

**ÓZBEKSTAN RESPUBLIKASI JOQARI HÁM ORTA ARNAWLI
BÍLÍM MINISTRILIGI
BERDAQ ATINDAĞI QARAQALPAQ MÁMLEKETLÍK UNÍVERSÍTETÍ**

Qol jazba huquqında

UDK: 537.311.33

Nizamatdinova Gúliyba Bahadır qızı

**Tema: Yarımótkizgishli ásbaplardağı ishki defektlerdi esapqa alğan
haldagı tok ağısının' mexanizmin úyreniw**

**5A140204 Kondensatsiyalanğan ortalıqlar fizikasi hám materialtanıw qánigeligi
Magistr akademiyalıq dárejesin aliw ushın jazılğan**

DÍSSERTATSIYA

MAK da jaqlawğa ruxsat

Magistratura bólimi

baslıgı _____ y.i.k. A. Gulimov

Kafedra baslıgı:

prof. Q.A. Ismaylov

Ilimiy basshi:

prof. M.B.Tagayev

Nókis-2018

**ÓZBEKSTAN RESPUBLİKASI JOQARI HÁM ORTA ARNAWLI BÍLİM
MÍNÍSTRLÍGÍ
BERDAQ ATINDAĞI QARAQALPAQ MÁMLEKETLİK UNÍVERSÍTETÍ**

Magistratura bólimi
Yarimótkizgishler fizikasi kafedrası
2017-2018-oqıw jılı
Kondensaciyalanğan ortalıqlar
fizikasi hám materialtanıw

Magistrant: G.Nizamatdinova
İlimiy basshı: prof. M.B.Tagayev
Qánigelik: 5A140204

**«Yarimótkizgishli ásbaplardağı ishki defektlerdi esapqa alğan haldağı tok
ağısınıń mexanizimin úyreniw »
atamasındağı**

MAGÍSTRLİK DÍSSERTATSÍYA ANNOTATSÍYASI

Dissertatsiya temasiniń tiykarlanıwi hám oniń aktuallıǵı: Kristallardağı defektlerdiń tábiyatın hám olardıń kristall qattı denelerdiń hár qıylı fizika-mexanikalıq qásiyetlerine tásirin izertlewge kóp ǵana ilimiy jumıslar arnalǵan. Bul jumıslardağı qaralǵan problemalar birinshi gezekte dáwir texnika talabına sáykes berilgen qásiyetlerge iye materiallar jaratıw menen, sonday-aq radiatsiyalıq defektleri bar kristallardağı fizikalıq protsessler tuwralı házirgi kóz-qaraslardı rawajlandırıw ushın tiykar bolarlıq informatsiyalar alıw menen tikkeley baylanıslı.

Magistrlik dissertatsiya jumısınıń maqseti: Sońǵı waqıtları yarimótkizgishli materiallardıń qollanıw oblastınıń artıwı menen olarǵa qoyılǵan talaplarda quramalı hám awır bolıp barmaqta. Usı maqsette bizler ózimizdiń magistrlik dissertatsiya jumısımızdı GaAs hám kremniy tiykarındağı hár qıylı diodlıq strukturalardıń hár qıylı sırtqı tásirler bolǵannan keyingi toktıń taslıw protsessleriniń ózgeriwlerin izertlewdi maqset etip aldıq. Toktıń taslıw protseslerin úyreniw arqalı diodlıq strukturalarda betlik parametrleriniń ózgerislerin anıqlawǵa hám tok tasıwshı bólekshelerdiń bólistirilıwlerin anıqlawǵa boladı.

Magistrlik dissertatsiya jumısınıń wazıypası: GaAs hám Si tiykarındağı diodlıq strukturalardıń elektrofizikalıq xarakteristikaların anıqlay otırıp, diodlıq strukturalardağı toktıń tasılıw mexanizmlerin izertlew hámde betlik qatlamdağı parametrlerniń ózgerislerin anıqlaw biziń magistrlik dissertatsiya jumısımızdıń wazıypası bolıp esaplanadı.

İzertlew obiekti. Bul jumısta izertlew obiekti sıpatında Cr-GaAs, yarimótkizgishli strukturası alındı.

İzertlew predmeti. Bul Cr-GaAs yarimótkizgishli materialınıń hár qıylı qalınlıqqa hám qatlamǵa iye bolǵan úlgeriniń tok ótkeriw protsessleriniń lazer hám ultrases nurı tásirinen keyingi ózgeriwlerin izertlew.

Mashqalanıń izertleniw dárejesi. Arsenid galliyden tayarlanǵan yarimótkizgishli materiallardıń tok ótkeriw protsessleri hámde optikalıq qásiyetleri hár qıylı mámleketlerdegi alımlar tárepinen izertlenbekte biraq bunday yarimótkizgishli strukturalardıń alınıw usıllarına baylanıslı hám ósiriliw tártibine baylanıslı olardıń

barlıq xarakteristikaları bir-birinen parq qıladı.

Yarımótkizgishli arsenid galliy tiykarındaǵı strukturalardıń nurlanıw orayların anıqlay otırıp olardıń qaysı yarımótkizgishli ásbaplıq úskenerlerdiń aktiv oblastında múmkinshiligin tuwdırıp beredi.

Jumıstıń maqseti hám wazıypaları. GaAs yarımótkizgishli materialınıń impulsli lazer nurı tásirinen keyingi quramındaǵı payda bolatuǵın relaksatsiyalıq protsesslerge baylanıslı elektrofizikalıq xarakteristikalarınıń ózgeriwın izertlew magistrlik dissertatsiya jumısımızdıń maqseti bolıp esaplanadı. Usı maqsetke jetiw ushın tómendegi wazıypalardı atqarıw kerek.

1. Arsenid galliy yarımótkizgishli materialınıń lazer hám ultrases nurınıń quwatlıǵına baylanıslı onıń elektrofizikalıq xarakteristikaların volt-amperlik hám volt-faradalıq qubılısları boyınsha anıqlaw.

2. Jeke halında alınǵan GaAs qattı strukturasınıń qatlamlı strukturalarǵa qaraǵanda optikalıq qásiyetleriniń ózgesheliklerin anıqlaw.

İzertlewdiń ilimiy jańalıǵı.

a) Cr-GaAs yarımótkizgishli materialınıń lazer hám ultrases tásirinen keyingi quramındaǵı bolıp ótetuǵın relaksatsiyalıq protsessler anıqlandı.

b) Yarımótkizgishli Cr-GaAs diodlıq strukturalarındaǵı toktıń tasılıw mexanizmleriniń ózgerisleri úyrenildi.

v) Temperaturaǵa baylanıslı Cr-GaAs juqa plenkasındaǵı tok ótiw protsessleri úyrenildi.

g) Kólemlik kristallarǵa salıstırǵanda Cr-GaAs strukturasınıń qalınlıǵınıń artıwı menen elektrofizikalıq qásiyetleriniń ózgeriwleri anıqlanıldı.

İlimiy basshı

(qolı)

Magistrant

(qolı)

Ministry of Higher and Secondary Education of the Republic of Uzbekistan

Karakalpak State University named after Berdakh

Department of master's degree	Master: G.B.Nizamatdinova
Department of Semiconductor Physics	Supervisor :d.t.s .prof .M.B.Tagayev
2017-2018-study year	Culture Specialist: 5A140204
	Condensed Matter Physics and aterials Science

**“Semiconductor devices of energy transfer mechanisms taking into account
examination of internal defects”
education**

Master's dissertation annotation

Purpose of magistracy dissertation. Nowadays, the demand for semi-finished raw materials is increasing and difficult. To this end, we have aimed to see the change of the process of transportation of the semen after the external influences of our diverse dietary structures based on GaAs and Si based on our magisterial desertification we can understand how the pad parameters change in diode structures by dividing the pulse transport process and dividing the leak-proof parts.

The role of the master dissertation. Determining the electrophysical characteristics of the GaAs based diode structure, determining the mechanisms of the pulse in the diode structures and determining the changes in the surface layer are the tasks of our master's degree in dissertation.

Authentication object. In this study, the Cr-GaAs semiconductor structure is obtained as a detection object.

The subject of the problem. Detection of Cr-GaAs semi-conductive raw materials from various thickness and layers after change of laser and ultraviolet light effects.

The degree of detection of the problem. The optical properties of semi-conductive emissions from arsenide gallium are determined by scientists from different countries, but depend on the methods of obtaining such semiconductor structures and their all their characteristics, different from each other. By determining the radiation centers of semi-conductor arsenide gallium-based structures, each of them will enable the semiconductor device to be active in the equipment

Purpose and tasks of work. The aim of our dissertation is to study the electrophysical properties of the GaAs semiconductor materials in response to the reaction of the impulse laser beam. To accomplish that goal, you have to perform the following tasks.

1. Determination of its electro-physical characteristics, volt-amperes, Volt-Farada phenomena, dependent on the laser and ultraviolet light of arsenide gallium semiconductor material.

2. Determination of optical properties of layered structure of GaAs solid layer.

Sought scientific novelty.

a) The process of laser and ultrasound effects of Cr-GaAs semiconducting material was determined.

b) eha'mined the changes in the transport mechanism of the semiconductor Cr-GaAs diode system.

v) The Cr-GaAs thin temperature-dependent processes were investigated.

g) Compared to the volume crystals, the electrophysical properties of the Cr-GaAs structure have changed with the thickness of the structure.

Supervisor:

Master:

MAZMUNI

Kirisi.....	3
I. BAP. ÁDEBÍY SHOLIW	6
1.1.Strukturalıq defektler hám olardıń payda bolıw tiykarları	6
1.2. Elementar yarımótkizgishlerdegi termo hám radiatsiyalıq defektler olardıń qásiyetleri (sholıw).....	18
1.3Shottki diodlarınıń voltamperlik xarakteristikasına ultrases tolqınlarınıń tásiri.....	29
II.BAP.EKSPERIMENTTÍNMETODIKASI.....	45
2.1. Yarımotkizgishli materiallardıń elektrofizikalıq qásiyetlerin izertlewde qollanılatuǵın priborlar.....	45
2.2.Mikroplazmalı xakteriograf járdeminde modulyatsiyalıq differentsiallar metodikasınıń ayrıqsha ózgesheligi	48
III. BAP. TÁJIRIYBEDE ALINǴAN NÁTÍYJELER HÁM OLARDIŇ TALIQLANIWI.....	53
3.1 Cr-GaAs diodlı strukturalarınıń elektrofizikalıq qásiyetlerine lazer hám ultrases nurlarınıń tásiri.....	53
3.2. Asa joqarı jiyilikte isleytuǵın GaAs tiykarındaǵı diodlar ushın barer kontaktlarına qoyılatuǵın tiykarǵı talaplardı izertlew	59
JUWMAQLAR.....	65
PAYDALANILǴAN ÁDEBÍYATLAR	66

KÍRÍSÍW

Dissertatsiya temasiniń tiykarlanıwi hám oniń aktuallıǵı: Kristallardaǵı defektlerdiń tábiyatın hám olardıń kristall qattı denelerdiń hárqıylı fizika-mexanikalıq qásiyetlerine tásirin izertlewge kóp ǵana ilimiy jumıslar arnalǵan. Bul jumıslardaǵı qaralǵan problemalar birinshi gezekte dáwir texnika talabına sáykes berilgen qásiyetlerge iye materiallar jaratıw menen, sonday-aq radiatsiyalıq defektleri bar kristallardaǵı fizikalıq protsessler tuwralı házirgi kóz-qaraslardı rawajlandırıw ushın tiykar bolarlıq informatsiyalar alıw menen tikkeley baylanıslı.

Magistrlik dissertatsiya jumısınıń maqseti: Sońǵı waqıtları yarımótkizgishli materiallardıń qollanıw oblastınıń artıwı menen olarǵa qoyılǵan talaplarda quramalı hám awır bolıp barmaqta. Usı maqsette bizler ózimizdiń magistrlik dissertatsiya jumısımızdı GaAs hám kremniy tiykarındaǵı hár qıylı diodlıq strukturalardıń hár qıylı sırtqı tásirler bolǵannan keyingi toktıń taslıw protsessleriniń ózgeriwlerin izertlewdi maqset etip aldıq. Toktıń taslıw protseslerin úyreniw arqalı diodlıq strukturalarda betlik parametrleriniń ózgerislerin anıqlawǵa hám tok tasıwshı bólekshelerdiń bólistiriliwlerin anıqlawǵa boladı.

Magistrlik dissertatsiya jumısınıń wazıypası: GaAs hám Si tiykarındaǵı diodlıq strukturalardıń elektrofizikalıq xarakteristikaların anıqlay otırıp, diodlıq strukturalardaǵı toktıń tasılıw mexanizmлерin izertlew hámde betlik qatlamdaǵı parametrлерdiń ózgerislerin anıqlaw biziń magistrlik dissertatsiya jumısımızdıń wazıypası bolıp esaplanadı.

İzertlew obiekti. Bul jumısta izertlew obiekti sıpatında **Cr-GaAs**, yarımótkizgishli strukturası alındı.

İzertlew predmeti. Bul **Cr-GaAs** yarımótkizgishli materialınıń hár qıylı qalınlıqqa hám qatlamǵa iye bolǵan úlgerileriniń tok ótkeriw protsessleriniń lazer hám ultrases nurı tásirinen keyingi ózgeriwlerin izertlew.

Mashqalanıń izertleniw dárejesi. Arsenid galliyden tayarlangan yarımótkizgishli materialardıń tok ótkeriw protsessleri hámde optikalıq qásiyetleri hár qıylı mámleketlerdegi alımlar tárepinen izertlenbekte biraq bunday yarımótkizgishli strukturalardıń alınıw usıllarına baylanıslı hám ósiriliw tártibine baylanıslı olardıń barlıq xarakteristikaları bir-birinen parq qıladı.

Yarımótkizgishli arsenid galliy tiykarındaǵı strukturalardıń nurlanıw orayların anıqlay otırıp olardıń qaysı yarımótkizgishli ásbaplıq úskenelerdiń aktiv oblastında múmkinshiligin tuwdırıp beredi.

Jumıstıń maqseti hám wazıypaları. GaAs yarımótkizgishli materialınıń impulsli lazer nurı tásirinen keyingi quramındaǵı payda bolatuǵın relaksatsiyalıq protsesslerge baylanıslı elektrofizikalıq xarakteristikalarınıń ózgeriwini izertlew magistrlik dissertatsiya jumısımızdıń maqseti bolıp esaplanadı. Usı maqsetke jetiw ushın tómendegi wazıypalardı atqarıw kerek.

1. Arsenid galliy yarımótkizgishli materialınıń lazer hám ultrases nurınıń quwatlıǵına baylanıslı onıń elektrofizikalıq xarakteristikaların volt-amperlik hám volt-faradalıq qubılısları boyınsha anıqlaw.

2. Jeke halında alınǵan GaAs qattı strukturasınıń qatlamlı strukturalarǵa qaraǵanda optikalıq qásiyetleriniń ózgesheliklerin anıqlaw.

İzertlewdiń ilimiy jańalığı.

a) **Cr-GaAs** yarımótkizgishli materialınıń lazer hám ultrases tásirinen keyingi quramındaǵı bolıp ótetuǵın relaksatsiyalıq protsessler anıqlandı.

b) Yarımótkizgishli **Cr-GaAs** diodlıq strukturalarındaǵı toktıń tasılıw mexanizmleriniń ózgerisleri úyrenildi.

v) Temperaturaǵa baylanıslı **Cr-GaAs** juqa plenkasındaǵı tok ótiw protsessleri úyrenildi.

g) Kólemlik kristallargá salıstırǵanda **Cr-GaAs** strukturasınıń qalıńlıǵınıń artıwı menen elektrofizikalıq qásiyetleriniń ózgeriwleri anıqlanıldı.

Yarım ótkizgishlerdegi radiatsiyalıq buzılıslardı úyreniw ushın optikalıq hám elektrlik izertlew usıllar keń túrde qollanıladı. Al mexanikalıq ózgerisler, ásirese serpimli hám serpimsiz xarakteristikalar dıqqattan shette qala beredi.

Qattı denelerdiń mexanikalıq qásiyetleri kópshilik jaǵdaylarda sezilerli dárejede kristallardıń defektlik dúzilisleri menen yaǵnıy kristalldaǵı dislokatsiyalardıń qosımta atomlarınıń bolıwı menen hám basqa da buzılıslar menen anıqlanadı.

Yarımótkizgishlerdegi radiatsiyalıq hám termodefektlerdiń tábiyatın, simmetriyasın, olardıń serippeli awısıw dárejelerin anıqlawǵa akustikalıq usıllardı qollanıw arqalı neytral defektlerdi de anıqlawǵa múmkinshilik tuwdırıladı.

Defektlerdi izertlewlerge ishki súykelis usılın qollanıw olardıń mikroskopiyalıq dúzilisin, zaryadlıq awhalın, defektlik komplekslerdiń simmetriyasın, olardıń mexanikalıq kernew maydanındaǵı qayta baǵdarlanıwın, materiallardaǵı kirispeler, dislokatsiyalar menen tásirlesiwın, otjig waqıtında olardıń defektlerdiń túrleniwlerin anıqlawǵa múmkinshilik berdi.

Búgingi kúnde yarımótkizgishli ásbaplar tayarlawda atap aytqanda lavinno-proletlı diodlar tayarlawda kremniy hám galliy arsenid materialları keńnen qollanıladı. Bul diodlarda p^+-n-n^+ , $p^+-n-i-n^+$, $n^+-n-p-p$ hám taǵı basqada bir neshe formada tayarlanadı.

Ádebiyatlarda kórsetilgenindey bul jerde n oblastqa salıstırǵanda p^+-n^+ oblastlar kúshli legirlengen boladı. Sonlıqtanda ádette n oblasttı hálisiz legirlengen baza depte ataydı.

Bizler ózimizdiń ilimiy magistrlik dissertatsiya jumısımızda joqarıdaǵı ayılǵan máselerge tiykarlanıp hár qıylı yarımótkizgishli diodlıq strukturalardıń elektrofizikalıq xarakteristikaların úyrene otırıp, olardaǵı toktıń aǵısınıń ózgeriw protseslerin uyrenip shıqtıq.

I-BAP. ÁDEBÍY SHOLIW

§1.1. Strukturalıq defektler hám olardıń payda bolıw tiykarları.

Kristalldıń defektleri dep – kristalldıń transliyatsiya simmetriyasınıń qálegen turaqlı formadaǵı ózgeriwine hám kristall reshеткиń ideallıq ózgeriwine aytamız. Defektlerdiń ólshemleri atomlar aralıǵınan asıp ketiwi múmkin usıǵan saykes túrde defektler nol ólshemli tochkalıq, bir ólshemli sızıqlı, eki ólshemli bir tegis hám úsh ólshemli kólemlik bolıp defektlerge bólinedi.

Nol ólshemli (tochkalıq) defektler

Nol ólshemli tochkalıq defektler dep barlıq awısıw menen baylanıslı bolǵan yamasa atomlardıń kishi muǵdardaǵı gruppaları menen almastırılǵan (tochkalıq menshik defektler) hám sırttan kirigizilgen basqa elementlerdiń atomlarına aytamız. Nollık defektler legirlew, temperaturaǵa baylanıslı kristallar ósirilgen waqıtta hám radiatsiyalıq nurlanıw alǵan waqıtta payda bolatuǵın defektler bolıp esaplanadı. Bunday defektler implantatsiya waqtında kiritiliwi múmkin. Usınday túrde kiritilgen yamasa payda bolǵan defektlerdiń dúzilisi yamasa payda bolıw mexanizmleri, qozǵalısları, annigilyatsiyalanıwı, parqlanıwı, tásirlesiwı anıqlanıǵan.

Vakansiya kristall reshетка túyinińdegi atomlardıń bos, erkin ornı.

Menshikli túyinler arasındaqı atom – elementar yacheykalardıń reshетка túyinleri arasındaqı menshikli atomları.

Aralaspalı (zameshaniya) almastırılıwshı atomlar – kristall reshетка túyinlerindegi menshikli atomlarda almastırılıwshı ólshemi boyınsha menshikli atomǵa jaqın elektronlıq qabatlardı boyınsha derlik uqsas atomlar.

Aralaspalı sırttan endirilgen atomlar – kristall reshетка túyinlerinde jaylasqan boladı. Sırttan kiritilgen bunday atomlar metallarda vodorod, kislorod, azot hám uglerod atomları bolıp esaplanadı. Yarımótkizgishli materiallarda bolsa aralaspalı sırttan kiritilgen atomlar mısalı: kremniyge kiritilgen atom altın yamasa mıs bolıwı múmkin. Yarımótkizgishlerde sırttan kiritilgen atomlar yarımótkizgishli materiallardıń qadaǵan qatlamında jaylasıwı mumkin.

Kristallarda bir neshe tochkalıq defektlerden turıwshı kompleksli atomlar bar bolıwı múmkin mısalı: Frenkel defektleri (vakansiya+menshikli túyinler arasındaǵı atom), bivakansiya (vakansiya+vakansiya), A-orayları (kremniyde, germaniyde vakansiya+ kislorod atomları hám t.b.).

Tochkalıq defektlerdiń termodinamikası

Tochkalıq defektler kristalldıń energiyasın arttıradı sonıń menen birge olar kiritilgen waqıtları belgili bir energiya muǵdarları sarp etiledi. Vakansiyanıń payda bolıw waqtındaǵı ketetuǵın energiya serpimli deformatsiyanı payda etip, ionlardıń jıljıwınıń 1% muǵdarın payda etedi hám usıǵan sáykes keliwshi deformatsiya energiyası onnan 1 eV muǵdarın quraydı. Túyinler arasındaǵı atomlarǵa basqa elementtiń atomların kirgizgende atomlardıń qońsılas atomlarǵa tásirini 20% ti qurawı múmkin, al túyinlerdiń reshетка arasındaǵı deformatsiyası bir neshe eV tı qurawı múmkin. Túyinler arasına basqa atomlar kiritilgende tiykarǵı payda bolatuǵın energiya tiykarınan túyinler arasındaǵı baylanıs energiyasın ózgerterdi hám kristall reshetkaniń periodlıǵın ózgerтип jiberedi. Tochkalıq defektler kristalldaǵı barlıq elektron gazleri menen tásirlesedi. Kristall reshетка túyinindegi oń ionlardı joq etiw túyinlerge teris zaryadlangan atomlardı ákeliwge baylanıslı ketetuǵın energiya menen táriplenedi. Teoriyalıq jaqtan esaplawlarǵa qaraǵanda mısqa GTsK vakansiyasın jaratıw 1 eV energiyanı sarplawǵa ketedi al túyinler arasındaǵı atomdı payda etiwge 2 eV – 3 eV energiya ketedi eken. Menshikli tochkalıq defektlerdiń payda bolıwında kóp energiyanıń sarplanıwına qaramastan defektler reshetskada teńsalmaqlılıqta boladı hámde óz gezeginde entropiyanıń artıwına alıp keledi. Temperaturanıń artıwı menen entropiyanıń TS erkin energiyası

$$F = U - TS$$

tochkalıq defektlerdiń payda bolıwı menen kristalldaǵı tolıq energiyanı kompensatsiyalaydı.

Usıǵan baylanıslı kristallda erkin energiya minimal dárejede kemeyedi. Vakansiyanıń kontsentratsiyasınıń teńsalmaqlılıǵı tómendegi teńleme menen kórsetiledi

$$\frac{n}{N} = \exp\left(-\frac{E_0}{kT}\right), \quad (1.1)$$

bunda E-bir vakansiyağa ketetugin energiya, T-temperatura, k-boltsman turaqlısı. Joqardağı (1.1) formula túyinler arasındadı atomlar ushın durıs bolıp esaplanadı. Formuladan kórinip turǵanınday kristalldadı defektlerdiń kontsentratsiyası tolıǵı menen temperaturaǵa ǵárezli boladı eken. Defektlerdiń payda bolıw energiyasın bile otırıp qansha vakansiyanıń payda bolıwı energiyasın anıqlaw múmkinshiligin dálillewge boladı.

