

ՀՀ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ
ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՄԱՐԱՆ

Մարգարյան Արծրունի Վարուժանի

(n)CdTe-(p)InSb շեՏԵՐՈՍՆՑՄԱՆ ՀԻՄԱՆ ՎՐԱ ՍՏԵՂԾՎԱԾ ԻՆՖՐԱԿԱՐՄԻՐ
ՖՈՏՈՐԸՆԴՈՒՆԻՉՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՆՈՒՄ

Ա.04.10 – “Կիսահաղորդիչների ֆիզիկա” մասնագիտությամբ
ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի
գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ-2016

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РА
ЕРЕВАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Маргарян Арцруни Варужанович

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФРАКРАСНЫХ ФОТОПРИЕМНИКОВ СОЗДАНЫХ НА
ОСНОВЕ ГЕТЕРОПЕРЕХОДА (n)CdTe-(p)InSb

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности
01.04.10 – “Физика полупроводников”

ЕРЕВАН - 2016

Ատենախոսության թեման հաստատվել է ՀՀ ԳԱԱ Ռադիոֆիզիկայի և էլեկտրոնիկայի ինստիտուտում:

Գիտական ղեկավար՝

Ֆիզ.-մաթ. գիտ. դոկտոր, ՀՀ ԳԱԱ
թղթակից անդամ, պրոֆ.

Ս.Գ. Պետրոսյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝

Ֆիզ.-մաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆ.

Ա. Գ. Սարգսյան,

Ֆիզ.-մաթ. գիտ. թեկնածու, դոց.,

Լ. Ն. Գրիգորյան

Առաջատար կազմակերպություն՝

Հայաստանի ազգային

պոլիտեխնիկական համալսարան

Ատենախոսության պաշտպանությունը կայանալու է 2016թ. հունիսի 18-ին ժամը 12⁰⁰-ին, Երևանի Պետական Համալսարանում գործող ֆիզիկայի 049 մասնագիտական խորհրդի նիստում: Հասցե՝ Երևան, ԱլեքՄանուկյան 1:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԵՊՀ գրադարանում:

Սեղմագիրն առաքված է 2016թ. մայիսի 17-ին:

Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար,

Ֆիզ.-մաթ. գիտ. թեկնածու, դոցենտ



Ա.Ա.Քաչատրյան

Тема диссертации утверждена в Институте радиофизики и электроники НАН РА.

Научный руководитель:

доктор физ.-мат. наук, член-корр. НАН РА,
проф. С.Г. Петросян

Официальные оппоненты:

доктор физ.-мат. наук, проф.
А.Г. Саргсян,
кандидат физ.-мат. наук, доцент
Л.Н. Григорян

Ведущая организация:

Национальный политехнический университет
Армении

Защита диссертации состоится 18-го июня 2016 г. в 12⁰⁰ часов, на заседании специализированного совета физики 049 при Ереванском Государственном Университете по адресу: Ереван, ул. А. Манукяна 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕГУ.

Автореферат разослан 17-го мая, 2016г.

Ученый секретарь специализированного совета

Канд. физ.-мат. наук, доцент



Յ.Ս. Կալանթրյան

Աշխատանքի ընդհանուր բնութագիրը

Ատենախոսության արդիականությունը

Ներկայումս միջին ինֆրակարմիր ալիքային տիրույթի (3÷5 մկմ) ֆոտոընդունիչները լայն տարածում ունեն ռազմական, գիտահետազոտական, արդյունաբերության, բժշկության և այլ ոլորտներում [1]: Ինֆրակարմիր ֆոտոընդունիչները պայմանականորեն բաժանվում են երկու մեծ խմբի՝ ջերմային ընդունիչներ և ֆոտոնային ընդունիչներ: Ի տարբերություն ջերմային ընդունիչների, որոնց աշխատանքի հիմքում ընկած է լույսի կլանումով պայմանավորված նյութի ջերմաստիճանի մեծացման երևույթը, ֆոտոնային ընդունիչներում լույսի սեփական կլանման արդյունքում փոփոխվում է ազատ լիցքակիրների քանակը և նյութի էլեկտրահաղորդականությունը, ինչն այնուհետև գրանցվում է լարման կամ հոսանքի փոփոխության տեսքով: Ինֆրակարմիր ֆոտոնային ընդունիչները սկզբնական շրջանում (սկսած դեռևս 1950-ական թվականներից) պատրաստվել են PbSe, PbS նյութերի [2,3], իսկ այնուհետև, տեխնոլոգիաների զարգացմանը զուգընթաց A_2B_6 և A_3B_5 դասերին պատկանող փոքր արգելված գոտով կիսահաղորդիչների հիման վրա [4-7]: Հատկապես մեծ կիրառություն են գտել $Cd_xHg_{1-x}Te$ պինդ լուծույթների վրա հիմնված ֆոտոընդունիչները, որոնց զգայունության տիրույթը կախված բաղադրությունից կարող է հասնել մինչև 10 մկմ, ինչի պատճառով էլ նրանց վրա հիմնված մատրիցները օգտագործվում են գիշերային տեսողության սարքերում [8]:

Նկատի առնելով, որ InSb-ի արգելված գոտու լայնությունը (հեղուկ ազոտի աշխատանքային ջերմաստիճանում) կազմում է մոտ 0.22 էՎ, ապա այն այսօր հանդիսանում է սեփական կլանման վրա աշխատող միջին ինֆրակարմիր տիրույթի ֆոտոընդունիչների համար A_3B_5 դասին պատկանող կարևորագույն նյութերից մեկը: Բացի այդ, շնորհիվ իր լիցքակիրների մեծ շարժունակության

