $\text{La}_{0.99}\text{Ce}_{0.01}\text{B}_6$ and CeB_6 sensor at 0.5 K and 9 K temperatures respectively is able to detect photons from IR to X-ray range, providing gigahertz count rate, signal reaching tens microvolts and energy resolution not less than 1%.
4. It has been found that the parameters R and V_m of single-layer detection pixel with FeSb_2 sensor are higher compared to CeB_6 sensor at the same 9 K operating temperature.
5. The characteristics of the three-layer detection pixel of TSPD are calculated on the basis of the study of heat distribution processes after 1 eV - 1 keV energy photons' absorption. It is shown that for the same geometries of detection pixel the parameters ΔT_m and V_m are changing only in the case of photon absorption at the edges of the absorber.

6. It has been revealed that ΔT_m and V_m parameters of the three-layer detection pixel have linear dependence from the photon energy that allows to determine uniquely the photon energy by measuring the maximum voltage generated on the sensor.
7. It has been established that the increase of the surface of the three-layer detection pixel's absorber in a certain interval leads to the detector's count rate increase meanwhile the voltage generated on the sensor does not change.
8. It has been shown that the decrease of the three-layer detection pixel's $\text{La}_{0.99}\text{Ce}_{0.01}\text{B}_6$, CeB_6 and FeSb_2 sensor thickness from $1\ \mu\text{m}$ to $0.01\ \mu\text{m}$ leads to the rapid increase of count rate.
9. The thickness of sensor of the detection pixel with Nb, Pb and YBCO superconducting absorbers can be reduced without any difficulties for signal registration.
10. It has been grounded that the three-layer detection pixel of TSPD can provide signal reaching microvolts and terahertz counting rate for the registration of photons from IR to X-ray range.
11. The ratio between physical properties and deposition conditions of thin films of TSPD detection pixel has been investigated. It has provided the possibility to obtain CeB_6 films with Seebeck coefficient not inferior to bulk samples at low temperatures.
12. It is advisable to use targets made of thin plates to deposit W films by the electron-beam deposition.
13. It has been shown that the optimal conditions for the deposition of W and CeB_6 films can be used to prepare $\text{W/CeB}_6/\text{W}$ heterostructures of various configurations.
14. It has been found that if the focal spot of the laser beam has the sector form and coincides with the sector of the target surface, then during laser deposition process the target material is uniformly evaporated from the entire target surface allowing the whole target volume to be used.
15. The method of laser deposition of large area thin films with uniform thickness and composition has been proposed. This method makes it possible to increase the width of the film, deposited on the translational moving ribbon, and the diameter of the film, deposited on a rotating substrate, using more than one target and a mask with slots of a certain configuration.