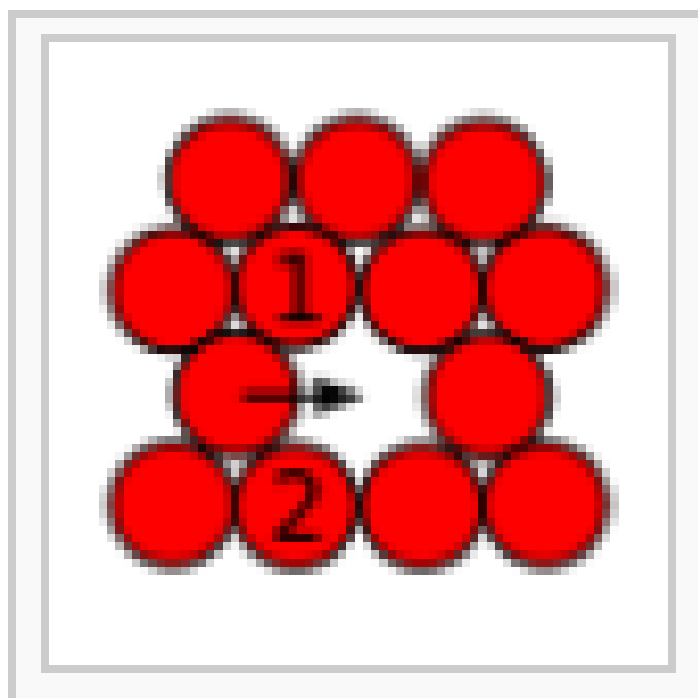
Teoriyalıq jaqtan bunday esaplaw jolı menen kristallardadı defektler kontsentratsiyasın anıqlaw qıyın bolıp esaplanadı, biraq formulalardi jaqınlastırılıw shartleri menen esaplanısa belgili tuwrı esaplawdı alıwǵa boladı. Túyinler arasındadı ayırmashılıqlardı vakansiya kontsentratsiyaların anıqlaw, túyinler arasındadı kirtilgen atomlardı anıqlaya bul tiykarǵı darejeli kristallardıń parametr kórsetkishleri bolıp esaplanadı. 1000⁰ S temperaturada mıstıń tuyinler arasındadı kontsentratsiyası 10⁻³⁹teń, bul vakasiyalardıń kontsentratsiyasınan 35 ese kishi bolıp esaplanadı.

Kópshilik metallarda tuyinlerdi atomlardardıń kirtiliwi júdá qıyın bolıp esaplanadı, sonlıqtanda vakansiyalar tochkalıq defektler bolıp esaplanadı.

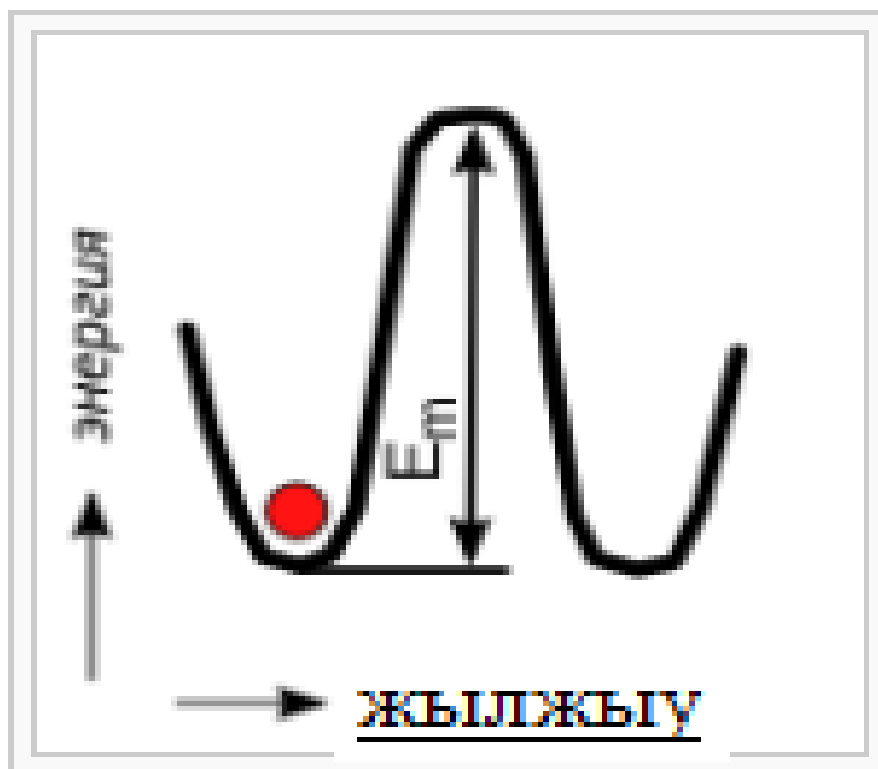
Tochkalıq defektlerdiń migratsiyası

Atomlar terbelmeli qozǵalısqı kelgennen keyin óziniń energiyasın periodlı ózgertip otıradı. Jıllılıq qozǵalısqıń xautikalıq formada payda bolatuǵına baylanıslı energiya atomlardıń sanıń túrlerine baylanıslı hár qıylı bolıp ózgerip otıradı. Atom qońıslas atomlardan belgili bir energiyanı alǵannan keyin reshetskadadı óziniń halın ózgertip otıradı yaǵnıy qońıslas túyindegı atomnıń ornın iyeleydi. Bunday protsesslerge atomnıń migratsiya protsessleri yamasa tochkalıq defektlerdiń migratsiyası dep ataymız. Egerde kandayda bir atomdı vakansiyanıń ornına aparıp qoyatugin bolsaq, onda vakansiya atom ornına barıp otıradı. Usınday atomlardıń elementar jıljıwı hár kıylı atomlar arasında bolıp ótedi. 1-súwrette kórsetilgen atomlardıń bir oblasta jıynalıwında vakansiya belgili bir atomnıń ornına qaray jıljıp atom almasıwın payda etedi. 2-súwretten kórinip

turg'anday atomlar ko'nislas atomlardin qaysisinda potentsialliq energiya bareri kishi bolsa, sol atomga karay otiv protsessin dawam etedi. Sonin menen birge vakansiyalarda koshiwshi atomlarqa karama-karsi bagitta qozgalisqa keledi. Vakansiyanin migratsiyalaniv energiyasi E_m -aktivatsiya energiyasi dep aytiladi.



1.1-súwret. Defektlerdin vakansiyalar boyınsha jiljıwı



1.2-súwret. Elektronlardıń barer biyikligi arqalı ótiwi

Defektlerdiń tochkalıq stok hám derekleri

Tochkalıq defektlerdiń ápiwayı kompleksi –bul reshetkanıń qońıslas túyilerindegi jaylasqan bivakansiya (divakansiya), eki vakansiyalarǵa aytamız. Menshikli tochkalıq defektlerdiń hámde aralas atomlardıń eki yamasa onnanda kóp atomlardan turıwı metal hám yarımótkizgishlerdegi úlken komplekslerdi kuraydı. Bunday kompleksler metallardıń hám yarımótkizgishlerdiń mexanikalıq qásiyetlerin ózgerterdi, elektrlik hám optikalıq qásiyetlerin ózgerterip kompleksli tásir korsetiwi mumkin.

Bir ólshemli defektler

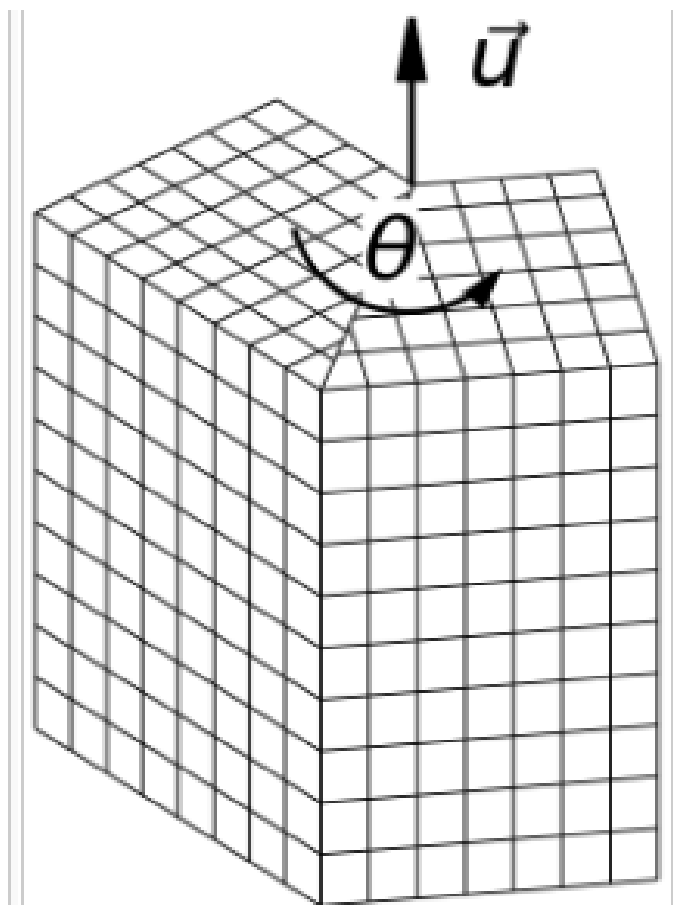
Bir ólshemli sızıqlı defektler kristalLdıń defektleri bolıp, kristalldıń reshetkasınan kórsetilgen baǵıt boyınsha úlken, al basqa eki baǵıt boyınsha teńlese alatuǵın defektler jıyındısı bolıp tabıladı. Sızıqlı defektlerge dislokatsiyalar ham disklinatsiyalar jatadı. Dislokatsiyanıń ulıwmalıq anıqlaması –kristalldıń oblast shegarasında jılıwı shegine jetpegen jaylasıwlar bolıp

esaplanadı. Dislokatsiya (Byurgers vektorı) jılıw vektorı hám dislokatsiyanın sızığı menen jasalğan α -múyeshi menen xarakterlenedi.

Egerde $\alpha=0$ bolatúgın bolsa, onda dislokatsiya vintlik dep ataladı, $\alpha=90^0$ bolatúgın bolsa, onda dislokatsiya shetki dislokatsiya dep, al basqa waqıtları dislokatsiyalar almasıp keletúgın bolsa, onda olar vintlik hám shetki qurawshılarına bólinedi. Dislokatsiyalar kristallarda kristaldıń ósiwi waqtında, kristaldıń deformatsiyalanıwında hám basqada sebeplerge baylanıslı payda boladı. Olardıń kristallarda bólistiriliwi hám sırtqı tásiridin tásirinde ózgeriwleri kristaldıń mexanikalıq dúzilisiniń qayta bólistiriliwine tiykarlangan boladı. Sebebi kristallarda defektler yamasa dislokatsiyalar payda bolğan waqıtta onıń elektr ótkizgishligi, bekkemligi, plastikligi ózgerip otıradı. Disklinatsiya kristallda tewsilmegen burılıwdıń shegaralangan oblasti bolıp tabıladı. Ol burılıw vektorı menen xarakterlenedi. [1]

Eki ólshemli defektler.

Kristaldıń beti-usı klastıń defektleriniń tiykarǵı aǵzası bolıp esaplanadı. Ayırım yaaqıtları-bul klassqa kiriwshi defektler-materialdıń dáleshe shegaraları(zeren), kishi múyeshli shegaraları (disslokatsiyalardıń assosotsiyaları), ekilengen tegislikler, fazalardıń betlik bólimleri hám t.b.



1.3-suwret. Defektlerdiń múyesh boyınsha anıqlanılǵan kórinisi

Úsh ólshemli defektler

Kólemlik defektler. Bunday defektlerge vakansiyalardıń toplanıwı, kanallar hám jıynalıp kalǵan bir tegis emes atomlar ornı, hár qıylı defektler, mısalı: gaz kóbiksheleriniń jıynalıwı, aralaspalardıń sektorlar túrinde jıynalıwı hám ósiwi mısal boladı.

Qaǵıyda boyınsha aralaspalar fazası yamasa poralardıń qosılıwı úsh ólshemli defektler bolıp esaplanadı. Kóp defektlerdiń konglomerat ólshemi úsh ólshemli defektlerge mısal boladı. Kristalldıń ósiwinde rejimniń buzılıwı, qattı aralaspanıń ıdırawına alıp keledi, usınıń esabınan kristall pataslanadı, demek defektler payda boladı. Ayırım waqıtları (mısalı dispersiyalıq qattılanıwda) kólemlik defektler materiallarǵa tuwrıdan tuwrı kirtiledi, usınıń esabınan kristalldıń modifikatsiyası ósiriledi. [2-3]

Defektlerden qutılıw usılları

Defektlerden qutılıwdıń eń tiykarǵı usıllarınń biri bul zonalıq balqıtıw usılı bolıp esaplanadı. Zonalıq balqıtıw usılı kremniy materialı ushın kóp kollarılatuǵın usıl bolıp esaplanadı. Kristalldıń bir bólegin balqıtıp sońınan balqıtılǵan kristalldı Kristall formasında tómen temperaturada alıw kerek. Ayırım waqıtları kristalldı kuydiriw arqalı taza kristall alınadı. Defektler joqarı temperaturada júdá úlken diffuziyalıq koefitsientke iye boladı. Vakansiyalar betke shıǵıp olar parlanıp ketiwide múmkin.

Paydalı defektler

Metallardıń plastikalıq deformatsiyasında (mısalı: kovkada, prokatkada) kóp sanlı dislokatsiyalar payda boladı, olardıń hár qaysısı hár túrli baǵıtqa iye boladı. Usınday usıl menen metallardıń bekkemligi artadı, biraq plastikligi kemeyip bara beredi. Jasalma jol menen lazerler ushın ósirilgen rubin, sapfirlerge xrom, temir, titan elementleriniń atomların kirtedi. Bunday hár qıylı elementlerdiń atomlarınıń kirtiliwi lazerlerde injeksiyalanǵan nurlardıń kogerent jaqtılıq nurların qaytarıwǵa járdem beredi. [4-5]

1.2. Kristallardıń hár qıylı bóleklerine defektlerdiń tásirlerin úyreniw

Dislokatsiyalarǵa potentsial barerdıń táseri, dislokatsiyaǵa iye kristallarda injektorlı zaryad tasıwshılardıń áste aqırın azayıwı kórinisinde boladı. Bul azayıwdıń tezligi, defektsiz kristallar ushın Shokli-Rid teoriyasına tiykarlanǵan eksponentsial qulawǵa salıstırǵanda anaǵurlım kishi boladı. Usıǵan sáykes, dislokatsiyaǵa iye kristallarda jasaw waqtı, dislokatsiyasız kristallarǵa salıstırǵanda úlken mániske iye boladı.

Bir qatar ilimiy jumıslarda, belgili dislokatsiya tıǵızlıǵına iye kremniy kristalında jasaw waqtın ólshew metodikaları keltirilgen.

Kishkene mánisli artıqmash dırkalar hám elektronlar tıǵızlıqlarında zaryad tasıwshılardıń óz-ara rekombinatsiyası statistikasına tiykarlanǵan modeldi paydalana otırıp, avtorlar n-tipli metallar ushın eki waqt kontsentratsiyaların yaǵnıy τ_1 hám τ_2 -lerdi alǵan.[6-7]

$$\tau_1 = \frac{\exp(-E_0^* / kT)}{C_p^0 N f_0}, \quad (1.2)$$

$$\tau_2 = \frac{\exp\left(\frac{-E_c - E_2}{kT}\right)}{C_n^0 N_c [k_1 f_0 + (1 - f_0)^{-1}]} \quad (1.3)$$

Analiz kórsetedi, zaryad tasıwshılardıń azayıw tezligin shegaralawshı «dominiruyushiy» konstanta, bul J_2 -bolıp esaplanadı, yaǵnıy jasaw waqtı turaqlı waqıt funktsiyası bolıp qaladı. Bunnan avtorlar, waqıt konstantası hám zaryad tasıwshılardıń jasaw waqtı kristalldaǵı dislokatsiya tıǵızlıǵına ǵárezli bolmaydı-degen juwmaqqa keledi.

Usı kúnge shekem primeslerdiń dislokatsiyalar menen óz-ara múmkin bolǵan tásirlesiwi anıqlanbaǵan.

Sonday bolsada bizge belgili, egerde primesli atomlar dislokatsiyalarǵa diffuziyalansa hám keyin olarda otırsa yamasa onda primesli atmosfera payda etse, onda dislokatsiyalardıń zaryadlı jaǵdayı ózgeriwi múmkin, usıǵan sáykes, keńislikli zaryadtıń tsilindirlik bultınıń qásiyetinde ózgeredi. Haqıyqatında da bir qatar ilimiy jumislarda jasaw waqtı dislokatsiya tıǵızlıǵına proporsional ekenligi kórsetilgen. Bul jaǵdaylardıń barlıǵında dislokatsiyalardıń hám primeslerdiń kombinatsiyalı tásiiri bayqalǵan.[8-9]

Bizge belgili, egerde kristallda dislokatsiyalar qanday bir baǵıtqa qarata orientirlengen bolsa, onda kristall ótkiziwsheńligi bul baǵıtqa salıstırǵanda kúshli anizotrop bolıp qaladı. Ádette, dislokatsiya átirapında keńislikli zaryadtıń tsilindirlik oblastınıń payda bolıwı, tiykarǵı zaryad tasıwshılardıń zaxvatı menen túsindiriledi. Bul zaryad tasıwshılardıń «Ekstraktsiya», eger zaryad asıwshılardıń aǵımı dislokatsiya sızıǵına paralell bolsa, onda ótkiziwsheńlik ózgermeydi. Paralell ótkiziwsheńlik- δ_{11} hám paralell qarsılıq- ρ_{11} ushın tómendegi ańlatpalar kiritilgen

$$\delta_{11} / \delta_0 = \rho_0 / \rho_{11} = -\epsilon \quad (1.4)$$

Bunda

$$\epsilon = -\pi R^2 D = fP(N_d - N_a) / a \quad (1.5)$$

δ_0 -dislokatsiyasız kristalldıń ótkiziwsheńligi

ϵ -keńislikli zaryadtıń tsilindirlik oblastın iyelewshi uristalldıń kólem úlesi.

R-keńislikli zaryadtıń tsilindr radiusı, D-dislokatsiya tıǵızlıǵı.

Tok dislokatsiya sızıǵına perpendikulyar bolǵan jaǵdaylar ushın, perpendikulyar ótkiziwsheńlik- δ_{\perp} ham perpendikulyar qarsılıq- ρ_{\perp} mánisleri ushın tómendegi ańlatpalar keltirilgen.

$$\frac{\delta_{\perp}}{\delta_0} = \frac{\rho_0}{\rho_{\perp}} = \frac{1-\epsilon}{1+\epsilon}, \quad (1.6)$$

bunda: $\epsilon < 0,7$

Keńislikli zaryadtıń tsilindrlik oblastı menen baylanıslı bolǵan ótiwsheńlik anazotropiyası. Bunda deformatsiyalanǵan izgibke iye kristall ushın ρ_0, ρ_{\parallel} hám ρ_{\perp} -lardıń temperaturalıq ǵarezlilikleri keltirilgen. Bul jumıs boyınsha avtorlar, egerde tok baǵıtı dislokatsiyalardıń qozǵalıwshańlıǵı, dislokatsiyasız kristallardı salıstırǵanda 50-80%-ke tómen baǵıtlanatuǵın anıqlanǵan.

Bul nátiyjeler keńislik zaryad oblastına jaqın orınlarda, zaryad tasıwshılardıń qosımsha shashırawı haqqındaǵı túsiniklerge ttiykarlanıp túsindiriliwi múmkin.

Dislokatsiyalardıń hám basqada defektlerdiń elektrlik qásiyetlerine primesler kúshli tásir jasaydı. “Taza” dislokatsiyalı kristallarda bayqalatuǵın ótkiziwsheńlik anazotropiyası, eger kristallǵa dislokatsiyalar joqarı temperaturalarda kirgizilgen jaǵdayda joǵalatuǵınlıǵı bayqalǵan.

Joqarı temperaturalarda deformatsiyalanǵan kristallar ushın dislokatsiya baǵıtına paralell hám perpendikulyar ólshengen qarsılıq mánisleri tek óz-ara ǵana emes, al deformatsiyalanbaǵan kristalldıń qarsılıq mánisleri menende sáykes keledi. Temperaturanıń tómenlewi menen ótkiziwsheńliktiń anizotropiya deformatsiyası artadı. Bul juwmaqlardı túsindiriwi ushın tómendegidey eki anıqlama keltirilgen.

1. On zaryadlanǵan ionlardıń (donorlardıń) qatnasıwı, dislokatsiya yadrosı janında, keńislikli zaryadtıń tsilindirlik oblastınıń radiusınıń azayıwına alıp keledi.

2. Aktseptorlıq jaǵdaylardıń payda bolıwına sebepshi bolatuǵın baylanıslar, primesler tásiri nátiyjesinde ózleriniń elektrlik aktivligin joytıdı.

Bul protsessler kristaldı joqarı temperaturalarǵa shekem qızdırǵan waqıtta bayqalǵanlıǵı sebepli, kristall deformatsiyası joqarı temperaturalarda, dislokatsiya átirapında kokalizatsiyalanatuǵın primesler diffuziyasını jumsartadı dep boljawımızǵa boladı.

Ótkiziwsheńlik anizotropiyası, sonıń menen birge, dislokatsiyalardıń tegis jıynawına alıp keliwi múmkin. Bunday defektler menen baylanıslı bolǵan ótkiziwsheńlik anizotropiyasını izertlew ushın, hár qıylı metodlar qollanıladı:

1) Kristaldıń volt-amperlik xarakteristikasını ólshew.

2) Lokal fototok mánisin ólshew h.t.b. Bir qatar ilimiy jumıslarda, germaniy hám krmeniy kristallarında zerna shegaraları, onıń qasiyetin tuwırlaydı yamasa blokirovkalaydı.

Zerna shegarası oblastında qarsılıq barlıq waqıtta turaqlı bolıp qalmaq, al kernewdiń artıwı menen ósetuǵınlıǵı anıqlanǵan. Bul qubılıs ádette, zernalar aralıq shegara, qadaǵan etilgen zonada spetsifikalıq hallardı payda etiwshi, dislokatsiyalardan turatuǵınlıǵı menen tusindiriledi.

Kremniyde dislokatsiyalar ádette «primesli atmosferanı» payda etiwshi primesler menen «dekorirovan» boladı.

$$r_a = r(1 - \epsilon)$$

radiuslı atom menen matritsadaǵı dislokatsiyalar arasındadı óz-ara tásirlesiw energiyasını tómendegi ańlatpa járdeminde kórsetiwge boladı.

$$U = \frac{4}{3} \cdot \frac{(1 + \nu)\mu b \epsilon \nu^3 \sin \alpha}{(1 - \nu)R} \quad (1.7)$$

Bunda ν -Puasson koefitsienti, μ -serpellik moduli, ν -Byurgers vektroı, R hám α - tegisliktegi polyar koordinatalar.

Bunday primesler tarqalǵan Fe, Ni, hám Cu-lar ushın kremniydiń dislokatsiyaları arasındadı óz-ara tásirlesiw energiyası jeterli dárejede úlken, demek primesli atmosferanıń qaliplesiwi shárt bolıp esaplanadı.

Bul úlgilerdiń volt-amperlik xarakteristikaların ólshegenimizde, neomicheskiy jaǵdaydıń birden túsip ketetuǵını bayqaladı, ólshewdi usılay dawam ettire bergenheimizde, maydan usı defektlerdi kesip ótken waqıtta, nurlanıw bayqalmay qaladı.

FKP metodi ósirilgen taza kristallargá salıstırǵanda, ótkiziwshilik anizotropiyası tek tómen temperaturalarda ǵana payda boladı. 5.6-súwrette shegaraǵa perpendikulyar baǵıtta ólshengen volt-amperlik xarakteristikaǵa tasiri kórsetilgen.[10-11]

Bul kristallardı skanerlewshi elektronlı mikroskopta EBIC-rejiminde izertlese, egerde skanerlew defektlerge zaryad tasıwshılardıń rekombinatsiya oblastı túrinde payda boladı. Egerde elektronlı nur usınday shegaranı kesip ótse, onda jasaw waqtınıń azaayıwı esabınan defektli oblastta toktıń kemeyiwi bayqaladı.