(77Կ ջերմաստիճանում մոտ $7.7 \cdot 10^4$ սմ²վ⁻¹վ⁻¹) InSb-ի հիման վրա պատրաստված սարքերը օժտված են մեծ արագագործությամբ:

Ինդիումի անտիմոնիդի (InSb) հիման վրա իրականացված հոմո- կամ հետերոկառուցվածքները առանձնանում են նաև շնորհիվ այն բանի, որ դրանց հիման վրա պատրաստված ֆոտոընդունիչները ծածկում են մթնոլորտում առկա գազերի մեծ մասի կլանման տիրույթից դուրս տիրույթները (այսպես կոչված մթնոլորտային “պատուհանների” միջակայքում), ուստի և կիրառելի են ռազմական ոլորտում նախատեսված միջին ինֆրակարմիր տիրույթի օպտիկական բազմաթիվ սարքերում աշխատելու համար: Հետերոանցումային ֆոտոդիոդները համեմատած հոմոանցումների վրա պատրաստված ֆոտոդիոդների հետ ունեն մի շարք առավելություններ հիմնականում կապված “պատուհանի” երևույթի առկայության հետ, որը սովորաբար հանգեցնում է բաժանման սահմանին և ծավալում լիցքակիրների ռեկոմբինացիայի նվազմանը: Հետերոկառուցվածքների պատրաստման համար կարևոր պարամետրեր են կոնտակտի մեջ մտնող նյութերի բյուրեղական կառուցվածքները և ցանցերի հաստատունները: InSb-ի և CdTe-ի միջև ձևավորվող հետերոանցումը կարող է լինել կատարյալ, քանի որ նրանց ցանցերի հաստատունները շատ մոտ են իրար (տարբերությունը $<0.03\%$) և բացի դա, ջերմային ընդարձակման գործակիցները նույնպես իրար մոտ են ($\alpha_{InSb} = 4.9 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, $\alpha_{CdTe} = (5 \div 5.5) \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$), այդ իսկ պատճառով InSb-ը կարող է լինել իդեալական տակդիր CdTe-ի շերտի էպիտաքսիալ աճի համար: Հաշվարկները ցույց են տալիս նաև, որ InSb/CdTe հետերոանցման բաժանման սահմանին վիճակների խտությունը չի գերազանցում $N_g = 6.2 \cdot 10^{11} \text{ սմ}^{-2}$ արժեքը [9]: Բացի այս առանձնահատկություններից InSb/CdTe հետերոկառուցվածքն ունի ավելի լայն ալիքային տիրույթի թողարկման շերտ ի համեմատ InSb-ի հիման վրա սովորական հոմոանցման: Ըստ վերը նշվածի կարելի է խիստ արդիական համարել որպես միջին ինֆրակարմիր ալիքային տիրույթի լայնաշերտ, այդ թվում կոորդինատազգայուն, ֆոտոընդունիչների համար InSb/CdTe

հետերոանցման ընտրությունը և դրա հիման վրա ինֆրակարմիր ֆոտոընդունիչների ստեղծումը: Մակայն այս գործընթացում կարող են ի հայտ գալ մի շարք դժվարություններ կապված A_2B_6 և A_3B_5 դասի կիսահաղորդիչների միջև հետերոկառուցվածքի ձևավորման գործընթացում բաղադրիչների հնարավոր փոխդիֆուզիայի և միջանկյալ շերտի առաջացման հետ: Հայտնի է, որ $CdTe/InSb$ հետերոկառուցվածքի պատրաստման ժամանակ մակերևութային շերտում կարող են առաջանալ ինդիումի տելուրիդի (In_2Te_3) մոլեկուլներ կամ $InTe$ -ի ֆազ [10,11]: Մասնավորապես [12] աշխատանքում ուսումնասիրվել է վերոհիշյալ հետերոանցումը և ցույց է տրվել, որ այն հեռանկարային է որպես միջին ինֆրակարմիր տիրույթի ֆոտոընդունիչ (աշխատանքային ջերմաստիճանը 78Կ): Մեր կողմից $(p)InSb/(n)CdTe$ հետերոկառուցվածքի պատրաստման համար ընտրվել է լազերա-իմպուլսային փոշեցրման (ԼԻՓ) մեթոդը:

Աշխատանքի մեջ նկարագրված է $(p)InSb-(n)CdTe$ հետերոանցման հիման վրա՝ այդ թվում նաև երկ-կոորդինատային զգայունությամբ օժտված ֆոտոընդունիչների ստեղծման և հետազոտման մեթոդիկան, ինչպես նաև դիտարկված են ստեղծված կոորդինատազգայուն ֆոտոընդունիչների ֆիզիկատեխնիկական և աշխատանքային բնութագրերը:

Աշխատանքի նպատակն է

$(p)InSb-(n)CdTe$ իդեալական անիզոտիպ հետերոանցման հիման վրա ստեղծել միջին ինֆրակարմիր տիրույթի կոորդինատազգայուն ֆոտոընդունիչներ և հետազոտել դրանց բոլոր բնութագրերը, ինչը ներառել է հետևյալ խնդիրները՝

1. $CdTe$ -ի թիրախից ԼԻՓ մեթոդով $CdTe$ -ի բարակ թաղանթների ստացման տեխնոլոգիական ռեժիմների մշակում և հետազոտում:
2. ԼԻՓ եղանակով $(n)CdTe/(p)InSb$ հետերոկառուցվածքի հիման վրա երկչափ կոորդինատազգայուն կառուցվածքի պատրաստում:

3. Նշված ֆոտոընդունիչների էլեկտրաֆիզիկական և օպտիկական հատկությունների հետազոտում, կոնտակտների համանմանության ապահովում:
4. Ստեղծված ֆոտոընդունիչի էլքային ազդանշանների՝ կետային ընկնող լույսի կոորդինատից կախվածությունների ուսումնասիրում, էլքային ֆոտոարձագանքների՝ ընկնող լույսի կոորդինատից գծային կախվածությունների ապահովում կառուցվածքի որոշակի մակերեսի վրա:

Գիտական նորույթը

Աշխատանքի գիտական նորույթը կայանում է նրանում, որ առաջին անգամ LiF եղանակով աճեցված $(n)\text{CdTe}/(p)\text{InSb}$ հետերոանցման հիման վրա ստացվել են երկչափ կոորդինատազգայուն ֆոտոընդունիչներ և կատարվել է $(n)\text{CdTe}/(p)\text{InSb}$ հետերոկառուցվածքի էլեկտրական, ֆոտոէլեկտրական հատկությունների բազմակողմանի փորձնական ուսումնասիրություն:

Գործնական արժեքը

$(n)\text{CdTe}/(p)\text{InSb}$ հետերոկառուցվածքի հիման վրա ստեղծված առանձին ֆոտոընդունիչների, երկչափ կոորդինատազգայնությամբ քառասարք ֆոտոընդունիչների փորձնական ուսումնասիրությունից ստացված արդյունքները կարող են օգտագործվել միջին ինֆրակարմիր տիրույթի պասիվ և ակտիվ համակարգերի ստեղծման համար: Մասնավորապես կոորդինատազգայուն ֆոտոընդունիչը կարող է ծառայել որպես ինֆրակարմիր հետևող և տեսածրող համակարգ: Իսկ օգտագործված LiF մեթոդը կարող է պարզեցնել միջին ինֆրակարմիր տիրույթի ֆոտոնային ընդունիչների պատրաստման գործընթացը:

Պաշտպանությանը ներկայացվող հիմնական դրույթները

LiF տեխնոլոգիան հնարավորություն է տալիս աճեցնել բյուրեղային կառուցվածքով ստեխիոմետրիկ CdTe թաղանթներ աճի ցածր ջերմաստիճանի

պայմաններում: (n)CdTe-(p)InSb հետերոանցման վրա ստեղծված լայնաշերտ, միջին ինֆրակարմիր (1.5 ÷ 6 մկմ) տիրույթում մեծ զգայունությամբ օժտված, երկչափ կոորդինատագրայնությամբ ֆոտոընդունիչների համար հաստատվել են հետևյալ դրույթները՝

1. CdTe թիրախի վրա լազերային ճառագայթի 2×10^8 Վտ/սմ² ինտենսիվության և 4×10^{-5} մմ սնդ. սյուն վակուումի պայմաններում InSb տակդիրի վրա CdTe թաղանթի առանց փոխդիֆուզիայի աճն ապահովվում է տակդիրի 475 – 575 Կ ջերմաստիճանային միջակայքում, որի դեպքում CdTe-ի թաղանթն ունի տեքստուրային բյուրեղային կառուցվածք:
2. Նշված տեխնոլոգիական պայմաններում InSb-ի տակդիրի 6×6 մմ² մակերեսի անկյունագծերում ստացված մետաղական կետային կոնտակտով (n)CdTe-(p)InSb հետերոանցման էլեկտրական բնութագրերը նույնական են:
3. (n)CdTe-(p)InSb հետերոանցման էլեկտրական բնութագրերից գնահատված սահմանային վիճակների թիվը (1.2×10^{12} սմ⁻²) մոտ է տեսական հաշվարկային արժեքին (6.2×10^{11} սմ⁻²):
4. (n)CdTe-(p)InSb հետերոկառուցվածքով մթնային հոսանքի անցման մեխանիզմը պայմանավորված է ծավալային լիցքերով սահմանափակված հոսանքներով:
5. X-Y կոորդինատագրային ֆոտոընդունիչի կենտրոնական մասում 2×2 մմ², նրա մակերեսի վրա ընկնող փոքր, մինչև 300 մկմ տրամագծով լուսային փնջի կոորդինատից կախված ելքային ազդանշանը նշանափոխ է և փոխվում է գծային օրենքով: Կոորդինատային զգայունության միջին արժեքը կազմում է 30 նԱ/մկմ:

Ատենախոսության արդյունքների փորձահավաստիությունը

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները զեկուցվել են հետևյալ գիտաժողովներում՝

1. Десятаягодовая научная конференция РАУ, 2-6 декабря, 2015, Ереван.
2. Tenth International Conference Semiconductor Micro-and Nanoelectronics, 11-13 September, Yerevan.
3. Laser Physics 2015 Internatioanl Conference 6-9 October, Ashtarak, Armenia.
4. International Conference on Microwave and THz Technologies, Photonics and Wireless Communications, May 4-6, 2016-Yerevan, Armenia.
5. ՀՀ ԳԱԱ Ռադիոֆիզիկայի և էլեկտրոնիկայի ինստիտուտի “Պինդ մարմնի ֆիզիկայի” և “Կիսահաղորդչային էլեկտրոնիկայի” լաբորատորիաների սեմինարներում:

Տպագրություններ

Ատենախոսության թեմայով տպագրվել է 4 աշխատանք, 1 հոդված "Успехи Прикладной Физики" ամսագրում, 1 հոդված "Известия НАН Армении, Физика" ամսագրում, 1 հոդված "Armenian Journal of Physics" ամսագրում, 1 աշխատանք “Կիսահաղորդչային Միկրո- և Նանոէլեկտրոնիկա” 10-րդ միջազգային գիտաժողովի նյութերում:

Ատենախոսության կառուցվածքը

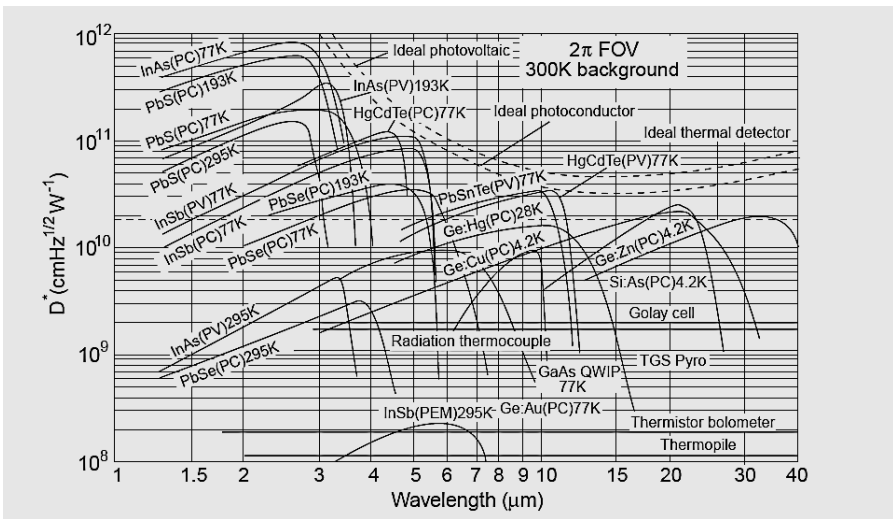
Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, չորս գլուխներից, եզրակացությունից և 118 հղում պարունակող գրականության ցանկից: Աշխատանքի ընդհանուր ծավալը 101 էջ է, պարունակում է 48 նկար և 2 աղյուսակ:

Ատենախոսության բովանդակությունը

Ներածության մեջ հիմնավորված է ատենախոսության արդիականությունը, ձևակերպված են աշխատանքի նպատակներն ու խնդիրները, ինչպես նաև

պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթները, առանձնացված է ստացված արդյունքների գիտական նորույթը և դրանց գործնական արժեքը:

Գլուխ 1-ում ներկայացված է թեմային վերաբերվող գրականության ամփոփումը: Ներկայացված են միջին ինֆրակարմիր տիրույթի ֆոտոդնդունիչների դասակարգումը, տեսակները, հիմնական նյութերը և տեխնոլոգիաները, որոնց օգնությամբ պատրաստվում են այդ ֆոտոդնդունիչները:

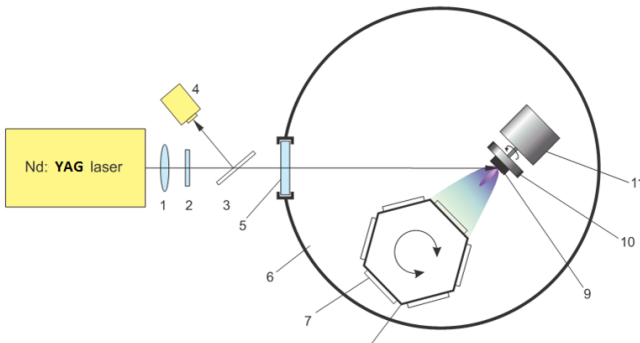


Նկ. 1 Տարբեր ֆոտոդնդունիչների լավագույն տեսակարար հայտնաբերողունակության կախվածությունը ալիքի երկարությունից:

Նկ.1-ում պատկերված են ինֆրակարմիր ֆոտոդնդունիչների լավագույն նմուշների հայտնաբերողունակությունների կախվածությունները ալիքի երկարությունից: Նկարից երևում է, որ 3-5 մկմ տիրույթում ամենամեծ զգայունությամբ օժտված են InSb p-n անցումները

Գլուխ 2-ում ներկայացված են (n)CdTe/(p)InSb հետերոկառուցվածքի ստացման տեխնոլոգիական առանձնահատկությունները: Բերված է ԼԻՓ մեթոդի ընդհանուր նկարագիրը: Նշված են թաղանթների և թաղանթային

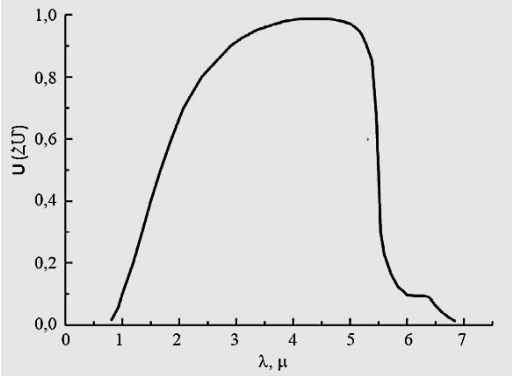
կառուցվածքների ստացման ԼԻՓ եղանակի առավելությունները: Մասնավորապես այս տեխնոլոգիան թույլ է տալիս ստանալ թաղանթի ստեխիոմետրիայի բարձր համապատասխանություն թիրախի հետ, ինչը հանդիսանում է բազմակոմպոնենտային նյութերի աճեցման հիմնական պրոբլեմներից մեկը և այլ տեխնոլոգիաներով բավական բարդ է ստանալը: Մեթոդի համար կարևոր պարամետրեր են հանդիսանում լազերային ճառագայթման ակիքի երկարությունը, թիրախի վրա ճառագայթման ինտենսիվությունը, իմպուլսի տևողությունը և հաճախությունը: Այս աշխատանքում լազերային ճառագայթման աղբյուր է հանդիսանում YAG բյուրեղի հիման վրա պատրաստված լազերը, (ակիքի երկարությունը՝ 1.06 մկմ) մեկ իմպուլսի տևողությունը կազմում է մոտ $\sim 3 \cdot 10^{-8}$ վ, որի դեպքում ինտենսիվությունը թիրախի մոտ տիրույթում լինում է բավականաչափ բարձր՝ $10^9 \div 10^{10}$ Վտ/սմ²: Իմպուլսային լազերային փոշեցրման սխեման բերված է նկ. 2-ում:



Նկ.2. Իմպուլսային լազերային փոշեցրման համակարգի բյուրեղ-սխեման (1. կվարցե ոսպնյակ, 2. ֆիլտր, 3. կիսաթափանցիկ հայելի, 4. կալոբրաչափ, 5. կվարցե պատուհան 6. վակուումային խցիկ, 7. տակդիր, 8. տակդիրի բռնիչ և տաքացուցիչ, 9. թիրախ, 10. թիրախի բռնիչ 11. շարժիչ)

Այս գլխում բերված են նաև InSb տակդիրի վրա CdTe թաղանթի բյուրեղային աճի տեխնոլոգիական պայմանները:

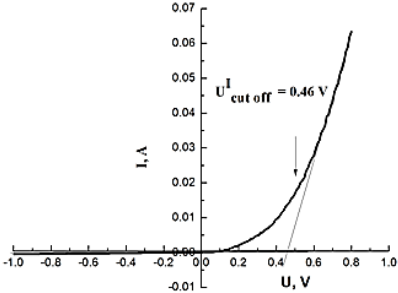
Գլուխ 3-ում ներկայացված են (n)CdTe/(p)InSb հետերոանցման էլեկտրաֆիզիկական և օպտիկական հատկությունները: Հետերոանցման ֆիզիկական հատկություններն ուսումնասիրելու համար օմակայան կոնտակտներն արվել են ինդիումից (In) ջերմավակուումային նստեցման մեթոդով այնպես, որ այն ծածկում է InSb-ի մակերևույթը ամբողջությամբ, իսկ CdTe-ի կողմից տարբեր նմուշների համար կոնտակտի տրամագիծն ընկնում է 0.4÷1 մմ միջակայքում: Հետերոկառուցվածքի ֆոտոարձագանքը ինֆրակարմիր ճառագայթման ազդեցության նկատմամբ ուսումնասիրվել է սինքրոն դետեկտման ռեժիմում մոնոքրոմատիկ լույսի համար, ինչպես նաև հետազոտվել է համակարգի ֆոտոարձագանքի սպեկտրը: Նկար 3-ում բերված է հետերոկառուցվածքի ֆոտոարձագանքի կախվածությունը ալիքի երկարությունից:



Նկ.3. (n)CdTe/(p)InSb հետերոկառուցվածքի ֆոտոարձագանքի կախումը ալիքի երկարությունից:

Երևում է, որ հետերոանցման առավելագույն զգայունությունը համապատասխանում է 4.8 մկմ ալիքի երկարությանը:

Անիզոտիպ հետերոկառուցվածքի վոլտ-ամպերային բնութագրերի ուսումնասիրությունը կարող է տալ ընդհանուր պատկերացում հետերոկառուցվածքով հոսանքի անցման մեխանիզմների մասին: Նկար 4-ում բերված է դիտարկվող հետերոկառուցվածքի վոլտ-ամպերային բնութագիծը՝ չափված ազոտային ջերմաստիճանում: Պարզվում է, որ հետերոանցման վոլտ-ամպերային բնութագիծը լավագույնս կարելի է մոտարկել քառակուսային օրենքով ($I \approx V^2$), ինչը վկայում է այն մասին, որ տեղի ունի հոսանքի սահմանափակում ծավալային լիցքով [13]: Նման լիցքի կուտակում ամենայն հավանականությամբ տեղի ունի հետերոանցման սահմանի մոտ գոտիների խզման հետևանքով հաղորդական գոտում առաջացած պոտենցիալային փոսում:

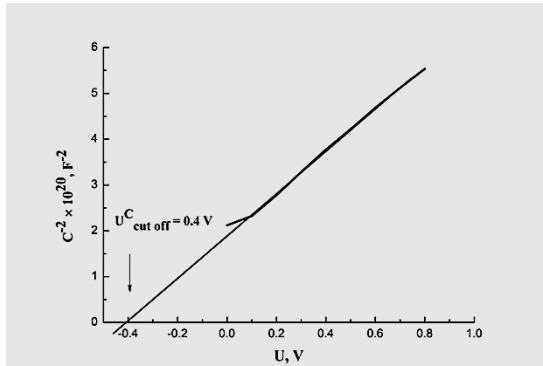


Նկ.4. (n)CdTe/(p)InSb հետերոանցման վոլտ-ամպերային բնութագիծը:

Վոլտ-ամպերային բնութագրի ջերմաստիճանից ունեցած կախվածության չափումները ցույց են տալիս, որ հետերոանցումը ուղղիչ հատկություններ ձեռք է բերում 140 Կ ցածր ջերմաստիճանում:

Ուսումնասիրվել է նաև հետերոկառուցվածքի վոլտ-ֆարադային բնութագիծը, ինչի տեսքը, ինչպես հայտնի է, կարող է վկայել հետերոանցման կտրուկ կամ սահուն լինելու մասին: Ինչպես ցույց է տրված նկար 5-ում 1ՄՀց

հաճախության դեպքում C^{-2} -ի կախվածությունը լարումից գծային է, ինչը բնորոշ է կտրուկ անցումներին:



Նկ.5. (n)CdTe/(p)InSb հետերոանցման C^{-2} կախումը կիրառված լարումից՝ չափված $1U^2$ չ հաճախության դեպքում:

Չափումները ցույց են տալիս, որ հետերոկառուցվածքի ֆոտոարձագանքի ժամանակը փոքր է 15նվ-ից, իսկ տեսակարար հայտնաբերողունակությունը, որը չափվել է ֆոնային ճառագայթման տակ, կազմում է $D^* = 1.8 \times 10^{11}$ սմ²գ^{1/2}վտ⁻¹: Ուրիշ խոսքերով, մեր ֆոտոընդունիչը իր զգայունությամբ չի զիջում 3-5 մկմ տիրույթում հայտնի լավագույն ֆոտոընդունիչներին (տես նկ.1):

Գլուխ 4-ում նկարագրված է (n)CdTe/(p)InSb հետերոկառուցվածքի հիման վրա երկչափ կոորդինատազգայուն ֆոտոընդունիչի պատրաստումը և հետազոտումը: Կիսահաղորդչային կոորդինատազգայուն ֆոտոընդունիչները սկսած 60-ական թվականներից մինչ օրս, լայն տարածում ունեցող սարքեր են, որոնց միջոցով հնարավոր է որոշել գծային և անկյունային կոորդինատներ, կազմակերպել հետևող և կառավարող համակարգեր [14-18]: Երբ կիսահաղորդչային կոորդինատազգայուն ֆոտոընդունիչի վրա ընկնում է տեղային (ֆոկուսացված) լույս, առաջացած ֆոտոհոսանքը բաժանվում է կառուցվածքի կոնտակտների միջև՝ հակադարձ համեմատական լուսավորման կետից մինչև

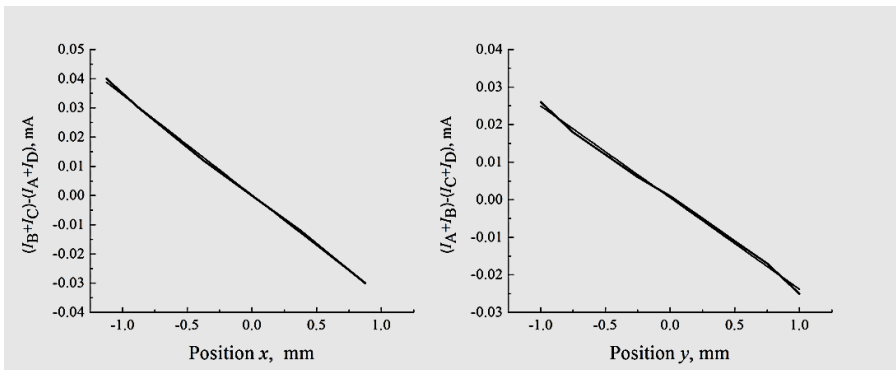
համապատասխան կոնտակտը եղած դիմադրությանը: Կենտրոնից փոքր շեղումների դեպքում կարելի է գրել՝

$$I_A \sim \frac{1}{R_A} \sim \frac{1}{L} \approx \frac{\sqrt{2}}{L \left(1 + \frac{x_0 - y_0}{L}\right)}$$

Հեշտությամբ կարելի է ցույց տալ, որ ֆոտոհոսանքի բաղադրիչների միջև տեղի ունեն հետևյալ առնչությունները՝

$$\frac{(I_B + I_C) - (I_A + I_D)}{(I_B + I_C) + (I_A + I_D)} = \frac{R_A R_D (R_B + R_C) - R_B R_C (R_A + R_D)}{R_A R_D (R_B + R_C) + R_B R_C (R_A + R_D)} \approx \frac{x_0}{L} \cdot \frac{(I_A + I_B) - (I_D + I_C)}{(I_A + I_B) + (I_D + I_C)} \approx \frac{y_0}{L}$$

Նկ.6-ում պատկերված են երկչափ կոորդինատազգայուն ֆոտոընդունիչի ֆոտոհոսանքների տարբերության կախվածություններն ընկնող լույսի փնջի կոորդինատից:



Նկ. 6. Երկչափ կոորդինատազգայուն ֆոտոընդունիչի հոսանքների կախումը կոորդինատներից՝ չափված ֆոտոընդունիչի կենտրոնական տեղամասում տեղային ճառագայթման դեպքում:

Չափումները ցույց են տալիս, որ տարբեր կոնտակտներով հոսանքների տարբերության կախվածությունները լույսի կոորդինատից կառուցվածքի կենտրոնական 2x2մմ տեղամասում գծային են: Իսկ չափված կոորդինատային զգայունությունը բավականին մեծ է և կազմում է մոտ 30նԱ/մկմ:

Եզրակացություն

Իմպուլսա-լազերային փոշեցրման մեթոդով, InSb-ի հատուկ մշակված, (111) բյուրեղագիտական ուղղվածությամբ տակդիրի վրա CdTe-ի բարակ թաղանթի նստեցմամբ ստացվել են հետերոանցումներ, որոնց հիման վրա պատրաստվել են ինչպես առանձին ֆոտոընդունիչներ, այնպես էլ երկչափ կոորդինատագայուն ֆոտոընդունիչներ: Նշված կառուցվածքների էլեկտրաֆիզիկական և օպտիկական հատկությունների ուսումնասիրության ընթացքում ստացվել են հետևյալ հիմնական արդյունքները.