Diffuziya qubılısı bolıp ótpeytuǵın, kristallda baqlanatuǵın shegaraǵa sáykes keliwshi bul rekombinatsiya oblastlarında, rekombinatsiya orayları bunnan basqa hareket etpeydi degen túsinikti beredi. Fosforlı diffuziya protsessi, defektler tıǵızlıǵın ózgertpewi shárt, sebebi bul jaǵdayda ol, aktiv defektlerdiń elektrlik qásiyetlerine jeterli dárejede tasir jetkiziwi múmkin. Ulıwma alınǵan informatsiyalardı tómendegishe túsindiriwimizge boladı.

Fosforlı diffuziya ótkerilmegen kristall jeterli dárejedege kristallografiyalıq defektler tıǵızlıǵına iye boladı hám defektke primesler kirgizilgen jaǵdayda kristall «elektrlik aktiv» sanaladı. Kristallǵa fosfor diffuziyası protsessinde fosfor hám primeslerdiń óz-ara tásirlesiwı nátiyjesinde, defektlerden primeslerdiń «getterirovanie»-si bolıp ótedi.

Usınıń saldarınan defektler elektrlik aktiv bolmay qaladı, sonlıqtanda EBIC-metodi járdeminde baqlanadı. Kristallda defektlerdiń elede barlıǵı haqqında, selektivli travit etken waqıtta payda bolǵan defektler guwalıq etiwı múmkin. Bul nátiyjeler, defektlerdiń kremniyli priborlardıń elektrlik qásiyetlerine tásiri, «taza» kristallografiyalıq defektlerge emes, al defekt-primes assotsiatlarına tiykarlanǵan degendi bildiredi.

Sonlıqta, kristallografiyalıq defektlerge baylanıslı bolğan barlıq problemelar, primesler menen shártli túrde baylanıslı boladı.

1.2. Elementar yarım ótkizgishlerdegi termo-hám radiatsiyalıq defektler, olardıń qásiyetleri (sholıw)

Kristallarğa yadrolıq nurlanıwlar tásir etkende hár qıylı dárejeli quramalılıqtaǵı dúzilislik buzılıslar payda bolıp, olar materiallardıń elektrofizikalıq qásiyetleriniń ózgeriwine alıp keledi. Kremniy hám germaniy kristallarındaǵı radiatsiyalıq defektlerdiń tiykarǵı bólegin ójire temperaturasında hám onnan joqarıraq temperaturalarda da turaqlı qalatuǵın divakansiyalar hám olardıń hár túrli kompleksleri bolıp, quramına tiykarınan vakansiyalar hám kiritpe atomları, baylanısqan túyin aralıq atomlar juplıqları hám túyin aralıq atom+vakansiya h.t. basqalar kiredi. [1-3]

Eń áhmiyetli (jılısqan) jılıǵan atomlar konfiguratsiyası komplekslerinen biri bul kroudion bolıp bunda qosımsha atom tıǵızlanǵan upakovka sızıǵı boylap jaylasadı. Bunday kombinatsiya barqulla turaqlı bola bermeydi, sonlıqtan bul jaǵdayda túyin aralıq atom «gantel» konfiguratsiyasın payda etedi. [4-5].

Ayırım ápiwayı defektler júdá tómen temperaturalarda otjig boladı. Bunday defektlerge eki ret zaryadlanǵan hám neytral mono vakansiyalar jatadı. Vakansiyalar kristaldaǵı hár qıylı kemtikler tárepinen uslap alınıp olar menen birqatar kompleksler payda etedi. Vakansiya+kislorod atomı kompleksi A-oray túrinde belgili. Oǵan yarım ótkizgishte $E_c - 0,17$ EV aktseptor qáddi tuwra keledi. A-orayları salıstırmalı turaqlı bolıp 575K nen joqarı temperaturalarda otjig boladı, aktivlesiw energiya 1,3 EV [6,7]. İnfraqızıl (İK) spektrlerin izertlew arqalı [8,9] -neytronlar menen nurlandırılǵan kremniy kristalların 250⁰ C ǵa shekem otjig qılǵannan keyin A-oraylardıń kontsentratsiyasınıń artatuǵınlıǵı baqlanǵan. Bul berilgenlerden neytronlar menen nurlandırılǵan kremniyde onsha kóp bolmaǵan sandaǵı vakansiyalar payda bolıp olar qozǵalısqa kelip kislorod atomları tárepinen uslanatuǵınlıǵı tuwralı juwmaq jasaladı.

Komplekstin basqa bir túri vakansiya+ V - gruppanın legirlewshi qosımtası E-oray bolıp oǵan E_c -0,43 EV qáddi sáykes keledi. 0,94 EV akitivleciw energiyası menen 390-450 K temperaturalıq oblastta otjig boladı. [10]. [10] jumısta bor hám alyuminiy menen legirlengen S8 kristalların 3 MEV lik elektronlar menen nurlandırǵanda E_v +0,43EV hám E_v +0,4EV foto ótiw qaddileri anıqlanǵan. Bul energetikalıq qáddiler 250⁰-300⁰S temperaturalarda qızdırǵannan keyin joǵalǵan. Avtorlar Votnikstin [11] nátiyjelerine tiykarlanıp bul foto ótiwlerdi túyinler arasındǵı bor atomına (0,43)EV) hám alyuminiy (0,4EV) atomlarına tiyisli degen juwmaqqa keldi.

Divakansiyalar hár qıylı zaryadlıq awhalda boladı: oń, neytral, bir mártebe teris zaryadlanǵan hám eki ret teris zaryadlanǵan. Olardıń aktivlesiw energiyası 1,6 EV bolıp 250-250⁰ S temperaturalar oblastında otjig boladı [13].

Awır bóleksheler menen nurlandırılǵan kremniyde EPR usılı menen eki zaryadlıq awhalda bolatuǵın tetra vakansiyalar anıqlanǵan.

Sonday aq vakansiyalıq klasterlerden turatuǵın VV -oraylar dep atalıwshı defektler de málim [12]. Bul VV- oraylarınıń ionlar menen nurlandırılǵan kremniyde payda bolıwı monokristall qatlamınıń amorf qatlamǵa ótiwi menen baylanıslı.

Túyinler aralıq atomlardıń joqarı qozǵalǵıshlıǵı sebepleri olardıń qásiyetlerin hám rolin túsiniwde belgili qıyınshılıqlar tuwadı. Olar tezirek qanday da bir aktiv emes kompleksler payda etiwge ketedi. Votkins [II] túyinler aralıq atomlar menen baylanıslı effekt taptı: túyindegı atomdı almastırıwshı aralaspı atomı túyinler aralıq atomlar menen tásirlesiw nátiyjesinde túyinler arası awhalına ótedi.

Bul effekt dáslep nurlandırılǵan kremniyde EPR járdeminde anıqlandı, keyin túyinler aralıq alyuminiyde, onnan keyin surma aralaspası bar germaniyda (77 K-de) baqlandı.

Kremniydiń túyinler aralıq atomlarınıń elektr aktivligi tuwralı ayırım boljawlardan basqa anıq maǵlıwmatlar joq. Djeyms hám Lark -Goravitsler [13] túyinler aralıq atom óziniń menshikli materiallarında bir oń zaryadlı donor túrinde

bolıwı kerek, al P- S8 de eki oń zaryadı, al p-S8 de elektrsiz neytral halda bolıwı kerek dep esaplaydı.

Blount [13] modeli boyınsha kremniy hám germaniydiń túyin aralıq atomları amfoterlik qásiyetke iye bolıp, menshikli materialında neytral, P-tipte oń, n-tipte teris zaryadlangan boladı dep esaplanadı.

Zegerdiń [14] pámlewinshe kremniń túyinaralıq atomı oń zaryadlangan $E_v+0,4$ EV qáddige iye bolıp onıń aktivlesiw energiyası 0,85 EV qa teń. Votkins hám Chiktiń nátiyjelerine súyengen halda Zeger n-S8 diń túyinaralıq atomları aktseptorlıq 0,7 EV hám donorlıq $E_v=0,8$ EV qáddilerge iye degen juwmaqqa keledi.

Konozenko hám basqalar [14] neytronlar menen nurlandırılğan ayrıqsha taza kremniydi izertley otırıp tiykarǵı payda bolatuǵın defektlerdiń tártipsizlestirilgen oblastlardan turatuǵınlıǵın anıqladı-hám bul kristallardı 200-250⁰ S shekem qızdırganda divakansiyalar saldarınan $E_v+0,27$ EV qáddi bayqalatuǵınlıǵın, bul tártipsizlestirilgen oblastlardıń ıdırawı saldarınan bolatuǵınlıǵın kórsetti. Usı avtorlar $0,85 \pm 0,1$ EV energiya aktivatsiyası menen 150⁰ S da qızdırganda joǵalatuǵın $E_v+0,43$ EV rekombinatsiyalıq qáddini γ -nurları menen nurlandırılǵın P -tiptegi asa taza kremniyde baqladı.

Zeger hám Franklerdiń pikirleri boyınsha bul baqlanǵan qáddi oń zaryadlangan awhaldaǵı kremniydiń túyinler aralıq atomına sáykes keledi. Biraq Konozenko hám basqalar bul defektti V+B defektler assotsiatsiyasına sáykeslendiredi.

[14] avtorlarınıń kórsetiwinshe eki kiritpeden turatuǵın [100] baǵıtında jaylasqan kremniydiń orın almasıwshı atomları menen qońsılas jaylasqan oń zaryadqa iye konfiguratsiya $[S8_g]$ 440 K temperaturada joǵaladı (otjigaetsya). Ortorombalıq dipol [110], ıdıraǵan kremniy atomların óz ishine aladı hám 370-420 K temperaturalıq intervalda joǵaladı. Bul eksperimentallıq nátiyjelerden eń áhmiyetli juwmaq: kremniydegi túyinler aralıq atomlardıń qásiyetleri olardıń geometriyalıq konfiguratsiyası hám zaryadlıq awhalı menen kontrollanadı dewge boladı.

Germaniy kristallarındaǵı defektlerdi identifikatsiyalaw -kremniyge salıstırǵanda anaǵurlım quramal.. Olardıń túyinaralıq atomlarınıń migratsiyalanıw (kóshiw) energiyası júdá kishi 0,004 EV, sonlıqtan olar kompleks payda bolıwınan burın aǵısta-aq joǵaladı.

Spin-reshetkalıq relaksatsiyanıń úlkenligi sebepli germaniy kristallarına EPR metodın qollanıw qıyınǵa soǵadı. Solay bolsada EPR spektrleri boyınsha mıshyak atomı+eki vakansiya kompleksi identifikatsiyalandı, ol 210⁰C qa shekem turaqlı boldı. Sonday-aq vakansiya hám kislorod atomın óz ishine alatuǵın kremniydegi A-orayına uqsas defektler de tabıldı.

Germaniydiń n-tiptegi kristalların nurlandıırǵandaǵı elektronlardıń kontsentratsiyasınıń kemeyiwın ádette vakansiya+ donor neytral kompleksiniń payda bolıwı menen baylanıstırıladı.

Strukturalıq defektlerdiń simmetriyası hám serppeli dipoldıń modeli.

Noqatlıq defektler hám olardıń kompleksi kristallardıń translyatsiyalıq simmetriyasın buzılısqa ushıratadı. Eger defektli kristalldıń simmetriyası ideal kristalldıń simmetriyasınan tómen bolsa, onda defekttiń birden kóp bolǵan ózgeshelik konfiguratsiyası bolıwı kerek. Defektlerdiń simmetriyası jeti simmetriya sistemasınıń birewine jatadı. Noqatlıq defekttiń simmetriyası defekt iyelep turǵan awhaldıń ápiwayı simmetriyası boladı. Awhaldıń simmetriyası termini ideal kristalldıń defekt payda bolǵan noqattaǵı simmetriyasın ańlatadı. Bul simmetriya elementar yacheykanıń hárqıylı noqatları ushın hárqıylı bolıp kristalldıń keńislik gruppasına baylanıslı boladı.

Eger defekt berilgen noqat penen «gantel» jasawshı bir atlaslı eki atomnan turǵanda juptıń orayı bolıp tabıladı. Tómendegi simmetriya elementleri ganteldiń bolıwı menen tolıq úylesimli boladı:

- ganteldiń kósheri menen sáykes keliwshi n-shi tártipli aylanıw kósheri;
- ganteldiń kósherine perpendikulyar baǵıtta 2-shi tártipli aylanıw kósheri;
- ganteldiń kósherin ishine alatuǵın yamasa oǵan perpendikulyar aynalıq shaǵılısıw tegisligi;
- inversiya orayı.

Álbette, gantel bul barlıq simmetriya elementlerine iye hár túrli atlaslı juplar jaǵdayında reshethanı qorshaǵan simmetriyanı juplıq kósheriniń qálegen noqatına salıstırıp qarawǵa boladı. Hár atlas juplıqlar tek tómendegi simmetriya elementleri menen ǵana úylesimli:

-aylanıw kósheri yamasa n-shi tártipli inversiyalıq burılmalı kósher menen.

-juplıq kósheri óz ishine alatuǵın aynalıq shaǵılısıw tegisligi menen.

Tek usı elementler, eger olar awhal simmetriyasına tiyisli bolsa, defekt simmetriyasına da tiyisli bolıwı múmkin. Sonı atap ótiw kerek, serpinsizliktiń múmkinshiligin anıqlaw ushın simmetriya sistemasın biliw áhmiyetli (tetragonallıq, ortorombalıq h.t.b.)

Kristallǵa noqatlıq defektti kiritiw lokallıq serpimli buzılıs payda etedi. Bul buzılıslardıń nátiyjesinde defekt kristallǵa berilgen (túsirilgen) birtekli kernew menen óz-ara tásirlesedi. Bul tásirlesiw elektr dipoliniń túsirilgen elektr maydanı menen tásirlesiwine uqsas boladı. Sonlıqtan lokallıq buzılıs jasaytuǵın defekt Kroner [26] tárepinen serpimli dipol dep ataldı.

Tiykargı ayırmashılıq elektrlik dipol elektr maydanı menen tásirlesiwden anıqlanatuǵın vektorlıq shama, al serpimli dipol ekinshi rangalı tenzor- menen xarakterlenedi, sebebi ol serpimli kernew maydanı menen tásirlesedi hám tolıǵı menen ol λ - tenzori menen anıqlanadı.

Defekt kirgizilgende kristalldıń deformatsiyasınıń ózgeriwi tómendegi teńleme menen jazıladı [15].

$$\varepsilon_{ij}^d - \varepsilon_{ij}^0 = \sum_{p=1}^{n_d} \lambda_{ij}^{(p)} C_p \quad (1.1).$$

bundaǵı ε_{ij}^d hám ε_{ij}^0 defektli hám defektsiz kristalldıń deformatsiya tenzorlarınıń sáykes komponentaların ańlatadı. (8, j=á,ǵ,q), P-defekttiń n_d ekvivalentlik orientatsiyalarınıń múmkin birewiniń indeksi, hám

$$C_p = \frac{N_p}{N_\mu} = \vartheta_0 N_p \quad (1.2)$$

S_p -p orientatsiyalı defekttiń molyarlıq úlesi; N_p hám N_μ

-sáykes p orientatsiyalı defektlerdiń sanı hám bir birlik kólemdegi molekulalardıń sanı, ϱ_0 - molyarlıq kólem.

Metallıq qatlamlar arasındaǵı óz-ara payda bolatuǵın diffuziyalıq protsessler

Plenkanı kúydiriw altın betiniń belgili emes ózgerislerine alıp keldi hám okisleniwden plenkanıń lokallıq qatlamınıń payda bolıwına alıp keldi.

Usıǵan baylanıslı Au-Cu sistema izertlew (ótkizgishlikti izertlew metodu, sonday-aq jaqtılandırıwshı elektron mikroskopiyalı metod) vakuumda 280-450°S temperaturada, hawada qızdırılǵan izertlewler júrgizildi. Hawada kúydirilgen waqıtqa baylanıslı qalıńlıǵı 8000Å altın plenkasınıń salıstırmalılıq qarsılıqqa ǵárezziligi 3-súwrette kórsetilgen. 350°S temperaturadan joqarı temperaturada salıstırmalı qarsılıq birdn on ese artadı, al sońınan áste kemeyedi.

Usıǵan uqsas nátiyje jumısında alınǵan salıstırmalı qarsılıqtıń maksimum mánisi anıqlanǵan. Bunday ǵárezzilik qalıńlıǵı 500Å teń bolǵan altın plenkasında alındı, biraq bul waqıtta ósiw tez alıp barıldı. Jaqtılandırıwshı elektronlıq mikroskop arqalı (altınıń juqa qabatın) 385°S temperaturada qarastırsa tómendegi izbe-izliktegi nátiyje anıqlandı.

1. Kanalshalar payda bolıp olar kristallıq bóleklerdiń shegarasınan lokallanǵan hám kóp tarmaqlanǵan bolıp hár bir ózeksheniń diametri altınıń dáneshesinen belgili ese úlken.

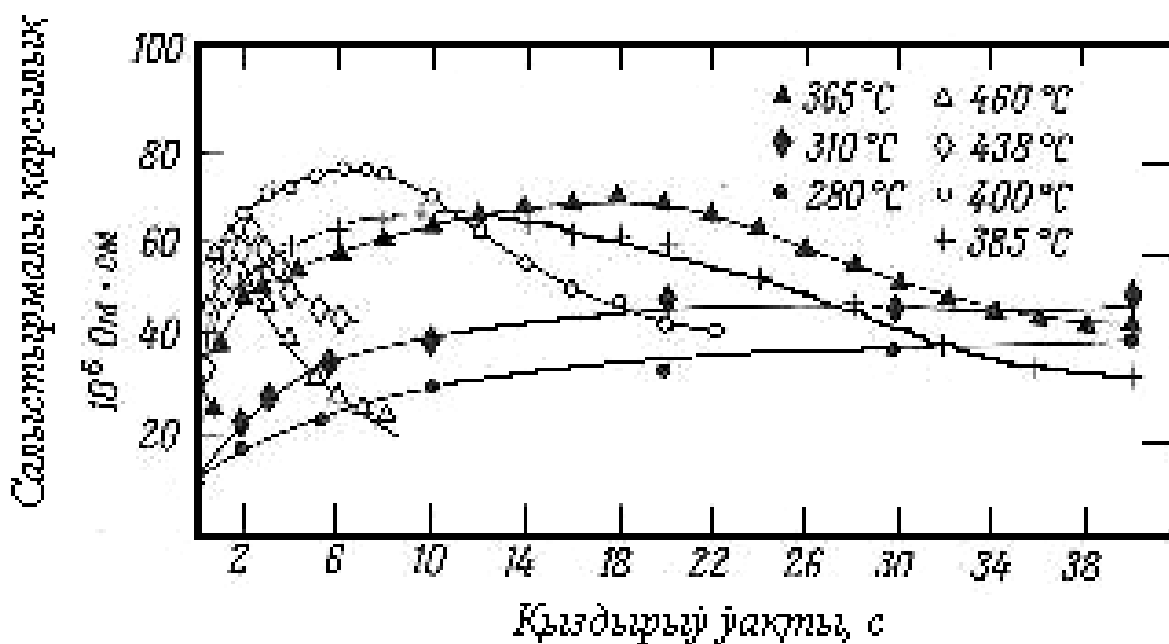
2. Altınıń shegarasın kesip ótken waqıtqa baylanıslı Cr₂O₃-dúzilisiniń qosılıwı payda bolǵan, bunda usı waqıtta plenkanıń qarsılıǵı maksimum mánisine jetken. Sonıń menen birge plenkanıń betti juqa polikristallıq Cr₂O₃ qatlamı menen qaplanǵan.

3. Kristallıq bóleksheler menen shegarada tuyıq kesiminen túyin túrinde ashıq kanalshalar payda bolǵan, olardıń ortasında birikken Cr₂O₃ kristalları óse baslaǵan.

4. Cr₂O₃ kristallınıń ósiwi xromnıń qatlam astındaǵı qatlamı joq bolǵansha óse baslaydı. Usı waqıt aralığında plenkanıń salıstırmalı qarsılıǵı dáslepki

halındağıday mániske shekem kishireye baslaydı. Usı alınğan nátiyjeden bir qansha juwmaqlar shıǵarıwǵa boladı.

Kristallıq bóleksheler shegarasındağı kanaldıń jekeligi hám dáleshe shegarasın Cr_2O_3 qatlamı qosılǵannan keyin kesip ótiw hám Cr_2O_3 betlik qatlamnıń payda bolıwı, maksimal salıstırmalı qarsılıqtıń payda bolıwı, reshetskaniń toyınıwı bul dáleshe shegarasında diffuziyanıń payda bolıwın hám kólem boyınsha intensiv diffuziyadan payda bolıwın bildiredi.



1.4-súwret. Cr-Au alıwdaǵı sistemasındaǵı salıstırmalı qarsılıqtıń plenka qalıńlıǵına baylanıslı ózgeriwi

Kristallıq bólekler shegarasındaǵı effektlerdiń payda bolıwın altınıń qalıń qatlamǵa iye shegarasında qarsılıq juqa qatlamdaǵı kristallıq bóleklerdiń qasındaǵı qarsılıqqa qaraǵanda áste tezlik penen ósedı. Kólemlık diffuziya kristallıq bóleklerge gárezli emes túrde bolıp ótedi.

Bunnan basqa diffuziyalıq protsess Fisher shegarası boyınsha úlken áhmiyetke iye. [16] Usınıń nátiyjesinde xromnıń kristallıq bólekiniń oblastnan diffuziyalanıwı nátiyjesinde hám Au-Cr kristallıq bólekiniń betinen kristallıq reshetka toyınadı.

Usınday jol menen xrom reshetkaǵa joqarı tezlik penen endiriledi. Toyınw protsessinen soń xrom betlik oblasttan okisleniw nátiyjesinde joq bolıp ketedi.

Xoplovuay EOS metodı menen okisleniwın joqarı qatlamnıń izertledi.

Okisleniw protsessi betke diffuziyalawshı xrom ionınıń jutılıwın támiyin etiwshi kinetikada áhmiyetli rol oynaydı. Bul bette erkin xromnıń nollik konsentratsiyasın keltirip shıǵarıp, aǵımdı úlkeytedi. Diodlıq strukturalardıń parametrleriniń ózgeriwi asa-joqarı jiylikli nurlanıwdan soń metall-

yarımótkizgish kontaktiniń fazalar aralıq shegarasındaǵı ximiyalıq almasıwǵa baylanıslı boladı. Fazalar arasındaǵı óz-ara tásirlerdi analizlew ushın metall-yarımótkizgish kontaktindegi platiniyden turatuǵın oje-profiller qarastıradı. Pt-GaAs kontakti ushın fazalar aralıq tasirler tómendegishe real arqalı jazıladı. Zaryad tasıwshılardıń dreyflik qozǵalısqı qarama-qarsı baǵıttaǵı diffuziyalıq qozǵalısqı penen teń samaqlılıqqa kelmegenshe ishki maydanniń kernewliliǵı arta beredi. Elektrik maydan n hám r-oblastınan φ_0 -potentsiallar ayırmasın payda etedi. Birikken oblasttıń qalıńlıǵı $L_{o\phi}$ r-oblastında jatadı. hám teris aktseptorlıq ionlardı qamtıydı. Al basqa $L_{o\phi n}$ -oblastına iye n-oblastı oń zaryadlanǵan diodlardıń ionlarına iye boladı. Birikken oblasttıń tolıq qalıńlıǵı $L_{o\phi} = L_{o\phi p} + L_{o\phi n}$ ǵa teń boladı.

Birikken oblast tolıǵı menen neytral bolıp r-oblasttaǵı teris zaryadlar $Q_{o\phi} = qNaL_{o\phi p} S$, n-oblastındaǵı $Q_{o\phi} = qNgL_{o\phi n} S$ teń boladı (S-ótiwdiń maydanı). Zaryadlardıń teńligine tiykarlanıp $L_{o\phi n} / L_{o\phi p} = N_A / N_D$ boladı. Simetriyalı emes ótiw qatlamları ushın $N_a \gg N_D$ bolǵanlıqtan $L_{o\phi n} \gg L_{o\phi p}$ hám $L_{o\phi n} \approx L_{o\phi}$ shamaları orınlanadı. Usılargá tiykarlanıp birikken oblast bazada -aralaspalardıń kotsentratsiyasın az bolıwına tiykralanadı.

Yarımótkizgishli strukturalardıń mikroplazmalıq karakteriografiyası bul buzılmaytuǵın diagnostikaniń quwatlı instrumenti bolıp hám kúshli diodlardıń kúshli yarımótkizgishlerdiń isenimlilikin prognozlaw hám quwatlı tranzistorlardı teristorlardı hám lavinlik vintellerdiń isenimlilikin prognozlap beriwshi instrument bolıp esaplandı. Ol yarımótkizgishli strukturalardıń lokalizatsiyalanǵan mikroplazmasınıń proboy qublıslarına tiykarlanıp hám modulyatsiyalıq differentsiyallaw járdeminde mikroplazmanıń qosıw kernewi hám qosıw qarsılıǵı degen parametrlerin aladı. Alınǵan nátiyjelerdi qayta tekseriw arqalı potentsial jaqtan yarımótkizgishler priborlardıń isenimsiz ekenin dálillep beredi. Mikroplazmalar strukturaniń hár qıylı defektleri menen baylanıslı boladı. Mısalı, dislokatsiyalar mikroóshiriwler aralaspalardıń toplanıwı hám t.b. Mikroplazmanıń r-n-ótiwiniń maydanı boyınsha bólistiriwiniń xarakteri olar

qaysı defektler payda bolǵanına baylanıslı boladı. R-n ótiwine iye birteksiz yarımótkizgishli strukturalardaǵı toktıń ótiwiniń tiykarǵı mexanizmlerin izertlew úyreniw ushın birinshi r-n ótiwin hár tárepleme jaqsılap túsiniw alıwımız kerek.

Ótiwler arasında sırtqı tásir bar bolatuǵın bolsa onda ótiwdegi ayırım parametrlardıń hár tárepleme ózgeriwi bolıwı múmkin. Elektrik ótiw dep – qattı deneniń oblastları arasındaǵı hár qıylı tiptegi ótiw qatlamlarına yamasa ótkizgishliktiń mánislerine aytamız mısalı: yarımótkizgishtiń n hám r tipleri arasındaǵı, metall menen yarımótkizgish arasındaǵı elektrik penen yarımótkizgish arasındaǵı ótiwlerge aytamız.

Yarımótkizgishtiń oblastındaǵı ótiw elektr ótkizgish p hám n-tip bolsa bunday ótiwge-elektron dırkalıq yamasa p-n-ótiw dep aytamız. Bul oblastlar yarımótkizgishtiń monokristallarında hár qıylı texnologiyalıq metodları qollanılıp isletiledi. Mısalı, n-tiptegi úlgi kristallda aktseptorlıq aralaspalar menen legirlew.

1. Legirlewde sırtqı ortalıqtan joqarı temperatura arqalı aralaspalar atomlardı diffuziyalıq jol menen kiritedi.

2. Kristalldı aralaspalardıń ionları menen bombardirovka qılıw arqalı yaǵnıy ionlıq engiziw metodu.

3. Balqıtıw jolı menen legirlew. P-n-ótiwdi dóretiwde taǵı da epitaksiyalıq metod qollanıladı, bulda kristalldıń betine yaǵnıy bul kristallımızdı podlojka dep, usınıń betine juqa plenkanı yaǵnıy ótkizgishligi basqa tip bolǵan kristall otırǵızıladı.

Bul otırǵızılǵan kristall podlojka menen bir monokristalldı payda etedi. Usınday jol menen kristallıq reshetskaları bir-birine sáykes keletuǵın basqa bir yarımótkizgishli kristalldı podlojkaǵa otırǵızıwǵa boladı hám bul geteroótiwler dep ataladı. Bunday ótiwler bir-birinen tok qadaǵan zonaları menen ajraladı.

Eger oblastlar arasında aralaspalardıń kontsentratsiyalar ayırması bolsa hám bul kontsentratsiyalar ayırması bir tipte bolsa onda (n^+-n) elekttron-elektronlıq yamasa (r^+-r) gewik-gewikli dep ataydı. $\langle t \rangle$ indeksi bul úlken kontsentratsiyalıq iye degendi ańlatadı.

Metall yarımótkizgish elektrlik ótiwinde metall yarımótkizgish elektrlik ótiwinde jaqsı tazartılğan yarımótkizgishtiń betine vakuumlu húrlendiriw menen metall atomları otırǵızıladı.

Elektrlik ótiwlerge bunnan basqa metall-dielektrlik yarımótkizgish (MDP) strukturaları jatadı. Bunda metall menen yarımótkizgish arasında juqa dielektrik plekası ornalastırıladı.

Elektrlik ótiwler barlıq yarımótkizgishli priborlarda qollanıladı hám olardıń eń bir áhmiyetli dúzilisleri bolıp esaplanadı.

Ótiwlerde fizikalıq protsesslerdi kópshilik yarımótkizgishli priborlarda olardıń tiykarǵı islewine baylanıslı boladı.

R-n ótiwdiń parametri hám strukturası aralaspardıń kontsentratsiyasına hám oblastlardıń geometriyalıq razmerine baylanıslı boladı. Bunday struktura integrallıq sxemalar hám diskretli priborlar ushın kóp tarqalğan (yamasa kóp qollanıladı).

Toliq p-n-ótiwlerge tegis emes krevoy (shetki) tsilindr hám sferalıq formaǵa iye metallurgiyalıq granitsalar bolıp. Eger elektrlik parametrlerge shetki bólimler (az) tásir etetuǵın bolsa onda zaryad tasıwshılar hám ótiw tegis dep esaplanadı.

Bunda $X > X_0$ mánisi n-tiptegi podlojkaǵa derek, al $X < X_0$ -r-tiptegi epitaksiialıq plenkaǵa derek.

Priborlarda simmetriyalı emes p-n-ótiwi kóp qollanıladı, bularda aralaspardıń muǵdarı emitterdegi oblastında belgili dárejede-bazadaǵıdan kóp boladı. Mısalı, r^+ -n ótiwinde r^+ -oblastında joqarı kontsentratsiyaǵa iye bolıp emitter, al n-az kotsentratsiyasına iye donor baza etip alınadı.

Ótiw qatlamındaǵı teń-salmaqlılıq sırtqı kernewdiń nollik qáddine sáykes keledi. Eger n-oblastınıń kontsentratsiyası r-oblastına qaraganda kóp bolatuǵın bolsa, elektronlardıń bir bólimi n-oblastınan r-oblastına diffuziyalanadı. Usı waqıtları r-oblastında awısıp kelgen elektronlarpayda boladı, olardıń bir bólegi metallıq granitsa tárepinde boladı.

Elektronlar tesiksheler menen rekombinatsiyalana baslaydı. Usıǵan sáykes tesikshelerdiń kontsentratsiyası, olardıń ornında aktseptorlıq teris ionlar payda

bola baslaydı. Al usıǵan qarama qarsı tárepinde yaǵnıy metallıq granitsadan basqa tárepte elektronlardıń ketiwi menen oń donorlıq ionlar payda boladı. Bul metallıq granitsa menen hám oǵan qarama-qarsı oblastta yanıy eki tártipte tómen konsentratsiyaǵa iye birikken oblast payda boladı. Bul oblastta payda bolıwshı aralaspalardıń ionlarınıń kólemlik zaryadları hám olar tárepinen payda bolatuǵın elektrlik maydan zaryad tasıwshılardıń diffuziyalıq tásirin tiygizedi, usınıń nátiyjesinde teńsalmaqlılıq ornaydı usı waqıtta ótiw aǵımındaǵı tok nolge teń boladı.

§1.3. Shottki diodlarınıń voltamperlik xarakteristikasına ultrases tolqınlarınıń tásiiri

Búgingi kúnde yarımótkizgishler elektronikasınıń hám mikroelektronikasınıń tez pát penen rawajlanıp atırǵan waqıtlarında sırtqı tásirler menen olardıń elektrofizikalıq parametrlerin basqarıw olardıń ishinde eń ápiwayı hám effektivlisi bolǵan ultrases tolqınlarınıń tásiiri járdeminde defektli yarımótkizgishli strukturalardıń elektrofizikalıq xarakteristikalarına atap aytqanda (n-faktor kachestvo, φ -barer biyikligi, I_{obr} – kerı baǵıttaǵı toqtıń mánisi hám taǵı basqada parametrlerine) tásirin úyreniwge kóbirek itibar bermekte. Ádette ádebiyatlardıń kórsetiwinshe akustikalıq terbelisler nátiyjesinde yarımótkizgishli material hám sol material tiykarında tayarlanǵan yarım ótkizgishli ásbaplarda defektlerdiń qayta ózgerisi hám hár túrli kishkene tochkalıq defektlerdiń dislokatsiya dógeresine jıynalıwı boladı. Lekin bunday boljawlardı dálillew ushın yarımótkizgishli ásbaplarda akusto defektlik óz-ara tásirlerdiń mexanizmin jánede tereńirek izertlewlerdi talap etedi. Bizler bul magistrlik dissertatsiya jumısımızda usınday izertlewlerdi Shottki diodlarında qarastırdıq. Bunıń tiykarǵı sebepleriniń biri Shottki diodlardıń elektrofizikalıq qásiyetlerine tásir etiwshi faktorlardıń jaqsı izertlengenligi menen túsindiriledi. Soǵan qaramastan bul baǵıtta islengen jumıslardı elede izertlewdi talap etetuǵınlıǵı hám memizge málim. Magistrlik dissertatsiya jumısımızdıń ádebiy bóliminde analiz etilip atırǵan obektimiz hár

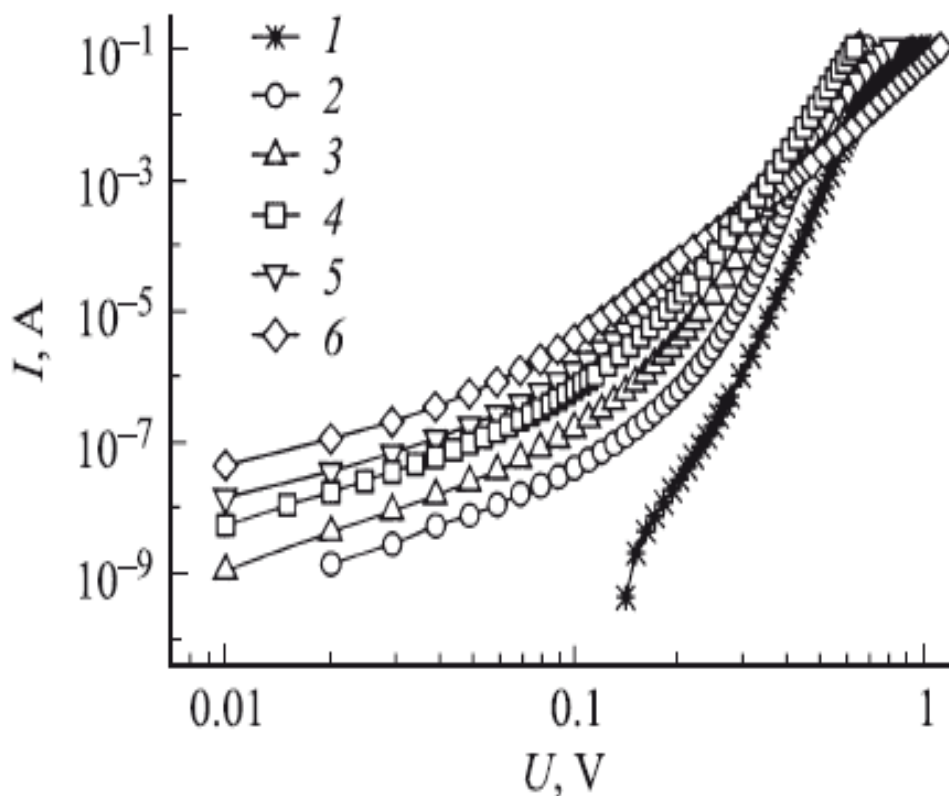
qıylı quwatlıqtaǵı hám jiyilikte Au-TiV_x-n-n⁺-GaAs tiykarındaǵı Shottki diodınıń voltamperlik xarakteristikasına ultrasestiń tásiiri izertlengen.

Ádebiy sholıw bóliminde qarastırılıp atırǵan bul n-n⁺-GaAs tiykarındaǵı Shottki diodı strukturası gazofazlıq epitaksiya usılı menen tayarlanılǵan, n-qatlamınıń qalıńlıǵı 3 mkm, al n⁺-qatlamınıń qalıńlıǵı 350 mkm di quraydı. Kirgizilgen qospa elementtiń (tellurdıń) kontsentratsiyası plenkada 6·10¹⁵ sm⁻³, al podojkada 6·10¹⁸ sm⁻³ di quraydı. Omlıq kontakt altın-gumis (Au:Ge) evtektikası tiykarında tayarlandı. TiV_x hám Au qatlamları magnetronlıq ushırıw usılı tiykarında tayarlanıldı. Shottki diodınıń diametri 40 mkm di quraydı. Úlgiler 20-25 diodtı qurap, olardıń hár qaysısı ushın ultrases tásirine deyingi hám ultrases tásirinen keyingi volt-amperlik xarakteristikası (VAX) A qa shekemgi diapazonda ólshenildi. Ólshewler komnata temperaturasında qarańǵı jaǵdayda ótkizilgen. Ultrases tásirler f_{US}=4-30 MGts jiyilik hám obektke akustikalıq túsip atırǵan kúshtiń quwatlılıǵı W_{US}=3 Vt/sm² penen, tásir waqtı hár bir W_{US} ushın 5 saattı quraydı. Shokli teoriyasına muwapıq tuwrı baǵıtta Shottki diodınıń VAX tómendegi formula menen anıqlanadı:

$$I_F = SA^{**} T^2 \exp(-\varphi_b / kT) \exp(qU_F / nkT), \quad (1.3)$$

bul jerde S omlıq kontakttıń maydanı, A^{**}-modifitsirlengen Richardson turaqlısı, φ_b - Shottki kontaktiniń effektivlik tosıqlıq (barer) biyikligi, n – ideallıq koeffitsienti (faktor idealnosti), U_F – obrazetske berilgen kernew. Joqarıda keltirilgen teńlikten tuwrı baǵıttaǵı toqtı ólshew usılı arqalı φ_b hám n anıqlanılǵan Olix, Pinchuktiń jumıslarında. Ultrases tolqınları tásirine deyingi φ_b .dıń mánisi hámme diodlar ushın (0.730÷0.750) eV qa, al n –niń mánisi (1.06÷1.08) ǵa teń edi. Joqarıdaǵı keltirilgen fizikalıq shamalardıń ólsheniw dálligi n hám φ_b lar ushın sáykes ±0.01 hám ±0.004 eV tı quraydı. n niń birge jaqın mánisleri derlik rekombinatsion-generatsiyalıq protsesslerdiń sezilerli emes dárejede ekenligininen derek beredi (bul jerde toqtıń mánisi názerde tutilǵan). Ultrases tásirinen keyin n hám φ_b fizikalıq shamalarınıń ózgeriwi úlken emes. W_{US}=(1÷2) Vt/sm² quwatlıqqa iye tásirde φ_b niń mánisi shama menen ~ 0.010 eV qa artadı

hám n shaması 0.02 den úlken emes mániske kemiydi. Tásir etiw quwatlılıgın $W_{US} > 2.5 \text{ Vt/sm}^2$ shekem arttırıǵanda, joqarıda keltirilgenlerden ulıwma basqasha ózgerisler alındı. Atap aytqanda, φ_b shaması $0.0150 \div 0.030 \text{ eV}$ qa kemidi, al n shaması $0.02 \div 0.03$ mánisine artatuǵınlığı korsetilgen. Bul jerde sonı aytıp ótiw kerek, ultrasestiń tásirinen keyin Shottki diodlarında VAX kerı shaqabına tásiri aytarlıqtay úlken boldı. $W_{US} < 2.5 \text{ Vt/sm}^2$ da ózgerislerdiń xarakteri dáslepki, yaǵnıy ultrases tásirine shekemgi, kerı toktıń I_R shamasına ǵárezli bolıp qaladı. Kishi tokqa iye diodlar ushın ($I_R < 10^{-7} \text{ A}$, $U_R = 2 \text{ B}$) I_R diń $1 \div 2$ mánisine ultrasestiń artıwı nátiyjesi júz beredi (1.3-súwretti qarań, 1 hám 2 iymeklikler); ekinshi gruppadaǵı, yaǵnıy kerı tokları úlken ($I_R > 2 \cdot 10^{-7} \text{ A}$) diodlar ushın, ultrases tolqınıń tásiri I_R shamasınıń 10-500 ese azayıwına alıp keldi (1.3-súwret, 3 hám 4 iymeklikler).



1.5-súwret. Volt-ampereklik xarakteristikaniń keri shaqabı. (1,2) iymeklikler 1-shi gruppada diodlar ushın hám (3,4) iymeklikler 2-shi gruppada diodlar ushın orınlı. 1 hám 3 iymeklikler ultrases tásirine deyin, al 2 hám 4 iymeklikler ultrases tásirinen keyin $W_{US} \approx 1.8 \text{ Vt/sm}^2$.

Bizlerdiń pikirimizshe volt-ampereklik xarakteristikaniń akustikalıq tásir nátiyjesinde ózgerisleri hár qıylı diodlardıń dáslepki halındaǵı tosqın arqalı ótiwshi toklardıń mexanizmleri menen baylanıslı ekenligi atap kórsetilgen. Meyli dáslep 1-shi gruppada diodların, yaǵnıy $I_R(U_R)$ polulogarfiimlilik ǵárezziligi tuwrı sıızıqtan ibarat diodlardı qarap óteyik. Bunday ǵárezlilik tok ótiwdiń tunnellik mexanizmi ushın orınlı. Sebebi Padovani-Stretton teoriyasına sáykes esaplawlar sonı kórsetedi, izertlenip atırǵan strukturada maydanlıq (poleyaya) hám termomaydanlıq (termopoleyaya) emissiya tek ǵana $T < 10 \text{ K}$ da úlken rol oynaydı. Sonlıqtan berilgen jaǵdayda toktıń ótiw mexanizmi joqarıda aytılgannan basqasha bolıwı kerek. Máselen, [16] jumıslarda kórsetilgenindey tiykarǵı emes (izbitochnıy) toq tasıwshılar tereń oraylardıń dizbegi boyınsha elektronlardıń

awısıwı arqalı anıqlanadı. [5] Taǵaevtıń doktorlıq dissertatsiya jumısında kórsetkenindey, bunday defektler dislokatsiyalar bolıwı múmkin. Bul jaǵdayda VAX tómenдеgi qatnasta jazıladı: [5,6]

$$I_R = I_0 \exp\left(\frac{qU_R}{\xi}\right) \quad (1.4)$$

bul jerde I_0 kópshilik jaǵdayda tereń qáddilerdi payda etiwshi defektlerdiń kontsentratsiyası menen, al ξ -defektlediń túri menen anıqlanadı.

Ekinshi gruppа diodları ushın U_R dan $\ln I_R$ ǵárezziligi polulogarfimlilik úlken emes awısıwlarında ($U_R < 2.5$ B) cızıqlı emes (1.2.1-súwret, 3-iymeklik), tek ǵana $U_R > (3 \div 3.5$ B) da tunnellik mexanizm orınlı boladı. Baslanǵısh orın awısıwlarında eksperimentallıq berilgenler tómenдеgi ǵárezlilik penen aproksimatsiyalanadı.

$$I_R = I_0^1 \exp\left(aU_R^{1/4}\right) \quad (1.5)$$

I_0^1 - hám a – berilgen turaqlı shamalar. Bunday $\ln I_R \sim U_R^{1/4}$ ǵárezlilik tok ótkeriwdiń termoemissionlıq mexanizmi ushın xarakterli [7], I_R niń úlken absolyut mánisleri yarımótkizgishtiń shegerasında energetikalıq hallardıń bar bolıwı menen, sonday-aq metall-yarımótkizgish kontaktiniń bir teksizligi menen de anıqlanadı [8].

Ultrasles tolqınları tásiri jánede $I_R = f(U_R)$ ǵárezziliginin xarakterine tásirin tiygizedi. Birinshi gruppа diodlarında U_R -dın úlken emes mánislerinde (< 2 B) ultrasleslik tásirlerden keyin termoemissionlıq protsessler, al ekinshi gruppа elementlerinde tunnellik protsessler U_R -dın bir qansha kishi mánislerinde ($\ln I_R$ hám U_R arasındaǵı sızıqlı ǵárezlilik) bayqala basladı (1.5-súwret, 2,4 iymeklikleri).

Ultrasles tolqınlardıń úlken quwatlıqtaǵı tásirlerinde ($W_{US} > 2.5$ Vt/sm²) eki gruppа diodları ushın I_R shamasının mánisi 1÷2 dárejege arttı hám de termoemissionlıq mexanizmniń úlesi kóbeydi.

f_{US} artıwı menen biz baqlap atırǵan ózgerisler burınǵısınsha qaldı, tek ǵana olardıń sanlıq xarakteristikaları 10% átirapında ósti.

Bunday baqlagan ózgerislerdi tómendegishe túsindiriw múmkin: Ultrases tolqınlardıń tásirinde: 1) eki material shegerasında bir teksizliktiń birteklilikke keliwi [9,10] hám usınıń nátiyjesinde ekinshi gruppada diodlarınń I_R shamasınıń sezilerlik dárejede kemeyiwi; 2) yarımótkizgishlerdiń qalıńlıǵı boyınsha kirgizilgen qospalardıń qayta bólistiriliw protsessiniń [16] bolıp ótiwi hám usınıń nátiyjesinde metall-yarımótkizgish shegerasında energetikalıq qáddilerdiń ózgeriwiniń birinshi gruppada diodlarınń I_R shamasına tásiri ózgeredi, bul óz gezeginde eki gruppada da n hám φ_b shamalarınń ózgerisine alıp keledi. Quwatlılıqtıń baslanǵısh mánislerinde yarımótkizgishniń kóleminde hám betlik oblastında Zaveryuxin B.N., Zaveryuxina N.N., O.M.Tursunkulovlardıń kórsetkenindey, defektlerdiń generatsiyası baslanadı strukturaniń bóliniw shegerasında defektlerdiń qayta bólistiriliwi júzege kelip, bul φ_b kemeyiwine hám n artıwına alıp keledi. Bir waqtıń ózinde diod arqalı termoemissiyalıq toq hám I_R artadı.