1. CdTe-ի թաղանթների աճեցման համար օգտագործված իմպուլսա-լազերային փոշեցրման տեխնոլոգիան թույլ է տալիս ոչ լայն տիրույթում ապահովել ստեխիոմետրիկ համապատասխանություն թիրախի հետ, ինչը պարզվել է ռենտգենյան էներգադիսպերսիոն հետազոտությունների արդյունքում:
2. Հետերոկառուցվածքի վոլտ-Ֆարադային հատկությունների հետազոտման ժամանակ հաստատվել է, որ C^{-2} -ը լարումից կախված փոփոխվում է գծային օրենքով, ինչը ցույց է տալիս, որ InSb-ի և CdTe-ի միջև ձևավորվել է կտրուկ հետերոանցում և բաղադրիչների փոխադարձ դիֆուզիան բացակայում է:
3. Հետերոկառուցվածքի վոլտ-ամպերային բնութագծերը լավագույնս մոտարկվում են քառակուսային օրենքով, ինչը ցույց է տալիս, որ տեղի ունի հոսանքի սահմանափակում ծավալային լիցքով:
4. Նշված հետերոկառուցվածքային ֆոտոընդունիչի զգայունությունն ըստ լարման կազմում է մոտ 1000Վ/Վտ , ֆոտոարձագանքի ժամանակը փոքր է 15նվ-ից , իսկ տեսակարար հայտնաբերողունակությունը կազմում է մոտ $D\lambda^* = 1.8 \times 10^{11} \text{ սմ}^2\text{ց}^{1/2}\text{Վտ}^{-1}$, $\lambda = 4.8$ մկմ ալիքի երկարության և 2000Հց մոդուլյացիայի հաճախության դեպքում:
5. (n)CdTe/(p)InSb հետերոկառուցվածքի հիման վրա ստեղծվել է երկչափ կոորդինատագայուն ֆոտոընդունիչ, որը կառուցվածքի $2\text{մմ} \times 2\text{մմ}$ կենտրո-

նական տիրույթում ցուցաբերում է հոսանքների գծային կախվածություն
ընկնող լույսի կոորդինատից:

Օգտագործված գրականության ցանկ

1. Р. Хадсон, "Инфракрасные системы", МИР, Москва (1972).
2. D.J. Lovell, "The development of lead salt detectors", Amer. J. Phys. 37, 467-478 (1969).
3. R.J. Cushman, "Film-type infrared photoconductors", Proc, IRE 47, 1471-1475 (1969).
4. W.D. Lawson, S. Nielson, E.H. Putley, A.S. Young, "Preparation and properties of HgTe and mixed crystals of HgTe-CdTe", J. Phys. Chem. Solids 9, pp. 325-329 (1959).
5. I.Melngailis and T.C. Herman, "Single-crystal lead-tin chalcogenides" Semiconductors and Semimetals, vol. 5, pp. 111-174, edited by R.K. Willardson and A.C. Beer, Academic Press, New York (1970).
6. T.C. Herman, I. Melngailis, "Narrow gap semiconductors", Applied Solid State Science, Vol. 4, pp.1-94, edited by P. Wolfie, Academic Press, New York (1978).
7. B.F. Levine, C.G. Betha, K.G. Glogovsky, J.W. Stay, R.E. Leibeguth, "Long-wavelength 128×128 GaAs quantum well infrared photodetector arrays", Semicond. Sci. Technol. Vol. 6, pp. 114-119 (1991).
8. A. Rogalski, "HgCdTe infrared detector material: history, status and outlook", Reports on Progress in Physics, vol. 68 pp. 2267-2336, (2005)
9. G. Milnes and D. L. Feucht, Heterojunctions and Metal-Semiconductor Junctions. (Academic Press, N Y and London,(1972).
10. Zahn et al. Appl. Surf. Sci. 41/42, 497, (1989).
11. Van Welzenis et al. Appl. Phys. A52, 19, 1991.

12. Л.А. Матевосян, К.Е. Авджян, С.Г. Петросян, А.В. Маргарян, “Фотоэлектрические свойства гетероперехода $(p)\text{InSb}-(n)\text{CdTe}$ ” Успехи прикладной физики, №4, том 2, 2014, стр. 403-406.
13. J.P. Donnelly, A.G. Milnes. IEEE Trans. Electron. Dev., ED-14, 63 (1967).
14. Г. Виглеб. Датчики. Москва, Мир 1989.
15. А.А. Самарин. Электронные компоненты, 7, 103 (2003).
16. Н.Т. Гурин, С.Г. Новиков, И.В. Корнеев, А.А. Штанько, В.А. Родионов. Датчики и системы, 11, 54 (2011).
17. Н.Т. Гурин, С.Г. Новиков, И.В. Корнеев, А.А. Штанько, В.А. Родионов. Письма в ЖТФ, 37, 57 (2011).
18. В.М. Арутюнян, С.Г. Петросян, В.А. Геворкян, А.С. Хачатурян. Авторское свидетельство СССР, №1018559, 1982.

Հրատարակված աշխատանքների ցուցակ

1. Л.А. Матевосян, К.Е. Авджян, С.Г. Петросян, А.В. Маргарян, “Фотоэлектрические свойства гетероперехода $(p)\text{InSb}-(n)\text{CdTe}$ ” Успехи прикладной физики, №4, том 2, 2014, стр. 403-406.
2. А.В. Маргарян, С.Г. Петросян, Л.А. Матевосян, К.Э. Авджян, “Двухмерные координатно-чувствительные фотоприемники на основе гетероперехода $(p)\text{InSb}-(n)\text{CdTe}$ ”, Известия НАН Армении, Физика, v51, no. 2, 2016, стр. 272-281.
3. A.V. Margaryan, "The dark current-voltage and capacitance -voltage characteristics of near-infrared sensitive $(p)\text{InSb}/(n)\text{CdTe}$ heterostructure" Armenian Journal of Physics, 2016, vol. 9, issue 1, pp. 1-5.
4. A.V. Margaryan, S.G. Petrosyan, L.A. Matevosyan, K.E. Avjyan, "Electrical properties of pulsed laser deposited p-InSb-n-CdTe heterojunction" Proceedings of tenth international conference of semiconductor micro-and nanoelectronics pp 97-100, 11-13 september 2015, Yerevan, Armenia.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФРАКРАСНЫХ ФОТОПРИЕМНИКОВ СОЗДАНЫХ НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОПЕРЕХОДА (n)CdTe-(p)InSb

Маргарян Арцруни Варужанович

Ключевые слова: инфракрасный фотодетектор, лазерно-импульсное осаждение, двумерный координатно-чувствительный фотоприемник, CdTe/InSb гетеропереход.