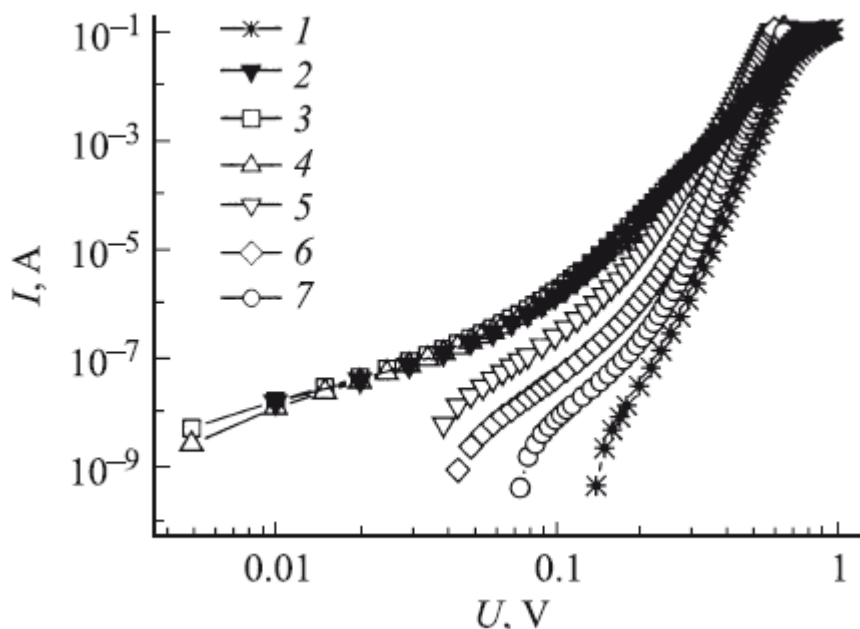
Solay etip, bul jumista birinshi márte Au-TiV_x-n-n⁺-GaAs Shottki diodınıń voltamperlik xarakteristikasına ultrases tolqınlarınıń tásiri izertlengen. Ultrasesniń VAX tıń tuwrı shaqabshasına qaraǵanda kerı shaqabshası tásir etiw effekti joqarı ekenligi anıqlandı. Ásirese VAX-tıń proboy oblasına, sonday-aq ultrases tolqınlarınıń tásiri toq ótkeriwdiń mexanizmine baylanıslı: tunnellik mexanizm waqtında ultrases tolqınlarınıń tásiri I_R artıwına, al termoemissiyalıq mexanizmde I_R diń kemeyiwine alıp keledi. Sonı da aytıp ótiw kerek ultraseslik qayta islew strukturaniń xarakteristikasınıń birtekliginiń joqarılawına (1.5-súwrette kórsetilgenindey) alıp keledi.

$$I_T = I_T \left[\exp\left(\frac{eu}{KT} - 1\right) \right] \quad (1.6)$$

Bul jerde I_T -toyınıw togı dep atalıp ol tómendegishe anıqlanadı:

$$I_S = l \left(\frac{D_p}{h_p} P_n + \frac{D_n}{L_n} n_p \right) \quad (1.7)$$

Bul jerde U-p-n-ótkelge túsirilgen kernew, L_n , L_p - lar sáykes diffuziya uzınlıqları. D_n , D_p - sáykes diffuziya koeffitsentleri; P_n , n_p -tiykarǵı emes toq tasıwshılardıń kontsentratsiyaları.



1.6-súwret. Au-TiV_x-n-n⁺-GaAs strukturası ushın kerı toq shamasınıń gistogramması. 1- ultrases tásirine deyingi hám 2,3,4- ultrases tásirinen keyingi

Ádebiyatlarda kórsetkenindey sırtqı tásirlerdiń nátiyjesinde anıǵıraq aytqanda radiatsiya, lazer, ultrases tolqınları hám taǵı basqa da sırtqı tásir nátiyjesinde defektlerdiń óz-ara tásirlesiwı energetikalıq urovenlerdiń hám qadaǵan etiw zonalarınıń ózgeriwine sáykes tiykarǵı emes toq tasıwshılardıń ózgeriwine ulıwma diod arqalı toq aǵısınıń ózgeriwine alıp keledi (VAX-nıń awısıwında) sonlıqtanda ádebiyatlarda kórsetilgenindey bul ózgerislerdi esapqa alıw maqsetke muwapıq dep esaplanıladı.

Ádette p-n-ótkeldegı toyınıw toǵı I_s -tiykarǵı emes toq tasıwshılardıń kontsentratsiyası menen anıqlanadı. Sonlıqtanda differentsiallanǵan obektte, qadaǵan etiw zonanıń ózgermewı, kT -nıń ózgerisi menen barabar boladı, mine usı jaǵdayda toq sırtqı tásirge sezgir funktsiya bolıp tabıladı.

Sáykes elektronlı tok, sırtqı tásir nátiyjesinde tómendegishe anıqlanadı:

$$I_P^{(e)} = \left(\frac{\mu_n \tau_{n0}}{\mu_{n0} \tau_n} \right)^{1/2} \exp\left(-\frac{\Delta E_g}{KT} \right) \quad (1.8)$$

bul jerde I - p-n-ótkeldegi dáslepki toq,

Sonday – aq kópshilik Shottki diodlarında joqarıda ayılğanınday toq aǵısınıń ózgerisi sırtqı tásirge sezgir boladı.

Biziń jaǵdayımızda toq tasıwshılardıń tiykarǵı mexanizmi termoemissiyalıq toq bolıp esaplanadı hám onıń tıǵızlıǵı tómendegishe anıqlanadı:

$$j = AT^2 \exp\left(-\frac{e\varphi_B}{KT} \right) \cdot \left(\exp\left(\frac{eu}{KT} \right) - 1 \right) \quad (1.9)$$

Bul jerde U-diodtaǵı kernew, φ_B -potentsial barerdiń biyikligi (metall menen yarım ótkizgishtiń shıǵıw jumısınıń ayırmasına teń bolǵan), A-Richardson turaqlısı hám ol tómendegige teń boladı: $A = 4\pi em_n K^2 / h^3$

Ádebiyatlarda kórsetilgendey toq tasıwshılardıń bet arqalı rekombinatsiya hám generatsiyası sebebinen real diodlarda joqarıda ayılǵan kemshiliklerge baylanıslı volt-amperlik xarakteristika ideal jaǵdaydan awısadı. Kristall strukturalarda defekttiń bar bolıwı yamasa payda bolıwı menen kóp fizikalıq effektlerdi túsindiriwge boladı, mısalı deformatsiyalanǵan orında sistema buzılǵan (napryajennıy) halda bolıp ol óz gezeginde elektrofizikalıq parametrlerdiń ózgerisine alıp keledi, yaǵnıy ishki mexanikalıq kernewdi payda etedi [16].

M.B.Tagayev hám Bayımbetovlardıń jumıslarında ultrases tolqınlarınıń dislokatsiyaǵa tásinin úyrenilgen.

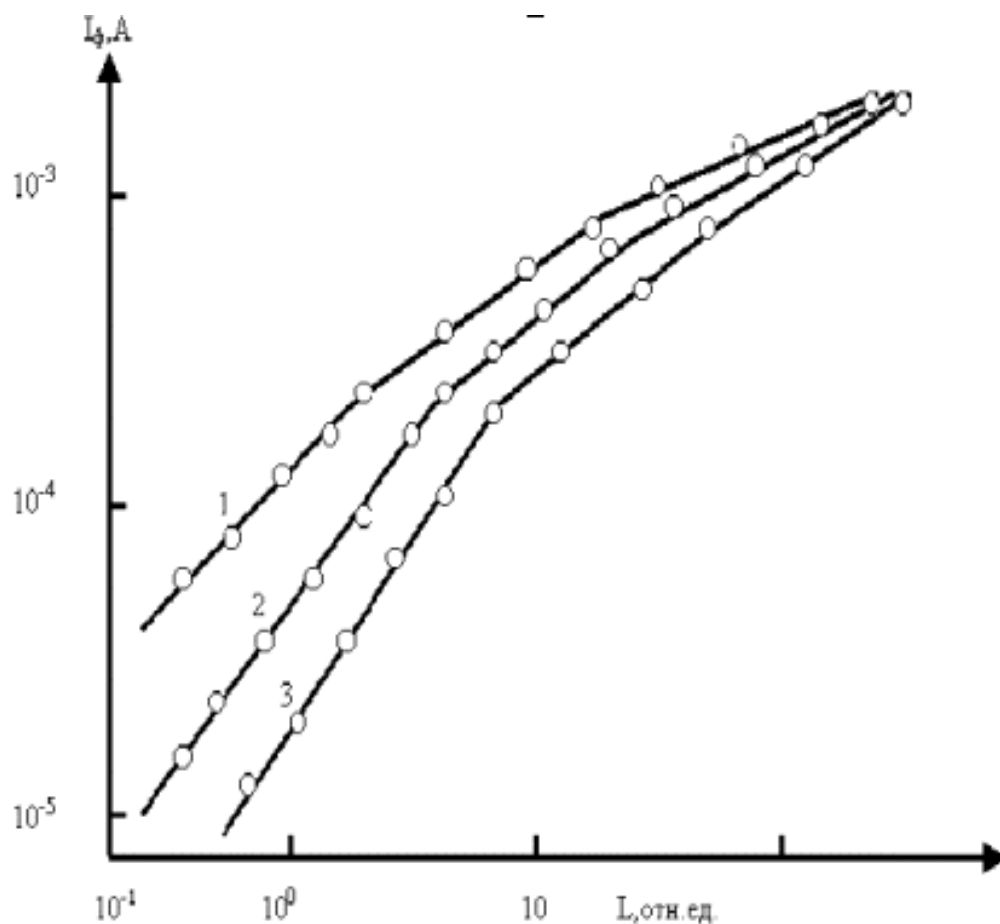
Bunday akustikalıq metod strukturanıń betin buzbaytuǵın metodlar qatarına jatıp basqa metodlarǵa salıstırǵanda ultraseslik tolqınlar menen qattı denelerdi qayta (obrabotka) islewde úlken artıqmashılıqlarǵa iye boladı. Atap aytqanda strukturanı buzbay ápiwayı, arzan baha jolı menen yarım ótkizgishli material hám yarım ótkizgishli tayar ásbaplardı qayta islew múmkinshiligine iye bolatugınlıǵı kórsetilgen.

Bul metod járdeminde ilimiy basshım M.B.Tagaevtıń ilimiy jumısında kremniyden tayarlanılǵan p⁺-p-n-n⁺ -diodlı strukturalarǵa ultrases tolqınların tásirin úyrenip hám onıń tásiri nátiyjesinde avtordıń jumıslarında kórsetilgenindey strukturadaǵı defektlerdi bazıbir muǵdarda kemeytiwge bolatuǵınlıǵı kórsetilgen.

Sonlıqtanda ultrases tolqınların qattı denelerge tásirin, joqarıda ayılǵan kemshiliklerdi saplastırw maqsetinde keńnen qollanıladı

Yarım ótkizgishli ásbaplarda real jaǵdayda $2 \cdot 10^7$ Pa basım muǵdarında sırttan tásir bolǵan jaǵdayda sáykes A^3V^5 gruppadaǵı birikpelerde mexanikalıq qısılıw esabınan, jıllılıq keńeyiw koeffitsentiniń hár qıylı bolıwı esabınan hám taǵı basqada defektlerdiń payda bolıwı esabınan yarım ótkizgishli ásbaplar tezirek degradatsiyalanadı yaǵnıy sapasın joǵaltadı.

Joqarıda ayılǵanlarǵa uqsas A^2V^6 gruppasındaǵı yarım ótkizgishli materiallarǵa ultrases tolqınların tásirin atap aytqanda N.E. Korsunskayanıń jumısında CdSe monokristalına ultrases tolqınların tásir etkende akustikalıq hám optikalıq xarakteristikalarınıń tásiri nátiyjesinde fotoótkizgishlik azayatuǵınlıǵı kórsetilgen, sáykes hár túrli kernewde sızılmada kórsetilgenindey jaǵdayda, salıstırma qarsılıǵı $\rho = 10^7 - 10^9 \text{ om} \cdot \text{sm}^{-1}$ teń bolǵan jaǵday ushın CdSe monokristalına ultrases tolqınların tásiri kórsetilgen. Ultrases tolqınların jiyliǵı $f = 200 \div 500 \text{ Gts}$. Jáne de buǵan qosımsha lyuks-amperlik xarakteristikasında qarastırılǵan: 1.8-súwrette $T=300^0\text{K}$ temperaturada lyuks-amperlik xarakteristikası kórsetilgen. Bul súwrette kórsetilgenindey fototok ultraseslik tolqınların tásiri nátiyjesinde kemeyedi.



1.8-súwret. Kadmiy kúkirt materialı ushın lyuks-amperlik xarakteristikası

Sızılmada kórinip turǵanıday dáslep $\alpha = 1$ yaǵnıy sızıqlı lyuks-amperlik xarakteristika orınlı boladı, al sońınan $\alpha < 0,5$ bolıp toyınıw toǵı bayqaladı.

Joqarıda aytılganlarǵa uqsas R.A. Muminovtıń jumıslarında $\text{Si} \langle \text{Li} \rangle$ tayarlanǵan detektorlarda elektr maydanınıń birtekli emes bólistiriliwinde ultrasestiń tásiriniń úlken ekenligi úyrenilgen.

Solay etip R.A. Muminovtıń jumısında kórsetilgenindey 1.8-súwrette λ -nıń, $^{2/E}$ ge baylanıslılıǵı sızıqlı emes, ekenligi kórsetilgen yaǵnıy bunnan sonday juwmaq shıǵarıwǵa boladı $\text{Si} \langle \langle \text{Li} \rangle \rangle$ detektorda primeslerdiń lokal jıyındısı esabınan elektr maydanınıń bir tekli bızıladı dep túsiniwge boladı, al bul óz gezeginde toq tıǵızlıqlarınıń lokallasqan oblastların payda etedi yaǵnıy toq bir tekli emes bólistiriledi.

Toktıń rabochiy oblast boyınsha bir tekli emes bólistiriliwi óz gezeginde yarım ótkizgishli material hám sol materialdan tayarlanǵan tayar yarım ótkizgishli

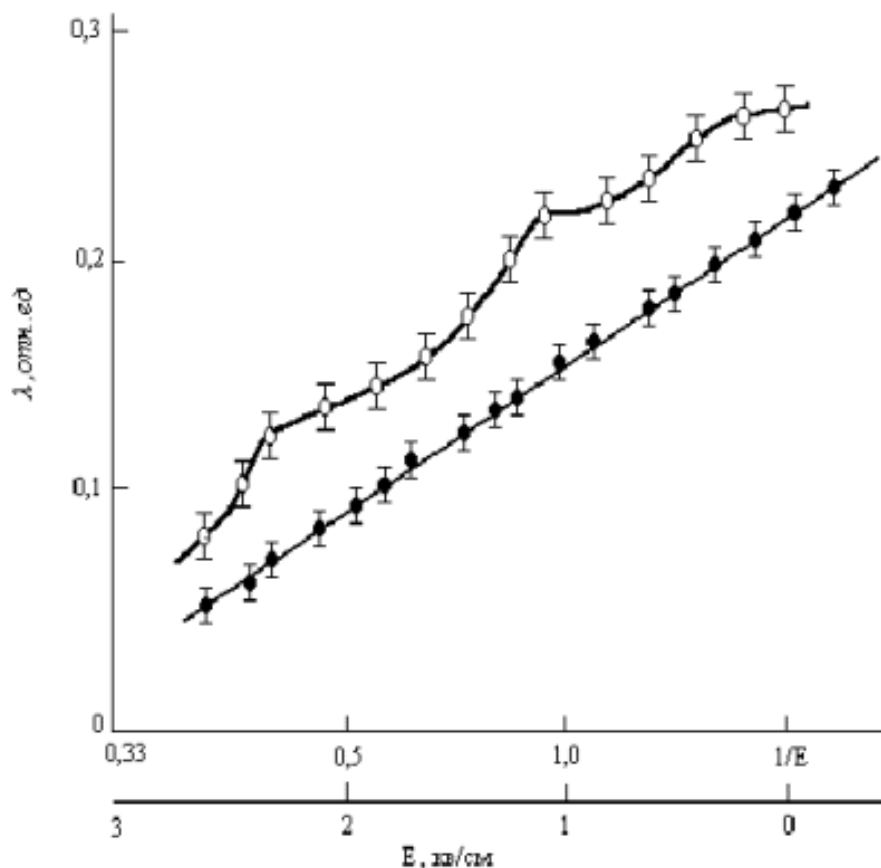
ásbaplardıń erterek isten shıǵıp degradatsiyalanıwına alıp keledi. Sonlıqtanda bunday mashqalalardı úyreniw hám onı saplastırıw yarım ótkizgishler elektronikasında hám mikroelektronikasında tiykarǵı máselelerdiń biri bolıp tabıladı.

1.8-súwrette de kórsetilgenindey defektler menen baylanıslı bolǵan elektrlik aktiv hár qıylı tsentrlar (oraylar) payda boladı.

Bul payda bolǵan qosımsha oraylar donorlı -D hám aktseptorlı -A oraylar qosımtalardıń lokal jıyındısıń esabınan payda bolıp, ol 1.2.4-súwrettiń II-interval aralıǵında kórsetilgenindey óz gezeginde λ -nıń kemeyip λ ($1/T$) ósiwine alıp keledi.

R.A.Muminovtıń jumısında kvartslı túrlendirgish járdeminde ultrasestiń $\text{Si}\langle\langle\text{Li}\rangle\rangle$ detektorǵa tásin úyrengen, generatordıń terbelis jıyılıǵı $5 \div 25$ ózgergen, waqıt aralıǵı 8 saat, 200 V kernewde.

Bul jumistada joqarıda keltirilgen úlken masshtabtaǵı defektlerdi hám olardıń lokallı jámlesiwın ultrasestiń járdeminde saplastırıwǵa bolatuǵınlıǵı keltirilgen. Garyagdievtıń jumısında A^2V^6 -gruppasında yarım ótkizgishli materiallardıń, mexanikalıq elektrlik, fotoelektrlik hám lyuminestsentlik xarakteristikalarına pezokermikalıq túrlendirgish járdeminde ultrases tolqınlarınıń tásin úyrenilgen. Bul avtorlardıń pikiri boyınsha CdS hám $\text{CdS}_x\text{S}_{3-x}$ kristallarına ultrases tolqınlarınń tásir etkende tochkalıq defektler hám dislokatsiyalar menen effektiv tásirlesiwı nátiyjesinde A^2V^6 -gruppalarındaǵı kristallarda geterirovaniya (pataslıqtan tazalaw) protsessiniń orınlanatuǵınlıǵı kórsetilgen. M.K.Sheykmanniń túsindiriwı boyınsha geterirovanie degen bul – izertlenip atırǵan obekttiń rabochiy oblastın defektlerden tazalaw degendi ańlatıp ol tómendegishe bolıwı múmkin:



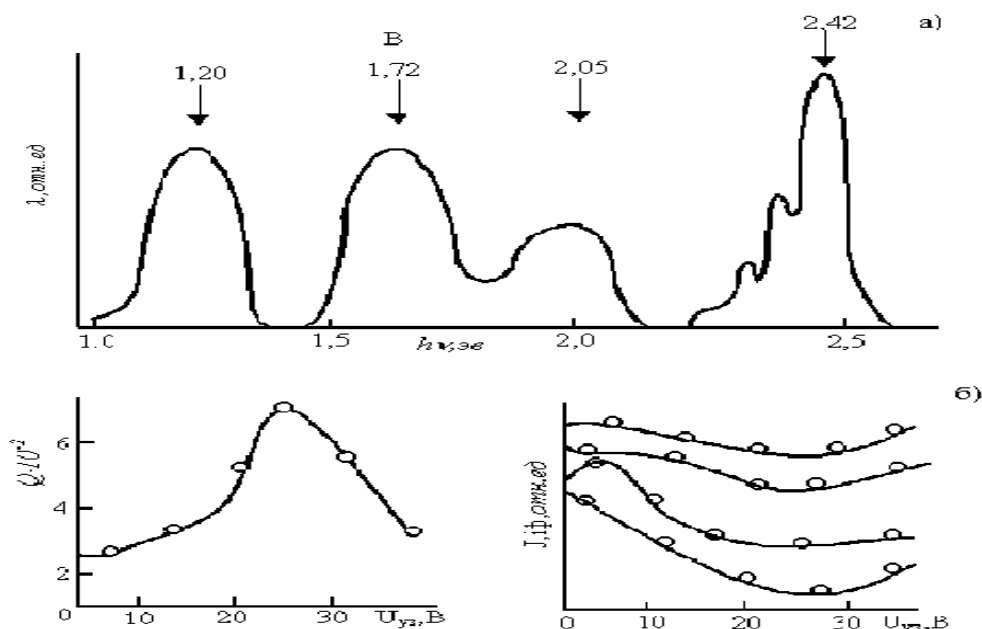
1.9-súwret. Zaryadtıń azayıwınıń elektr maydanınıń kernewliligine baylanıslılıǵı

Ádette diod texnologiyalıq tayarlaw waqtında strukturalıq bir tekli emes sistema formasında boladı. Usınday diodlı strukturaǵa ultrases tolqınları tásir etkende diodlı strukturadaǵı bir tekli emes orınǵa ultrases tolqınları effektiv jutıladı degen pikirler bar. Nátiyjede defektlerdiń orın almasıw protsessi júzege kelip, bul protsess óz gezeginde dislokatsiyalar menen óz ara tásirlesip defektlerdiń annigilyatsiyası (bir-birin joq etiw protsessi) bolıwı múmkin yamasa dislokatsiyanıń aktiv oblasttan aktiv emes oblastqa – mısalı betke qaray jılıw protsessi bolıwı múmkin. Fotosezgirlikti xarakterlewshi parametr $M = \mu\tau$ - úlkeygenligi, jaqtılıqtı sezgirliginiń turaqlılıǵı ulıwma CdS hám CdS_xS_{31-x} kristallında fotosezgirliktiń eki dárejege úlkeygenligi kórsetilgen.

Keyingi waqıtları ultrases tolqınlarınıń tásiiri menen bir qatarda keń kólemde lazer nurlarınıń tásirleride úyrenilmekte. Atap aytqanda M.K.Sheykmannıń jumıslarında da [17] ultrasestiń tásiiri menen birge lazer nurınıń qattı denelerge

tásirin, anıǵıraǵında defektli strukturalardıń fotolyuminesstentlik xarakteristikalarına lazer nurınıń tásiri úyrenilgen.

T.V.Torchinskaya hám M.K.Sheykmannıń jumıslarında ultrases tolqınlarınń tásirinde foto-lyuminesstentlik jolaqlardıń intensivliginiń kemeygenligin (tereń energetikalıq qáddilerdiń bar bolıw esabınan payda bolǵan) sonday-aq fototoktıń kemeytilgenin tájriybede kórsetken, jánede sonıń menen birge ultrases tolqınınıń tásiri nátiyjesinde akustikalıq sızıqlı terbelislerdiń rezonanslıq qásiyetleriniń artqanlıǵı bayqalǵan. Akustikalıq dobrotnost dep atalatuǵın bul parametr sızıqlı terbelislerdiń rezonanslıq metodu menen M.K. Sheykmannıń jumısında anıqlanǵan. Bul eki jaǵdayda tómendegi 1.2.5 -súwretlerde kórsetilgen.

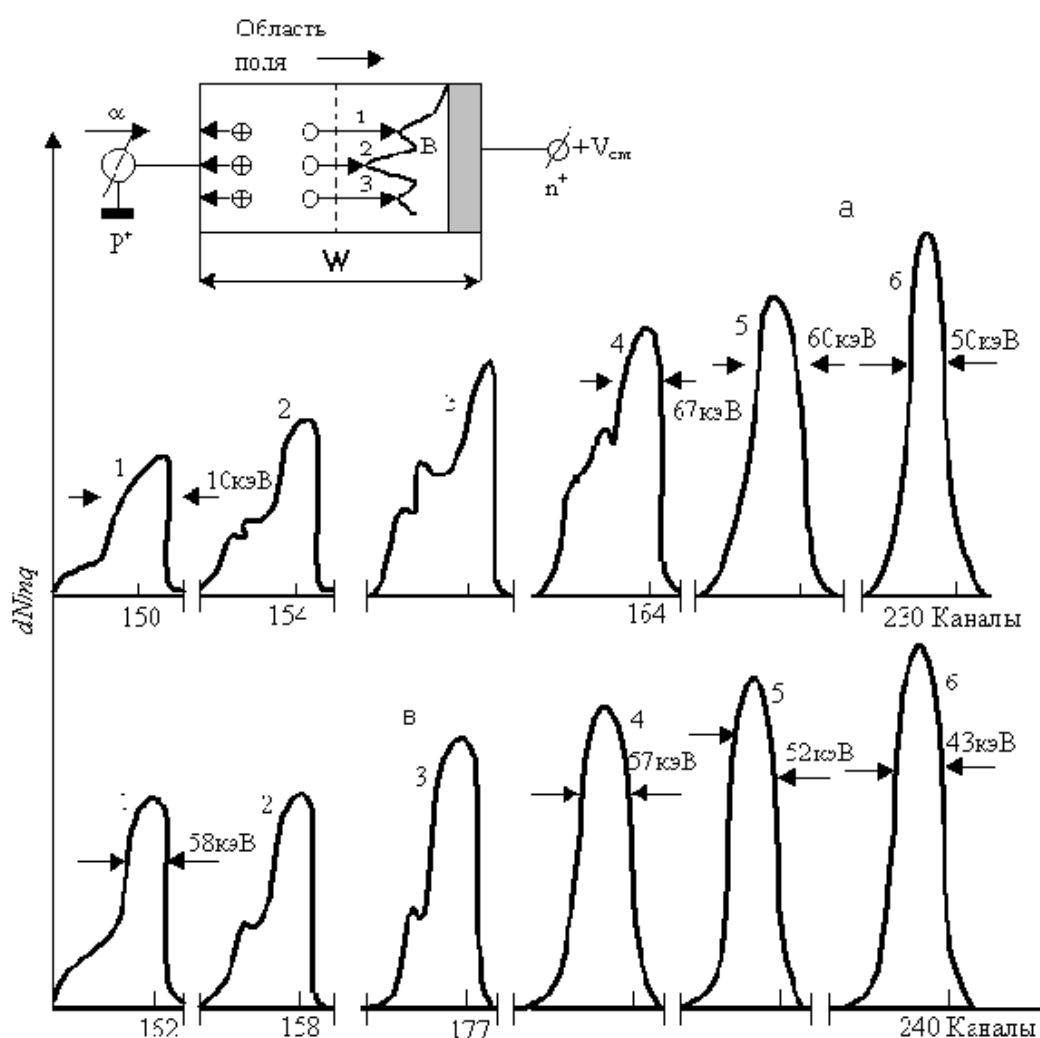


1.20-súwret. Kadmiy kúgirt monokristalında akustikalıq dobrotnostınıń kernewge baylanıslıǵı a) hám primesli sızıqlardıń fotolyuminesstentliyasınıń b) kernewge baylanıslıǵı

Súwrette kórinip turǵanıday akustikalıq dobrotnosttı hám fototok, ultrases tolqınlarınıń amplitudasına – CdSe monokristallına túsirilgen elektr kernewine baylanıslı ekenligi málim. 1.20-súwrette kórsetilgenindey akustikalıq dobrotnosti dáslep úlkeyedi, sonıń menen ultrases kernewi belgili bir mániske jetkende 1-akustikalıq dobrotnost maksimum mániske jetkende kristall strukturada

atomların jaylasıw tártibi tártiplesken yaǵnıy defektler tıǵızlıǵı azaydı dep túsiniwge boladı.

1-maksimum mániske jetip, soń kemeye baslaydı, bul kemeyiw menshikli defektlerdiń generatsiyasınan dep túsinemiz. Demek ultrasestiń úlkeyiwine alıp kelip hám olardıń annigilyatsiya etiliw itimallıǵı bolıwı múmkin. Dislokatsiya dógerindegi tochkalıq defektlerdiń kontsentratsiyasınıń kóbeyiwine alıp kelip hám olardıń annigilyatsiya etiliw itimallıǵı bolıwı múmkin. Bunday defektlerdiń annigilyatsiyası V.G.Litovchenko, N.L.Dmitruktiń ilimiy jumıslarında daslep radiatsiyalıq sırtqı tásirlerde de bayqalǵan. Optimal radiatsiyalıq doza $10^6 \div 10^8$ R. ge teń ekenligi kórsetilgen.



1.21 - súwret. Kadmiy kúkirt monokristalına ultrases tolqınlarınıń tásiri

Sonday-aq **1.21-súwrette** ishki súykeliw koeffitsentiniń ultrases tolqınıń amplitudaǵa baylanıslılıǵı kórsetilgen ($T=300K$ temperaturada).

Ádette ádebiyatlarda keltirilgenindey, bul jerde de (1.2.6 -súwrette kórsetilgenindey) η -ishki súykelis koefitsentiniń kishireyiwi, dáslepki waqıtları $U_{us}=20V$ shamasına sáykes, strukturadağı defektlerdiń kemeyiwi menen túsindiriledi. Demek kishi intensivlikke iye ultrases tolqınlarında ishki súykelis koefitsentiniń hám qosımsha primesli hám qosımta lyuminestsentli (sızıqlardıń kúshliliginiń) polosalardıń intensivlikke azayatuǵınlıǵın kóriwge boladı .

Usınıń menen bir qatarda ultrases tolqınlarınıń tásiri tunnelli diodlardıń shumlı hám volt-amperlik xarakteristikalarına qalay tásir etetuǵınlıǵıda úyrenilgen.

Bul jumıstada ultrases tolqınlarınıń tásirinen soń volt-amperlik xarakteristikasınıń ólshegende tiykarǵı emes toq tasıwshılardıń muǵdarı hám shumınıń urovenniniń kemeygenligi kórsetilgen. Avtordıń túsindiriwi boyınsha bul joqarıdağı ayılǵan jaǵday tochkalıq defektlerdiń kontsentratsiyasınıń kemeygenligi menen túsindiriledi dep juwmaqlastıra otırıp avtor tómendegishe mexanizmlerdiń bolıw itimallılıǵın aytqan:

1. Quramalı sızıqlı defektler yaǵnıy dislokatsiyalar dógerindegi tochkalıq defektlerdiń azayıwı yamasa basqasha sóz benen aytqanda geterirovat ochishenie (tazalanıwı) múmkin, yaǵnıy bul mexanizm boyınsha, dislokatsiya dógerinde kishi razmerdegi tochkalıq defektler jıynalıwı, ultrasestiń tásiri nátiyjesinde, kólemnen (rabochiy oblasttan) betke shıǵarılıwı múmkin, yamasa elektr ótkizgishlikke qatnaspaydı. Nátiyjede tiykarǵı emes toq tasıwshılardıń muǵdarı hám shum azayadı. Demek yarım ótkizgishli ásbaplarda VAX-da (keri baǵıttaǵı) toqtıń muǵdarı azayıp sapası jaqsılanadı.

2. Ekinshi bir boljaw boyınsha ultrases tolqınlarınıń tásiri nátiyjesinde tochkalıq defektlerdiń kólemnen (rabochiy oblasttan) diffuziyası yamasa dreyfi. Demek bul mexanizmnıń maǵanası sonan ibarat ultrasestiń tásiri nátiyjesinde primeslerdiń diffuziyası tezlestiriledi. Al bul óz gezeginde defektlerdiń qozǵalıwshańlıǵın úlkeytip nátiyjede defektlerdiń rabochiy oblasttan betke

shıǵıwına sebepshi boladı. Bul jerde sonı qosıp aytıw kerek energiya aktivatsiyası ózgerip diffuzionlı mexanizmniń bolıw itimallıǵı kóbirek boladı degendi ańlatadı.

3. Úshinshi boljawdıń mánisi sonnan ibarat ultrases tolqınlarınıń tásiiri nátiyjesinde tochkalıq defektlerdiń qayta zaryadlanıwı mısalı arsenid-galiyden tayarlangan p-n-ótkelli tunelli diodlarda elektr maydanı úlken boladı shama menen 10^6V/sm , al bul óz gezeginde bunday úlken maydan, deffektlerdiń jılıwına alıp keledi yaǵnıy bul ionizatsiyalanadı degendi ańlatadı. Mine usı waqıtta sáykes oraylardıń (energetikalıq urovenlerdiń) qayta zaryadlanıw itimallılıǵı úlken boladı. Demek ultrases tolqınıniń tásirinde payda bolǵan zaryad dáslepki defekt penen baylanıslı zaryadka qarama-qarsı belgide bolsa, olar dipol xızmetin atqarıp elektrótkizgishlikke qatnaspaydı.

4. Tórtinshi bir boljaw M.B.Tagaevtiń doktorlıq dissertatsiyasında kórsetilgenindey kremniy hám galliy arsenid materiallarında da joqarıda ayılǵan mexanizmlerge uqsas ilimiy nátiyjeler alınǵan hám bul jerde defektlerdiń jaylasıw tártibi, sanı anıq kórsetilgen hám belgili bir diapazon aralıǵında defektlerdiń sanınıń azayıp sonıń menen birge tiykarǵı emes toq tasıwshı zaryadlardıń muǵdarınıń kemeygenligi kórsetilgen, onıń dálili retinde volt-amperlik xarakteristikaniń keri baǵıttaǵı toqtıń kemeygenligin lavinno-proletlı diodlarda kórgen.

II-BAP. EKSPERIMENT METODIKASI

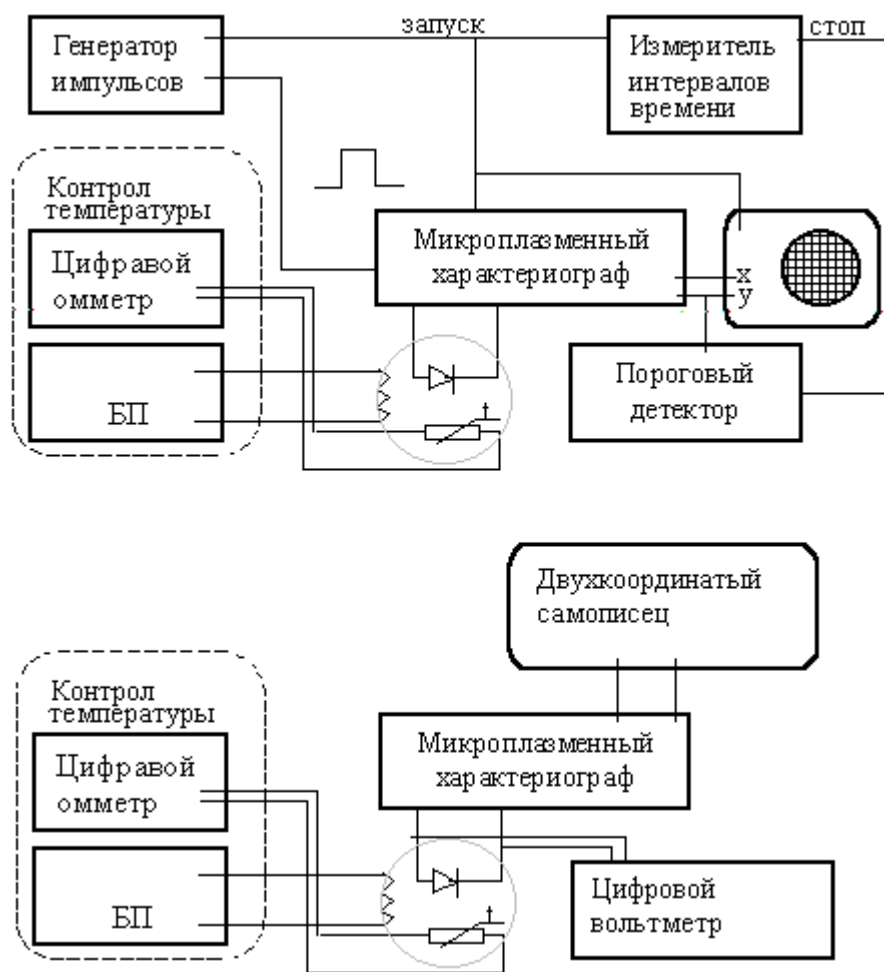
§2.1. Yarımótkizgishli materiallardıń elektrofizikalıq qásiyetlerin izertlewe qollanılatusın priborlar

Modulyatsiyalıq differentsiallaw metodikasınıń járdeminde defektlerdiń jaylasıw tártibin anıqlay otırıp, defektlerdiń geometriyalıq razmerleri tuwralıda maǵlıwmatqa iye bola alamız. Ádette ádebiyatlardıń kórsetiwi boyınsha, atap aytqanda Í.V.Grexov, Yu.N.Serejkin hám T.Ya.Puritislerdiń kórsetkenindey defektler menen baylanıslı bolǵan toq tıǵızlılıǵınıń jámlesken jerin mikroplazma dep ataladı. Bul metodika tiykarınan joqarıdaǵı ayılǵandaǵıday mikroplazmalardı anıqlawǵa esaplanılǵan. Sonlıqtanda bul metodikanı “mikroplazmalı xarakterioğraf” dep ataymız.

Mikroplazmalı xarakterioğraf **2.1-súwrette** kórsetilgenindey [19] yarım ótkizgishli strukturalardı hám sol struktura tiykarında islengen ásbaplardıń (silovoy diodlardıń, quwatlı tranzistorlardıń, tiristorlardıń) sapasın boljawda eń bir úlken áqmiyetke iye metodikalardıń biri bolıp tabıladı.

Jánede sonı aytıp ótiw kerek, optikalıq metodikadan ayrıqsha ózgesheligi sonnan ibarat bul metodika járdeminde strukturanı yamasa sol struktura tiykarında islengen yarım ótkizgishli ásbaptı buzbay boljaw (diagnostirovat etiw) múmkinshiligine iyemiz.

Mikroplazmalı xarakterioğraf metodı yarım ótkizgishli strukturalardaǵı lokallıq mikroplazmalıq proboy qubılısına tiykarlanıp mikroplazmalardı xarakterlewe júdá áxmiyetli parametr bolǵan qosılıw (vklyuchenie) kernewi, mikroplazmalardıń jaylasıw tártibi, qarsılıqları hám geometriyalıq razmerleri tuwralı maǵlıwmat alıwǵa múmkinshilik beredi. Mikroplazmalı xarakterioğraf járdeminde joqarada atı atalǵan yarım ótkizgishli diod hám diodlı strukturalardıń elektrofizikalıq parametrlerin anıqlawda hám hár qıylı sırtqı tásirler járdeminde jaqlawda kerek bolǵan tiykarǵı metodikalardıń biri bolıp tabıladı.



2.1 -сúwрет. Микроплазмалы характериогрфтúн блок-сxемасы. а-остсиллогрфтúн jáрдeminde volt-амперлик характеристиканы óлshew usılı, б-самописets jáрдeminde volt-амперлик характеристиканы hám onúн пробой uchastkasы aldında differentsiallow usılı

Ádebiyatlardıń kórsetiwinshe atap aytqanda Rossiyalı ilimpazlar Grexov, Serejkin, Ukrainalı ilimpazlar R.V.Konakova, Yu.A.Txorik, Pribaltika ilimpazları T.Ya.Puritislerdıń kórsetiuleri boyınsha yarım ótkizgishli diod hám diodlı strukturalarda mikroplazmalar hár qıylı defektler menen baylanıslı bolıp p-n ótkel boyınsha mikroplazmanıń jaylasıw tártibi defektlerdıń tiyipine baylanıslı boladı. Joqarıda atı kórsetilgen ilimpazlar p-n ótkeldiń kólemindegi mikroplazmalardıń payda bolıwın dislokatsiyalar menen baylanıstırǵan bolsa, al sońǵı jılları atap aytqanda N.L.Dmitruk hám M.B.Tagaevlardıń jumıslarında kórsetilgenindey mikroplazmalardıń payda bolıwı metall menen yarım ótkizgish

shegarasındaǵı betlik birteksizlikler (relefler) menende baylanıslı boladı. Atap aytqanda M.Tagaevtiń doktorlıq jumısında metall menen yarım ótkizgish shegarasındaǵı betlik birteksizlikler yaǵnıy mikroreleflerdiń biyikligi $h > 20\text{nm}$ bolǵan jaǵdayda mikroplazmalıq kernewge kúshlirek tásir etedi yaǵnıy proboylıq kernew kishireyip proboy erte baslanadı. Al bul parametr tuwralı maǵlıwmatqa iye bolıw hám olardı saplastırıw yarım ótkizgishler elektronikasında úlken áhmiyetke iye máselelerdiń biri bolıp tabıladı.

Jánede qosımsha sonı aytıp ótiw kerek mikroplazmanıń jaylasıw tártibin, geometriyalıq razmerlerin anıqlay otırıp mikroplazma kanallarındaǵı temperatura haqqında tolıq maǵlıwmatqa iye bolıwǵa boladı. A.İ.Shkrebtiydiń jumısında kórsetigenindey mikroplazma bar jerdegi temperatura sanaatta tayarlanǵan tayar lavinno-proletniy diodlarda shama menen 600K ge shekem jetedi. Demek mikroplazmanı tochkalıq jıllılıq orayı dep esaplawǵa boladı. Solay etip mikroplazma bar jerde toq tıǵızlıǵı, basqa bir tekli jerlerge salıstırǵanda anaǵurlım úlken boladı:

$$T(r, t) = A_s \frac{T_{MM}}{t} \exp \left[- \frac{r^2}{4 \left(\frac{X}{C_p} \right) t} \right] \quad (8)$$

Bul jerde T-temperaturada, r-aktiv mikroplazmaǵa shekemgi aralıq $\frac{X}{C_p}$ temperatura ótkizgishlik, A_s -jıllılıq ótkizgishlik aktivligin xarakterlewshi koeffitsent, mikroplazmanıń qosılıw waqtıda. Endi mikroplazmalardıń sanı kóp bolǵan jaǵday ushın

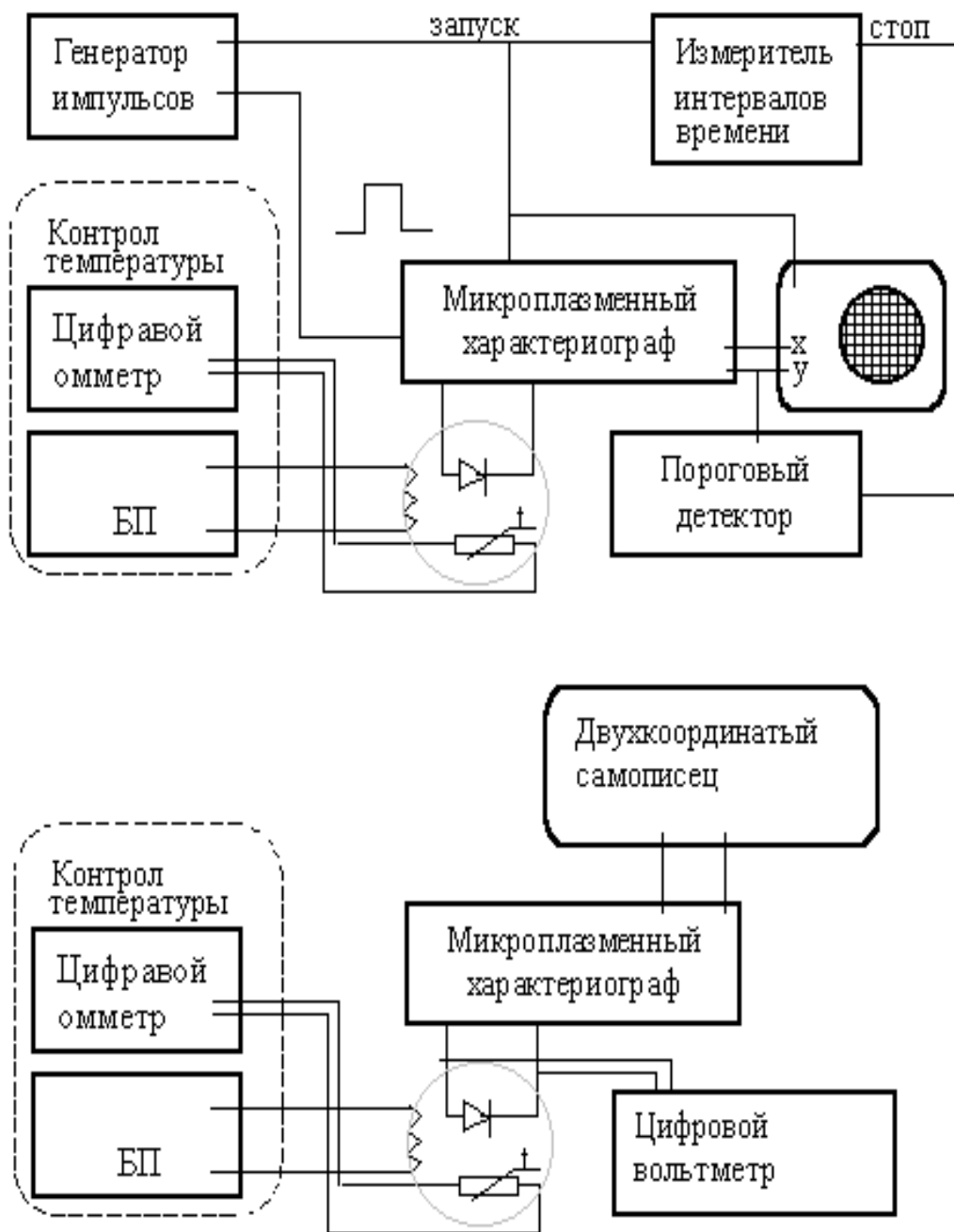
$$T(r, t) = A_s \sum_{i=1}^j \frac{T_{mni}}{(t - t_i)} \exp \left[- \frac{(r - r_i)^2}{4 \left(\frac{X}{C_p} \right) (t - t_i)} \right] \quad (9)$$

r_i -i mikroplazmanıń aralıǵı

t_i -i-ti mikroplazmanıń qosılıw waqtı

§2.2. Mikroplazmalı xarakterioqraf járdeminde modulyatsiyalıq differentsiallow metodikasınıń ayırıqsha ózgesheligi

Xarakterioqraf "Model-2" ótiw tokların izertlew modeli "Farada", ostsilloqraflar, sanlı sıyımlılıq kópirleri, spektr analizatorı, elektromagnitler, fotoelektrik effektlerde fotolyuminestsentsiyanı izertlew ushın JSVU-23, Specord 75 UR optikalıq ásbaplar, rentgen strukturalıq izertlewler ushın qurılmalar, optikalıq ásbaplar. İzertlew obektleri bular yarım ótkizgishli kremniyli hám arsenidgalliyli materiallar hám SVCh ásbaplar, olar tiykarında stabilitronlar. Modulyatsiyalıq differentsiallow metodikasınıń járdeminde defektlerdiń jaylasıw tártibin anıqlay otırıp, defektlerdiń geometriyalıq razmerleri tuwralıda maǵlıwmatqa iye bola alamız. Ádette ádebiyatlardıń kórsetiwi boyınsha, atap aytqanda Grexov, Serejkin hám T.Ya.Puritislerdiń kórsetkenindey [2,21-23] defektler menen baylanıslı bolǵan tok tıǵızlılıǵınıń jámlesken ornı mikroplazma dep ataladı.



2.2.1-сúwret. Mikroplazmalı xarakterioğrftúń blok sxeması. Bunda a)-ostsillogrftúń járdeminde volt-ampereklik xarakteristikanı ólshew usılı, b)-samopisets járdeminde volt-ampereklik xarakteristikanı hám onıń proboy uchastkası aldında differentsiallaw usılı kórsetilgen.

Bul metodika tiykarinan joqarıdağı ayılğandağıday mikroplazmalardı anıqlawğa esaplanılğan. Sonlıqtanda bul metodikanı “mikroplazmalı xarakterioqraf” dep ataymız.

Mikroplazmalı xarakterioqraf 2.2.1 - súwrette kórsetilgenindey yarım ótkizgishli strukturalardı hám sol struktura tiykarında islengen ásbaplardıń (silovoy diodlardıń, quwatlı tranzistorlardıń, tiristorlardıń) sapasın boljawda eń bir úlken áqmiyetke iye metodikalardıń biri bolıp tabıladı. Jáne de sonı aytıp ótiw kerek, optikalıq metodikadan ayrıqsha ózgesheligi sonnan ibarat bul metodika járdeminde strukturanı yamasa sol struktura tiykarında islengen yarım ótkizgishli ásbaptı buzbay boljaw (diagnostirovat etiw) múmkinshiligine iye bola alamız [22].

Mikroplazmalı xarakterioqraf metodi yarım ótkizgishli strukturalardağı lokallıq mikroplazmalıq proboy qubılısına tiykarlanıp mikroplazmalardı xarakterlewde júdá áxmiyetli parametr bolğan qosılıw (vklyuchenie) kernewi, mikroplazmalardıń jaylasıw tártibi, qarsılıqları hám geometriyalıq razmerleri tuwralı maǵlıwmat alıwğa múmkinshilik beredi. Mikroplazmalı xarakterioqraf járdeminde joqarıda atı atalğan yarım ótkizgishli diod hám diodlı strukturalardıń elektrofizikalıq parametrlerin anıqlawda hám hár qıylı sırtqı tásirler járdeminde jaqlawda kerek bolğan tiykarǵı metodikalardıń biri bolıp tabıladı.