Заключение

Инфракрасные фотоприемники начиная с 1950-х годов имеют широкое применение в военных, научно-технических и медицинских областях. InSb является одним из важнейших материалов для изготовления фотоприемников среднего инфракрасного диапазона. Как известно, полупроводниковые гетеропереходы имеют некоторое преимущество по сравнению с гомопереходами. В данной работе для изготовления фотоприемника был выбран гетеропереход CdTe/InSb.

Впервые методом лазерно-импульсного осаждения были изготовлены двумерные координатно-чувствительные фотоприемники на основе гетероперехода CdTe/InSb. Результаты исследований этих фотоприемников могут применяться для изготовления следящих и сканирующих систем среднего инфракрасного диапазона. Метод лазерно-импульсного осаждения может упростить технологии изготовления инфракрасных фотоприемников.

Осаждением тонкого слоя CdTe на полированной подложке InSb методом лазерно-импульсного осаждения были получены гетеропереходы, на основе которых изготовлены как отдельные фотоприемники, так и двухкоординатно-чувствительные фотоприемники. В процессе исследования электрофизических и оптических свойств данных структур получены следующие основные результаты:

1. Используемый для роста пленок CdTe метод импульсно-лазерного напыления дает возможность обеспечить высокое стехиометрическое соответствие с мишенью в небольшом диапазоне, что было выяснено в результате рентгеновского энергодисперсионного исследования.
2. Во время исследования вольт-фарадных свойств гетероперехода было установлено, что C^{-2} меняется линейно в зависимости от напряжения; это показывает, что гетеропереход резкий.
3. Вольт-амперные характеристики гетероперехода наилучшим образом аппроксимируются квадратическим законом, что показывает, что имеет место ограничение тока объемным зарядом.
4. Чувствительность по напряжению данного гетеропереходного фотоприемника составляет приблизительно 1000В/Вт, время фотоотклика меньше 15нс, а обнаружительная способность при длине волны 4.8мкм и частоте модуляции 2000Гц составляет приблизительно $D_{\lambda}^* = 1.8 \times 10^{11} \text{см}^2 \text{Гц}^{1/2} \text{Вт}^{-1}$.
5. На основе гетероструктуры (n)CdTe/(p)InSb был создан двухкоординатно-чувствительный фотоприемник, который в центральной 2мм×2мм области структуры проявляет линейную зависимость токов от координат падающего света.

INVESTIGATION OF INFRARED PHOTODETECTORS BASED ON (n)CdTe-(p)InSb HETEROJUNCTION

Margaryan Artsruni Varuzhan

Key words: Infrared photodetector, pulsed laser deposition, two-dimensional coordinate-sensitive photodetectors, CdTe/InSb heterojunction.

Conclusion

Infrared photodetectors since the 1950s, are widely used in military, scientific, technical and medical fields. InSb is one of the most important materials for manufacturing middle-infrared photodetectors due to its narrow energy band gap (0.22 eV in liquid nitrogen temperature) and high mobility of electrons ($\approx 7.7 \cdot 10^4 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$). As it is known, semiconductor heterojunctions have some advantages compared with homojunctions. In this paper, to fabricate the photodetector heterojunction CdTe/InSb was chosen.

For the first time by the method of pulsed laser deposition were made CdTe/InSb heterojunction based two-dimensional coordinate-sensitive photodetectors. The research results of these photodetectors can be used for the production of the mid-infrared range tracking and scanning systems. The method of pulsed laser deposition can simplify the manufacturing technology of infrared photodetectors.

Depositing a thin layer of CdTe on the factory-made InSb substrate by the pulsed laser deposition method heterojunctions were created, from which were made separate photodetectors, as well as two-coordinate sensitive photodetectors. The study of the electrical and optical properties of these structures gave following main results:

1. Used method of pulsed-laser deposition for the growth of CdTe films makes it possible to provide high stoichiometric conformity with the target in a small range, which was found from the energy dispersive X-ray studies.
2. During the study of the capacitance-voltage characteristics of the heterojunction it was found that C^{-2} varies linearly with voltage which shows that the heterojunction is sharp. Thus, it can be assumed, that the method of pulsed laser deposition eliminates the process of implantation and interdiffusion of components between the parts of heterostructure.
3. The current-voltage characteristics of the heterojunction well approximated by a quadratic law, which shows that there is a current limitation by the space charge. It is supposed that such kind of charge can be localized in quantum well, which exists in InSb side of heterojunction.
4. The voltage sensitivity of the heterojunction photodetector is approximately $1000V / W$, the photoresponse time is less than 15 ns, and the detectivity at the wavelength of 4.8mkm and modulation frequency 2000 Hz is about $D^* = 1.8 \times 10^{11} \text{cmHz}^{1/2} \text{W}^{-1}$.
5. On the basis of (n)CdTe/(p)InSb heterostructure the two-coordinate sensitive photodetector was created, which shows linear dependence of currents on coordinates of the incident light in the central $2\text{mm} \times 2\text{mm}$ area of the structure.