Ádebiyatlardıń kórsetiwinshe atap aytqanda Rossiyalı ilimpazlar Grexov, Serejkin, Ukrainalı ilimpazlar R.V.Konakova, Yu.A.Txorik, Pribaltika ilimpazları T.Ya.Puritislerdiń kórsetiuleri boyınsha yarım ótkizgishli diod hám diodlı strukturalarda mikroplazmalar hár qıylı defektler menen baylanıslı bolıp p-n ótkel boyınsha mikroplazmanıń jaylasıw tártibi defektlerdiń tiyipine baylanıslı boladı [24]. Joqarıda atı kórsetilgen ilimpazlar p-n ótkeldiń kólemindegi mikroplazmalardıń payda bolıwın dislokatsiyalar menen baylanıstırğan bolsa, al sońǵı jılları atap aytqanda N.L.Dmitruk hám M.B.Tagaevlardıń jumıslarında kórsetilgenindey mikroplazmalardıń payda bolıwı metall menen yarım ótkizgish shegarasındağı betlik birteksizlikler (relefler) menende baylanıslı boladı. Atap aytqanda M.Tagaevtiń doktorlıq jumısında metall menen yarımótkizgish

shegarasındaǵı betlik birteksizlikler yaǵnıy mikroreleflerdiń biyikligi $h > 20\text{nm}$ bolǵan jaǵdayda mikroplazmalıq kernewge kúshlierek tásir etedi yaǵnıy proboylıq kernew kishireyip proboy erte baslanadı. Al bul parametr tuwralı maǵlıwmatqa iye bolıw hám olardı saplastırıw yarım ótkizgishler elektronikasında úlken áhmiyetke iye máselelerdiń biri bolıp tabıladı.

Jánede qosımsha sonı aytıp ótiw kerek mikroplazmanıń jaylasıw tártibin, geometriyalıq razmerlerin anıqlay otırıp mikroplazma kanallarındaǵı temperatura haqqında tolıq maǵlıwmatqa iye bolıwǵa boladı. A.İ.Shkrebtıydiń jumısında kórsetigenindey mikroplazma bar jerdegi temperatura sanaatta tayarlanǵan tayar lavinno-proletnıy diodlarda shama menen 600K ge shekem jetedi. Demek mikroplazmanı tochkalıq jıllılıq orayı dep esaplawǵa boladı. Solay etip mikroplazma bar jerde toq tıǵızlıǵı, basqa bir tekli jerlerge salıstırǵanda anaǵurlım úlken boladı:

$$T(r, t) = A_s \frac{T_{MM}}{t} \exp \left[- \frac{r^2}{4 \left(\frac{X}{C_p} \right) t} \right] \quad (2.2.1)$$

Bul jerde T-temperaturada, r-aktiv mikroplazmaǵa shekemgi aralıq $\frac{X}{C_p}$ temperatura ótkizgishlik, A_s -jıllılıq ótkizgishlik aktivligin xarakterlewshi koeffitsent, mikroplazmanıń qosılıw waqtında. Endi mikroplazmalardıń sanı kóp bolǵan jaǵday ushın

$$T(r, t) = A_s \sum_{i=1}^j \frac{T_{mni}}{(t - t_i)} \exp \left[- \frac{(r - r_i)^2}{4 \left(\frac{X}{C_p} \right) (t - t_i)} \right] \quad (2.2.2)$$

r_i -i- mikroplazmanıń jaylasıw aralıǵı,

t_i -i-ti mikroplazmanıń qosılıw waqtı.

Bunnan sonı kóriwge boladı j-shi mikroplazmanıń qosılıw momentinde T – temperatura mikroplazmanıń sanına hám qosılıw waqtınıń uzaq dawam etiw waqtına baylanıslı yaǵnıy $U < U_j$. Joqarıda ayılǵanıday mikroplazmanıń qosılıw kernewi, T -ǵa kerı baylanısta boladı. Solay etip hár bir mikroplazmanıń qosılıw waqtınıń impulstıń sozılıw waqtına, kernewge baylanıslılıǵın bile otırıp, eń bir áhmiyetli protsess bolǵan mikroplazmalardıń jaylasıw aralıǵın anıqlay alamız. Bul yarım ótkizgishli ásbaplardı diagnostirovat etiwde judá keńnen en jayǵan metodikalar qatarına jatadı. Al bizlerdiń pitiriw qániygelik jumısımızda teoriyalıq hám eksperimental túrde mikroplazma kanallarındaǵı temperaturanı hám mikroplazmanıń qosılıw kernewi sıyaqlı parametrlerdı anıqlaw menen sheklenemiz. Yaǵnıy bul metodika járdeminde voltamperlik xarakteristikanı diferentsiallay otırıp, hár qıylı temperaturalarda $\Delta u(\tau)$ -baylanıslılıǵı anıqlanadı. Usı maqsette bul metodika “mikroplazmennıy xarakterigraf” Ukraina milliy Akademiyasına qarastı yarım ótkizgishler fizikası institutında proffessor Yu.A.Txorik hám proffessor R.V.Konakovalardıń bassılıǵında razrabotka etilgen. $\Delta U(T)$ baylanıslılıqtı anıqlaw ushın volt-amperlik xarakteristikası hár qıylı temperaturalarda differentsiyalanadı. Mikroplazmanıń qosılıw kernewin anıqlaw, diodqa túsip atırǵan impulslı nagruzkadan soń mikroplazmanıń kanallarındaǵı temperaturanı anıqlawǵa múmkinshilik beredi. Proboy kernewiniń temperaturaǵa baylanıslılıǵın anıqlaw ushın rezistivniy qızdırǵısh (nagrevatel) qollanıladı. Usı maqsette izertlenip atırǵan p-n ótkelge impulslı kernew qosıladı, mikroplazma kernewinen zıyat bolıwı ushın mikroplazmanıń hár qıylı jasaw uaqtı menen – τ hám bunnan soń mikroplazmanıń qosılıw kernewin ólshew qaytalanadı.

Bunday metodika járdeminde mikroplazmalardıń jaylasıw tártibin anıqlawǵa hám olardıń bazıbir geometriyalıq ólshemleri tuwralı maǵlıwmat alıwımızǵa boladı.

III-BAP. EKSPERIMENTTE ALINGAN NATIYJELERDI TALIQ LAW

§3.1. Cr-GaAs diodli strukturalariniñ elektrofizikalıq qasiyetlerine lazer hám ultrases nurlariniñ tásiri

Soñğı waqıtları yarımotkizgishli materiallar h'am strukturalardıñ qasiyetlerine termikalıq qayta islew tasirlerin izertlewge bağıshlangan jumıslar intensiv turde alıp barılmaqta. Natıyjede yarımotkizgishli aspablardıñ sırtqı tasirlerge bolgan shıdamlılıgın arttırıwga qaratılğan mashqalalardı izertlewlerge tuwra kelmekte.

Bunday mashqalalardı izertlew tiykarınan jana texnologiyalar tiykarında alınğan (**GaAs**)-arsenid galliyli diodli strukturalarga tiyisli esaplanadı. Sonıñ menen birge, júdá az dozadağı sırtqı tasirler yarımotkizgishli aspablardıñ parametrlerinin jaqsılanıwına alıp keliwi mumkin. Bunday tasirler sıpatında bolsa, lazer hám ultrases nurları qollanıladı. [7-8].

Biziñ bul magistrlik dissertatsiya jumısımızdıñ maqseti- Cr-GaAs diodli strukturalarınıñ elektrofizikalıq qasiyetlerine lazer hám ultrases nurlarınıñ tasirin izertlew bolıp esaplanadı.

Eksperiment metodikasi

Barier strukturalar aldın ala ximiyalıq tazalawdan ótken $n-n^+$ -GaAs strukturasınıñ betine 80 nm qalınlıqtağı xrom elementin napıyat etiw arqalı alındı.

Legirleniwshi primeslerdiñ (qosımtalardıñ) kontsentratsiyası 10^{16} sm^{-3} bolıp, GaAs epitaksial qatlamınıñ (plenkasınıñ) qalınlıgı 5 mkm-di kuradı. Al n^+ - podlojkasınıñ qalınlıgı 300 mkm bolıp, oğan legirleniwshi primeslerdiñ (qosımtalardıñ) kontsentratsiyası bolsa, $2 \times 10^{18} \text{ sm}^{-3}$ boldı.

Úlgiler balqıw temperaturasına jetpeytuğın 1000 Vt/sm^2 quwatlılıq tıgızlıgındağı, 20 ns dawamlılıqtağı impulske iye $\lambda=1.06 \text{ mkm}$ tolqın uzınlıgındağı lazer tásirinde nurlandırıldı. Komnata temperaturasında Cr-GaAs diodli strukturalarınıñ nurlanıwğa shekemgi hám nurlanıwdan soñğı volt-ampereklik xarakteristikalarınıñ (VAX) tuurı hám kerı shaqaları olshenip, bunnan $n-$

idealnost faktori, φ_b - Shottki barier biyikligi hám V_B -lavinnogo proboy kerneuinin I_0 -toyınıw toǵı anıqlandı.

Sonıń menen birge, bul strukturanıń volt-faradalıq (VFX) xarakteristikaları ólshenip, onnan N_V -legirleńiwshi primeslerdiń kontsentratsiyası anıqlandı.

Ultrasesli qayta islew úzliksiz rejimde islewshi ultrasesli tolqınlar jardeminde alıp barıldı. Ultrasesli tolqınlardıń jiyiligi (f_{UZ}) 9 hám 30 MGts aralıǵında bolıp, tasir etiw wakıtı (t_{UZ}) 120 hám 180 minuttı quradı.

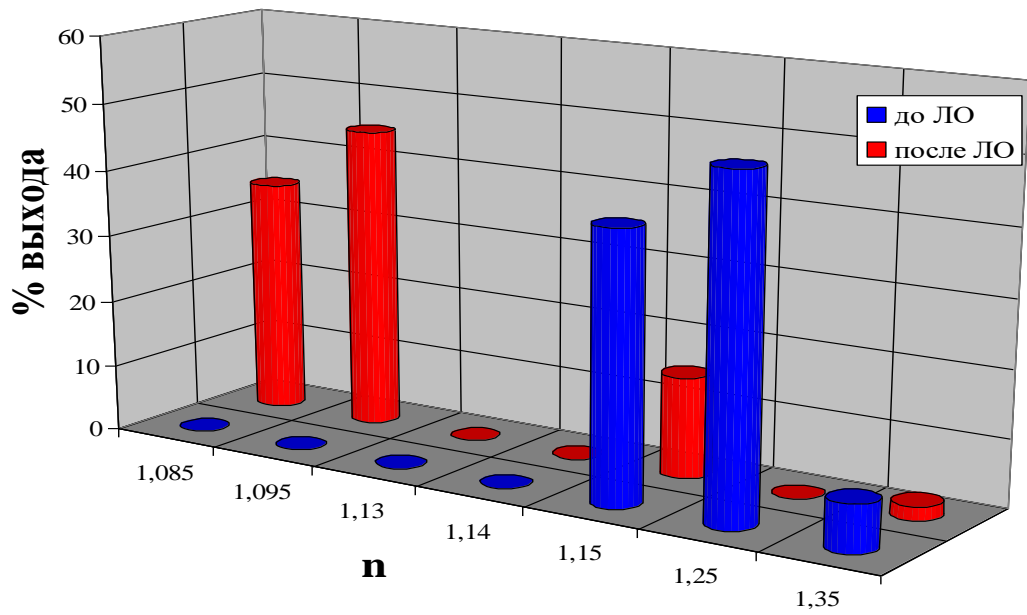
Komnata temperaturasında Cr-GaAs diodlı strukturalarınıń nurlanıwǵa shekemgi hám nurlanıwdan sońǵı volt-amperlik xarakteristikalarınıń (VAX) tuwrı hám kerı shakaları ólshenip, bunnan n - idealnost faktori, φ_b - Shottki barer biyikligi anıqlanıp, onnan kelip shıqqan n hám φ_V shamaları 3.1.-súwrette korsetilgen. Súwretten bizge belgili, nurlanıwǵa shekemgi ulgide tuwrı jıljımalı (pryamosmeshennıx) Shottki barerli diod parametrleriniń anaǵurlım darejede razbrosı bayqaladı.

Hár bir diodlı strukturanı nurlandırganımızda n hám φ_B - parametrleriniń ozgerisleri juz bergen, yaǵnıy 1000 Vt/sm^2 quwatlılıq tıǵızlıǵındaǵı, 20 ns dawamlılıqtaǵı impulske iye $\lambda=1.06 \text{ mkm}$ tolqın uzınlıǵındaǵı lazer tásirinde nurlandırw natıyjesinde bul parametrlerdiń minimal ózgerisleri anıqlanıldı.

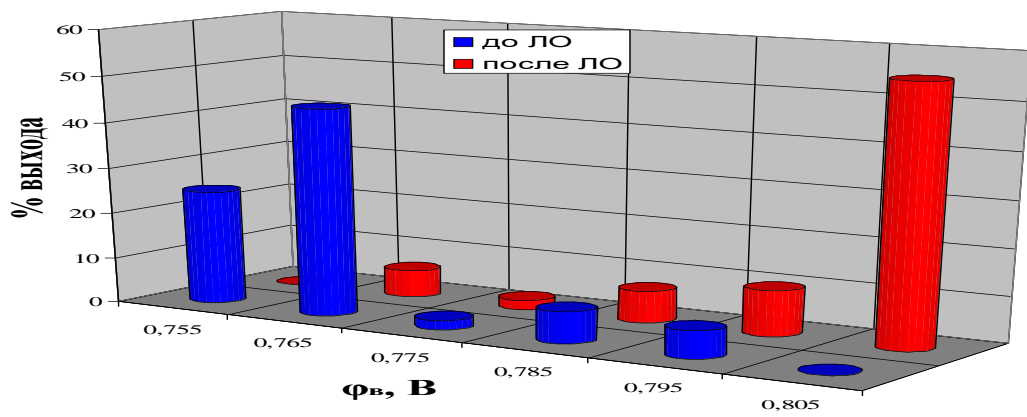
Lazerdiń bir tolqın uzınlıǵınan ekinshisine ótiwi ushın gazlı trubkadan paydalanamız.

Gazlı trubkanıń bir ushında kishkene arnawlı klyuch sıyatuǵın sańlaq boladı. Usı sańlaq arqalı klyuch penen lazerdiń shıǵıwshı tolqn uzınlıqların ózgeriwimizge boladı.

Dál maksimal ireńdegi nurdı alıwımız ushın lazerdiń ireńine tiyisli nurlanıw shıńın (nurlanıw pikin) tabıwımız kerek. Lazerden shıǵıwshı nurdıń ireńiniń ózgeriwi degende gazlı trubkadaǵı har qıylı ionlanıw dárejesiniń ózgeriwin túsınsek boladı.



a)



b)

3.1.-súwret. Cr- n - n^+ GaAs- Shottki barerli diodlı strukturalarınıń nurlanıwǵa shekemgi hám nurlanıwdan sońǵı ideallıq faktorı n - niń hám barer biyikligi φ_V - diń bólistiriliw gistogrammları (1000 Vt/sm² quwatlılıq tıǵızlıǵındaǵı, 20 ns dawamlılıqtaǵı impulske iye $\lambda=1.06$ mkm tolkın uzınlıǵındaǵı lazer tásirinde)

3.1.-súwretten bizge belgili, 80% diodlı strukturalardıń ideallıq faktor shamaları anagurlım darejede tomenlep, 75% diodlı strukturalardıń barer biyiklikleri artkan. Súwret boyınsha alınǵan, ideallıq faktorı n - niń hám barer biyikligi φ_V -diń natıyjelerine suyene otırıp, I_0 -toyınıu toǵınıń birkansha azayǵanın baykaymız. Bul uaqıtta volt-faradalık (VFX) xarakteristikalarınan esaplanılǵan, nurlanıwdan soń 10^{16} sm⁻³ iye bolǵan lagirlengen primesler kontsentratsiyası ozgerissiz kalıp, onıń manisi eksperiment natıyjelerinde alınǵan hám ~80V kuragan Shottki barerli strukturalardıń lavinalı proboy kerneu- V_B manisi menen saykes keledi. Bul shama tomendegidey formula jardeminde anıqlanadı:

$$\left(\frac{E_g}{kT} \right)^2 \exp\left(\frac{E_g}{kT}\right) = \frac{N_B}{n} \exp\left(\frac{qV_B}{kT}\right) \quad (3.1)$$

bunda: E_g -kadagan etilgen zona kenligi, bizin jagdayımızda $T=300$ K temperaturadaǵı GaAs strukturası ushın $E_g=1.41$, al N_B - GaAs strukturasının n katlamına kiritilgen primesler kontsentratsiyası bolıp, onıń manisi bizin jagdayımızda $\sim 1,11 \times 10^{16}$ sm⁻³ ke ten.

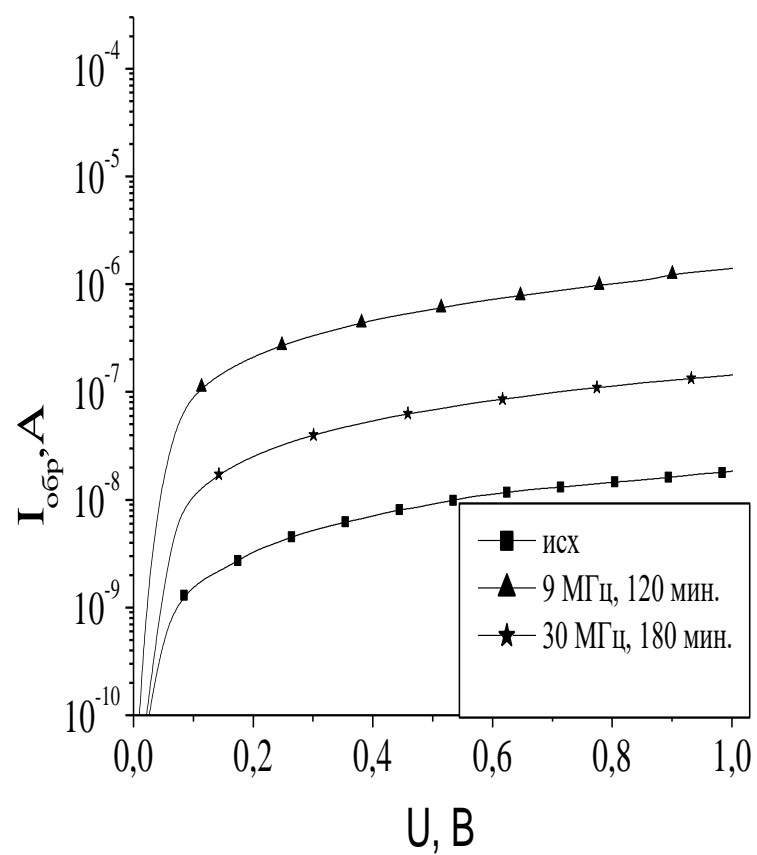
Shottki barerleriniń lazer nurı tásir etkennen keyingi parametrleriniń ózgeriwi, ⁶⁰So nurı menen tásir etkennen keyingi hám mikro tolqınlı nurlanıw tásir etkennen keyingi betlik qatlamdaǵı parametrlerdiń ózgreiwine saykes túrde ózgerdi. Bizlerdiń esaplawımızdan, eksperimentten alınǵan nátiyjelerimizge suyengen halda lazer nurı menen tásir etiw arqalı GaAs tiń kontaktlik oblastında strukturalıq defektlerdiń tıǵızlıǵınıń kemeyiwine, metall-GaAs shegarasında aralaspalardıń strukturalıq defektleriniń tártipleniwi payda bolptuǵını dálilendi.

Usınıń menen birge bizler ózlerimizdiń magistrlik dissertatsiya jumımızda ultrasestiń hár qıylı rejemdegi tásirinen keyingi yarımótkizgishli diodlıq strukturalarımızdıń volt-amperlik xarakteristikalarında izertlep shıqtıq. Usı ultrases tásirinen keyingi yarımótkizgishli strukturalarımızdıń betlik parametrleriniń ózgeriwi 1-tablitsada kórsetilgen. Ultra sestıń tásiiri UZO-1 ($f_{UZ} = 9$ MGts hám $t_{UZ} = 120$ min) bolǵanda diodlıq strukturalardıń parametrleri tómenleydi yaǵnıy jaman toktıń tómenlew protsessine alıp keletuǵının kóriwimizge boladı. Ultrasestiń tásiiri UZO-2 ($f_{UZ} = 30$ MGts hám $t_{UZ} = 180$ min) bolǵanda betlik parametrlerdıń jaqsılanganlıǵın kóriwimizge boladı. UZO-2 ultrases tásirinen keyin keri toktıń shaması UZO-1 ultrases tásirine qaraǵanda bir eses kemeygenligin tablitsadan kóriwimizge boladı. Bunday ózgerislerdiń bolıwın 2.2-grafiginende kóriwimizge boladı. Keri toktıń kemeyiwi generatsiya-rekombinatsiya oraylarınıń kontsentratsiyasınıń kemeyiwi menen túsindirsek boladı [14].

Tablitsa 3.1.

1-tablitsa. Ultrases tásirinen keyingi Shottki barerli diodlıq strukturalardıń parametrleriniń ózgeriwi.

Parametrler	UZO násirinen keying (f_{UZ} hám t_{UZ})		
	Dáslepki.	9 MGts 120 min	30 MGts 180 min
U_V, V	0,744	0,736	0,754
n	1,17	1,22	1,15
$I_{obr}, A, \text{pri } 1 V$	3×10^{-8}	2×10^{-6}	2×10^{-7}



3.2-súwret. Keri toktıń hár qıylı UZO-tásirinen keyingi ózgeriwi

Ekspereimentleriden alıńǵan nátiyjelerge tiykarlanıp ultrases tásir etiw arqalı GaAs tiykarındaǵı diodlıq strukturalardıń parametrlerin basqarıwǵa bolatuǵınlıǵın dáliledik.

§ 3.2. Asa joqarı jiyilikte isleytuǵın GaAs tiykarındaǵı diodlar ushın barer kontaktlarına qoyılatuǵın tiykarǵı talaplardı izertlew

Shottki barierli arsenid galliy lavinli proetlı diodlardıń isten shıǵıw sebeplerin izertlegende interdiffuziya hám kólemli birgelikli emes qubılıslar menen bir qatarda bóliniw shegarası defektleriniń roli seziledi.

Fazalar bóliniwiniń shegaralarınıń defektligi, tiykarınan sistemada mexanikalıq kernewdiń bar ekenligine baylanıslı boladı, olar belgili bir sharayatlarda dislokatsiya yamasa dislokatsiyalıq setkalardıń dúziliwi menen relaksatsiyalanadı, olar barerge jaqın turǵan oblastlarda defekt payda etedi.

Bul oblast barer frontı boyınsha birteksiz lokallanǵan boladı, bul barer maydan boyınsha birteksizliklerdiń kóbeyiwine hám tezlestirilgen diffuziya qospararı menen sıpatlanatuǵın uchastkalardıń payda bolıwına alıp keledi [18]. Bul eki faktorda texnologiyalıq sapasızlıqtıń kelip shıǵıwına hám diodlardıń elektron apparaturada islegende isten shıǵıwına sebepshisi boladı.

Texnologiyalıq qayta islewdiń rejimin hám Shottki diodlarının jumıs temperatura rejimlerin elektron sxemalarda modellew isten shıǵarıwdıń eń úlken sebepshisi metall qospalardıń Shottki barerin payda etiwshi metall qabatı arqalı ashıqlıq zaryadı oblastına kontaktınan bolatuǵın diffuziya bolıp esaplanadı. Bunda bóliniw shegarasındada oǵan jaqın turǵan arsenidgalliy oblastındada mıshyak yamasa galiy menen metallardıń birikpeleriniń dúziliwi múmkin. Tez erigish metallardıń bufer qatlamlarının quramalı kontaktleri hám arsenidgalliy menen bir qatar metallardıń qattı ertpeleri tiykarındaǵı barer kontaktleri payda bolıwı ásbaplardıń isenimliligini arttıradı.

Bul jaǵdayda isten shıǵıwıardı bóliniw shegarasında hám yarım ótkizgishliktin betki qatlamlarında faz bóliniwi shegaralarında diodtıń jumıs

temperaturasında fizikalıq-ximiyalıq ózara-tásirlesiwdiń sebebinen hár túrli defektlerdiń payda bolıwına alıp keledi.

Tez erimli metallardı joqarı jiyilik arsenidgalliy diodlarınń isenimligin arttırıw ushın qollanılatuǵın barerdiń termoturaqlılıǵın jaqsılawǵa járdem beredi, sebebi bunday sistemalarda arsenidgalliy menen 800⁰S-temperaturaǵa shekem birikpeler dúzilmeydi. Biraq bul relaksatsiyası ásbap parametrleriniń degredatsiyasına alıp keletuǵın kontaktlardaǵı mexanikalıq tartılıs máselelerin sheship bergen joq.

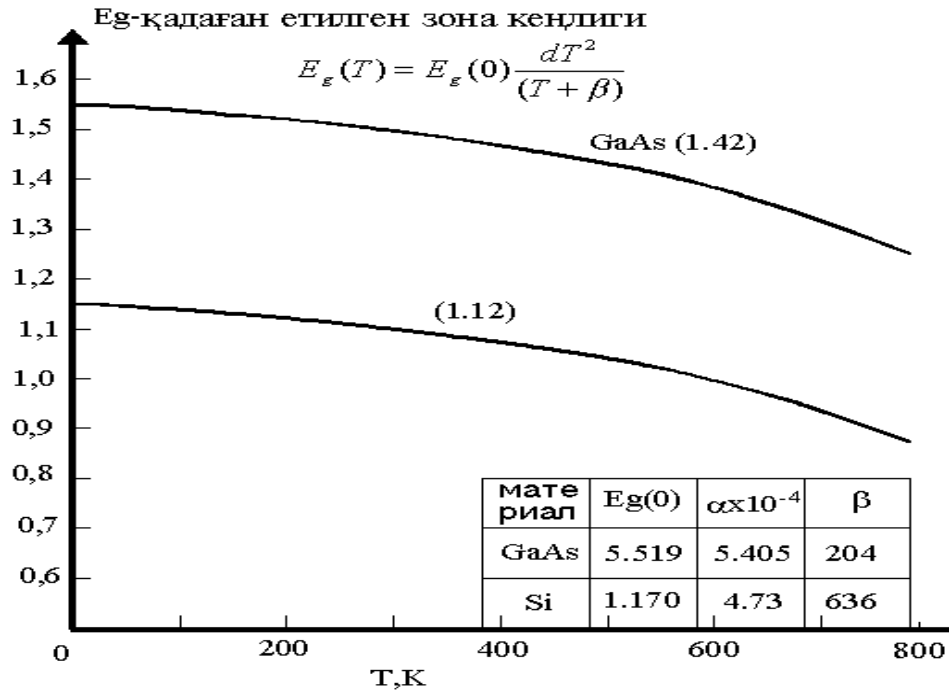
Arsenid galliyge termo turaqlı tartılıssız barier kontaktı probleması bul maqsette Si_xGe_{1-x} -tiń $x=0,02$ -ni qollanıp sheshiwge erisken. Bul kontaktta barier hám bufer qásiyetleri júdá jaqsı birigedi, onıń ústine Si_xGe_{1-x} betki qabatında okis qatlamınıń bar ekenligi bunı kúsheytedi.

Metall yarımótkizgish barier kontaktındaǵı interdiffuziyanı paseńletiw ushın arsenid galliy lavinli prolethı diodtıń isenimligin arttırıw maqsetinde arsenid galliydiń betki qabatına juqa SiO₂ qabatın qoyıw usınıladı, bul álbette qosımsha texnologiyalıq operatsiyanı hám qoyılıp atırǵan SiO₂ qatlamınıń birgelikli emes máselesin sheshiwdi talap etedi.

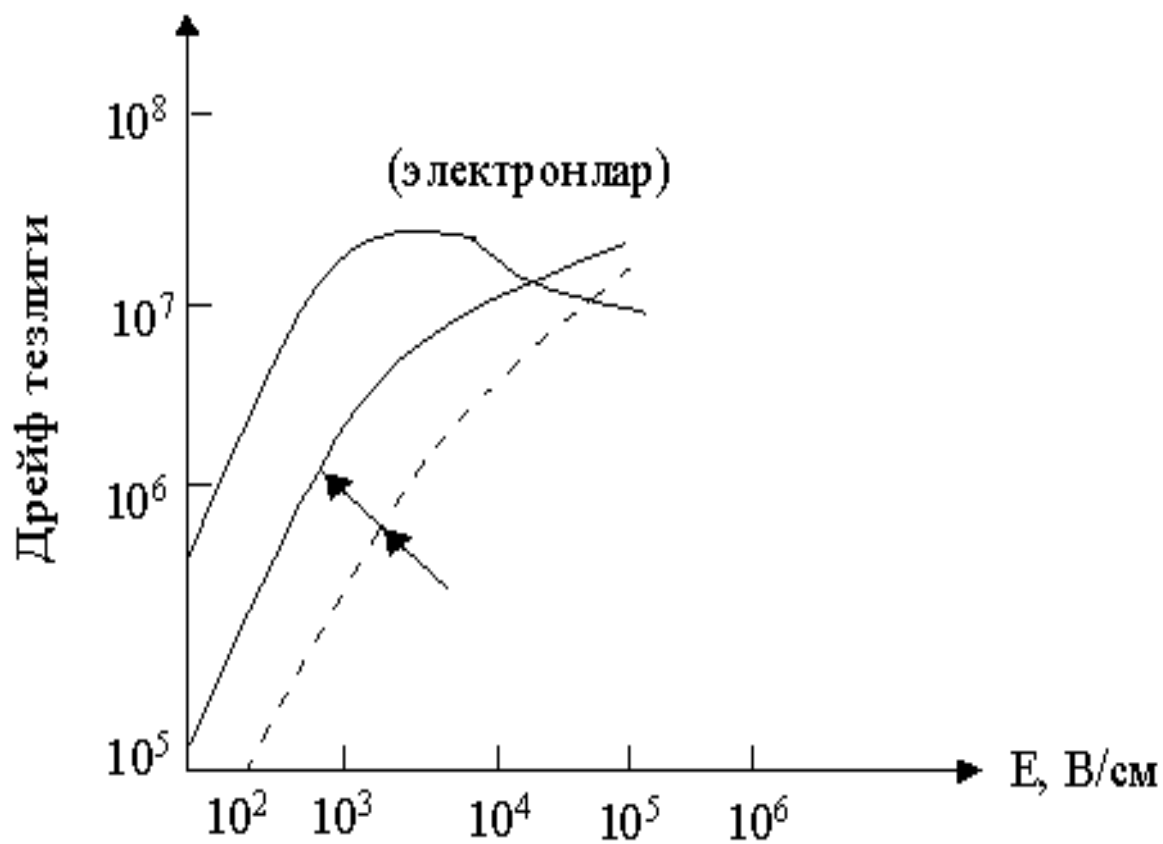
Shottki barerli lavinli prolethı diodtıń isenimligin arttırıw ushın kóp qatlamlı kontaktlar tiykarında Au-Pt-Cr-Pt sisteması usınıladı. Lavinli prolethı diodtıń Au-Pt-Cr-Pt kontaktları menen degradatsiya protsessiniń aktivlesiw energiyası 2,2 eV tı quraytuǵının kórsetti.

Lavinli prolethı diodınıń barer kontaktınıń isenimligi tezlestirilgen sınavlar hám Arrenius teńlemesi boyınsha analiz nátiyjeleri járdeminde bahalanadı. Bul qosımsha talıqlawdı talap etedi, sebebi tezlestirilgen sınavlar ushın joqarı temperaturanı qollanıw ásbap dúzilisiniń hár qıylı oblastlarında birdey emes degradatsiya shárayatların jaratadı, onda álbette temperatura, eger ásbap elektr qısımı astında bolsa ondaǵı strukturalıq defektler bar bolǵanlıǵı ushın birgelikli emes boladı. Pribor strukturasınıń degradatsiyasın teńleme boyınsha analizlegende ádette diod strukturasındaǵı temperatura kólemi boyınsha birgelikli hám R quwatlıǵınıń tarqalıwı

$$T=T_0+PRT \quad (3.2)$$



3.3-сúwрет. GaAs hám Si qadaған etilgen zona кеңлігінің температуралық ғárezлігі



3.4-súwret. GaAs hám Si degi dreyf tezliginiń elektr maydanına gárezliligi

3.4-súwret. GaAs hám Si degi dreyf tezliginiń elektr maydanına gárezlilikige teń boladı. Bunda T_0 -qorshağan ortalıqtıń temperaturası, R -jıllılıq qarsılıǵı. Arrenius nızamı boyınsha t_γ diodtıń ótiwge shekemgi ortasha islew awhalın anıqlap hám alınan aktivatsiya energiyasını salıstıra otırıp tómendegige iye bolamız

$$t_\gamma = C \exp(\Delta E/kT) \quad (3.3)$$

Bul jerde S -proportsionallıq koeffitsenti, ΔE -energiyanıń isten shıqqanǵa shekemgi protsesstıń aktivizatsiyası, K -Boltsman turaqlısı, T -temperatura .

Otkaz etiw aktivatsiya energiyasını pribordıń VAX nıń tuwındısınan alınan analiz benen salıstıra otırıp biz mınaday juwmaqqa kelemiz:

Arsenidgalliy LPD da Shottki barer menen diod tiykarında mikroplazmanıń urılıwı menen, birge diffuzion r-n aktivizatsiya energiyasınıń ótiwi menen ΔE 0,6-1,0 eV tı quraydı, bul degredatsiya protsessi ushın xarakterli, sonın menen birge joqarı effekt penen hám bul maǵlumatlar bir-biri menen tuwrı keledi.

Arsenid galliy LPD-sı Shottki barieri menen birgelikli lavin urılıwları menen mına ólshem xarakterlenedi. ΔE 1,8 ÷ 2 eV, getere ótiwde *Ge-GaAs* qatlam qalınlıǵı $Ge=0,1$ mkm.

LPD ǵa uqsagan Shottki bareri menen $\Delta E=2,2$ eV boladı. Arrenius iymegi LPD nıń bul tiplerine 3.8súwrette kórsetilgen. Bul juwmaq sonı kórsetedi LPD getero ótiw menen, bolimniń shegarasına iye bolıw menen birge az rekombinatsiya aktivlik arseidgalliydiń shegaralanǵan jerinde hám birgeliki, lavin urıwlarında úlken isenimlilik tuwdıradı, diffuzion r-n ótiw menen yamasa Shottki bareri salıstırǵanda isten shıǵıw bul jaǵdayda metaldın barer boyınsha LPD nıń aktiv oblastına diffuzion ótiw menen baylanıslı boladı.

LPD *Ge-GaAs* isten shıǵıwǵa 10 saat ortasha islew uaktına iye, bul quramalı texnologiyada tayarlanǵan ásbaptıń bul klassı ushın legirlew profili quramalı, bunı epitaksiya suyıq fazlık metodı menen alınadı.

Biraq LPD nín Arrenius qıysıǵı boyınsha isenimlilik qásiyetin analiz qıla otırıp ózimizge salıstırma boyınsha esap beriwimiz kerek, bunı alınǵan juwmaqlardan alamız. Barlıq jaǵdaydada tezletilgen sınaw ótkeriwdiń aldın ala hám keyingi ótkeriwlerde LPD nín parametrleriniń buzılmas tekseriwın volt-amperek kóbeymesi boyınsha ótkiziw kerek, bunda mikroplazmalıq ses penen hám baskada xarakteristikalar menen.

JUWMAQLAW

1. **Cr-GaAs** diodlı strukturalarının elektrofizikalık kasiyetlerine lazer hám ultrases nurlarının tasirin izertlenildi.
2. Yarımótkizgishli **Cr-GaAs** diodlıq strukturalarındaǵı toktıń tasılıw mexanizmleriniń ózgerisleri úyrenildi.
3. Temperaturaǵa baylanıslı **Cr-GaAs** juqa plenkasındaǵı tok ótiw protsessleri úyrenildi.
4. Kólemlik kristallargá salıstırǵanda **Cr-GaAs** strukturasınıń qalınlıǵınıń artıwı menen elektrofizikalıq qásiyetleriniń ózgeriwleri anıqlanıldı.
5. Lazer nurınıń hár qıylı dozaları tásirinen keyin platinıy arsenid galliy diodlıq strukturalarının VAX nıń belgili dozaǵa shekemgi jaqsılanıwı anıqlanıldı.
6. Lazer nurının hár qıylı dozasanan keyingi diodlıq strukturalardıń quramındaǵı elementlerdiń bólistiriliw profilleri anıqlanıldı.
7. VAXnıń lazer nurı tásirinen keyingi jaqsılanıwınıń sebepleri platinıy atomlarının barierlik qatlamnan ótip galliy arsenid atomları menen birigiwi anıqlanıldı.

Paydalanilgan ádebiyatlar dizimi

I. Normativlik-huqiqiy hújjetler

1. Ózbekstan Respublikasi Konstitutsiyasi.-T..”Ózbekstan” 2015-yil
2. Ózbekiston Respublikasi Jismoniy tarbiya va sport vazirligini (keyingi órinlarda Vazirlik deb yuritiladi) tashkil etish Ózbekiston Respublikasi Prezidenti Sh.M.Mirziyoyev Toshkent shahri, 2018-yil 5-mart
3. Ózbekiston Respublikasi Prezidenti Shavkat Mirziyoyev 2016-yil 30-dekabr kuni mamlakatimizning yetakchi ilm-fan namoyandalari bilan uchrashuvi va Ilim fani yanada rivojlandirish haqqida farmoni.
4. Ózbekiston Respublikasiniń « Magistratura haqqindaǵı nızami » T. 2015.
5. Ózbekstan Respublikasi Prezidenti Sh.M.Mirziyayevtiń Oliy májliske Murájati. 2018-jil 23-dekabr. “Erkin Qaraqalpaqstan” gazetasi

II. Qosimsha ádebiyatlar

1. Mirziyoyev SH.M. « Erkin va farovon demokratik Ozbekiston davlatini birgalikda barpo etamiz » .Toshkent. « Ozbekiston » NMIU. 2017. 29-b.
2. Mirziyoyev SH.M. « Qonun ustuvorligi va inson mamanafaatlarini taminlash yurt taraqqiyoti va xalq farvonligining garovi ». «Ozbekiston » NMIU 2017. 47-b.
3. Mirziyoyev SH.M. «Buyuk kelajagimizni mard va oliyjanob xalqimiz nilan birga quramiz ». « Ozbekiston » NMIU. 2017. 485-b.
4. Ozbekiston Respublikasi Prezidentining 2017-yil 7-fevraldagi Ozbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish boyicha harakatlar strategiyasi toǵrisidagi PF-4947-sonli farmoni. Oz.R qonun hujjatlar toplami . 2017-y. 6-son. 70-modda.
5. Ozbekiston Respublikasi Prezidentining 2017-yil 20-apreldagi « Oliy talim tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari toǵrisida »gi №2909-sonli qarori.

Ilmiy-teoriyalik hám metodikalik ádebiyatlár

1. Tagaev M.B, Sharibaev M.B, Nizamatdinova G.B. Relaxation processes in quantum-dimension heterostructures CdZnTe/ZnTe after irradiation. Science and education in Karakalpakstan., 2017g., № 1., p.10-14.
2. İsmaylov K.A., İsmaylov B.K., Jalelov M.A. Vliyanie baricheskix obrabotok na svoystva struktur Al-SiO₂-n-Si<Ni>. ILIM HÁM JAMIYET. 2017 (№2). Str. 5-7.
3. Vliyanie atermicheskix obrabotok na svoystva diodnix struktur Cr-GaAs. İsmaylov K.A., Bekbergenov S.E., İsmaylov B.K., Abdireymova G.R., Ermatov Sh.A. Nauchny Vestnik. Andijan. 2017 №1. str. 23-26. İxtin A.N., Popov V.A., Yaskov D.A. Omicheskie kontaktı k poluprovodnikam, poluchennıe s pomoshyu lazera. //FTP. Sankt-Peterburg. 1969. –T.3. -Vıp.11. -S.1646-1648
4. Prognozirovaniye nadejnosti poluprovodnikovix lavinnix diodov R.V.Konakova, P.Kordosh, Yu.A.Txorik i dr. Kiev: Naukova dumka.- 1986, 188s.
5. Vliyanie tolshini epitaksialnix plenok na fotolyuminescentniye svoystva epitaksialnix plenok ZnTe/GaAs. Sharibaev M., Yuldashev A., Kayıpnazarov Sh., Nizamatdinova G. «Fundamentalniye i prikladniye voprosı fiziki». Trudı Mejdunarodnoy konferentsii. 13-14 iyunya 2017 goda. –S. 98-101.
6. Kompleksnoe differentsialnoe soprotivleniya dlinnix diodov izgotovlennix iz kompensirovannix poluprovodnikov. İsmaylov K.A., Muratov A.S. «Fundamentalniye i prikladniye voprosı fiziki». Trudı Mejdunarodnoy konferentsii. 13-14 iyunya 2017 goda. –S.143-148.
7. Vliyanie ultrazvukovogo oblucheniya na elektrofizicheskie svoystva strukturi M(Al)-O(Al₂O₃)P(CdTe). Mirsagatov Sh.A., Uteniyazov A.K.,

- İsmaylov K.A. Fundamentalnie i prikladnie voprosı fiziki». Trudi Mejdunarodnoy konferentsii. 13-14 iyunya 2017 goda. –S.174-178.
8. Vliyanie rentgenovskogo oblucheniya i mexanicheskogo sjiatiya na opticheskie svoystva kvantovo-razmernıx struktur CdZnTe/ZnTe/GaAs. Sharibaev M., Bijanov A., Jumanazarov A. «Fundamentalnie i prikladnie voprosı fiziki». Trudi Mejdunarodnoy konferentsii. 13-14 iyunya 2017 goda. –S. 196-199.
 9. Vliyanie SVCh izlucheniya na svoystva kontakta metall-poluprovodnik. İsmaylov K.A., Tagaev M.B., Bekbergenov S.E., Sharibaev M.B., Kayıpnazarov S.G. «Fundamentalnie i prikladnie voprosı fiziki». Trudi Mejdunarodnoy konferentsii. 13-14 iyunya 2017 goda. –S.251-254.
 10. Vliyanie mikrovolnovoy obrabotki na parametri diodov s barerom Shottki na osnove SiC. Kamalov A.B., Ashirbekova S.U., Abdijaliev S.K. «Fundamentalnie i prikladnie voprosı fiziki». Trudi Mejdunarodnoy konferentsii. 13-14 iyunya 2017 goda. –S.254-256.
 11. İntegratsiya chislennıx i sxemotexnicheskix modeley poluprovodnikovıx priborov dlya analiza defektov i prognozirovaniya nadejnosti. Tagaev M.B., Statov V.A. // V. Trudi Respublikanskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Fizikaning aktual muamallari». 2017 –S.129-130.
 12. Ctrukturnie defektı v kvantovo-razmernıx strukturax ZnTe/GaAs. Sharibaev M., Turmanova G., Babaxova G. Nauchnoy metodicheskoy problemi injinernoy fiziki. Tashkent. 8-9 sentyabrya 2017 god. 65-68.
 13. Radiatsionnie effekti v kvantovo- razmernıx strukturax ZnSe/CdSe. Sharibaev M., Bijanov A., Yuldashev A. Nauchnoy metodicheskoy problemi injinernoy fiziki. Tashkent. 8-9 sentyabrya 2017 god. 68-70.
 14. Kolebaniya elektronov naxodyashixsya v kontaktnoy oblasti dvux poluprovodnikov. İsmaylov K.A., Muratov A.S. Nauchnoy metodicheskoy problemi injinernoy fiziki. Tashkent. 8-9 sentyabrya 2017 god. 61-63.

15. Vliyanie dislokatsii na fizicheskie xarakteristiki poluprovodnikovix pribornix struktur. İsmaylov K. Nauchnoy metodicheskoy problemı injinernoy fiziki. Tashkent. 8-9 sentyabrya 2017 god. 204-205.
16. Vliyanie SVCh izlucheniya na svoystva kontakt metall poluprovodnik. İsmaylov Q., Tagaev M., Bekbergenov S. Nauchnoy metodicheskoy problemı injinernoy fiziki. Tashkent. 8-9 sentyabrya 2017 god. 76-81.
17. Qoraqalpoğiston sharoitida quësh energiyasidan foydalanish istiqbollari. İsmaylov Q.A., Kenjaev Z.T. Nauchnoy metodicheskoy problemı injinernoy fiziki. Tashkent. 8-9 sentyabrya 2017 god. 176-178.
18. T.Ya.Puritis, İ.E.Ozolinya, R.Ya.Krike, Ya.P.Murans, Ya.K.Balodis Mikroplazmennıe yavleniya v kremnievım elektronno-dirochnom perexode İzvestiya Akademii nauk Latvii, Seriya fizicheskix i texnicheskix nauk, 1966, str. 383-390.
19. Zaytsevskiy İ.L., Konakova R.V., Ribalka V.V., Sherbina L.V. İspolzovanie metodiki modulyatsionnogo differentsirovaniya dlya issledovaniya neodnorodnostey VAX kremnievix LPD Mikroelektronika, 1980, tom 3, №9, s.253-258.
20. M.B.Tagáev. Vliyanie oblucheniya gamma kvantami ^{60}So i bıstrımı elektronami na velichinu kriticheskoy plotnosti toka kremnievix p-i-n diodov.- Uzbekskiy fizicheskij jurnal, 1996, №5-6, str. 102 – 104.
21. A.İ.Shkrebtıy, M.B.Tagáev, S.İ.Glushenko. O vzaimosvyazi mikroplazmennogo proboya s protsessami degradatsii lavinnıx p-n perexodov.- Vestnik AN UzSSR, 1989, str.18-24.
22. Tagaev M.B., Bekbergenov S.E., Kamalov A.B., Kudrik Ya.Ya., Kulish N.R., Malısh N.İ., Konakova R.V., Milenin V.V. Vliyanie lazernoy obrabotki s maloy plotnostyu energii izlucheniya na VAX diodov Shottki Pt- $n-n^+$ -GaAs. VI Mejdunarodnaya nauchnaya konferentsiya “Radiatsionno-termicheskie effekti i protsessı v neorganicheskix materialax” Tomsk, Rossiya, 8– 15 avgusta, 2008

goda. –S. 495-497.

23. Dauletmuratov B.K., i dr. /DAN Uz. -2008 . -№3. –S 21-27.
24. Tagaev M.B. i dr. Vzaimodeystvie i samoorganizatsiya dislokatsiy i mikroplazm v barerax Shottki i p-n perexodax bolshoy ploshadi. - Materialı mejdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya “Strukturnaya relaksatsiya v tverdex telax”, Vinnitsa, Ukraina, 2003, str. 122.
25. Pashkov V.İ., Perevozshikov V.A., Skupov V.D. Vliyanie otjiga v pole SVCh izlucheniya na ostatochnuyu deformatsiyu i primesnyy sostav pripoverxnostnyx sloev kremniya. //Pisma v JTF. -1994. -T.20. -Vıp.8. - S.14-18.
26. Abduraximov D.E., Vaxidov F.Sh., Vereshagin V.L., Kalinushkin V.P., Ploppa M.G., Rayzer M.D. İzmenenie svoystv poluprovodnikovıx materialov v rezultate vozdeystviya SVCh- impulsov nanosekundnoy i mikrosekundnoy dlitelnosti. //Mikroelektronika. -1991. -T.20. -Vıp.1. - S.21-25.
27. Voronkov V.P., Vyatkin A.P., İvanov B.V., Kuleshov S.M., Ruxadze Z.A. Voltampernie xarakteristiki kontaktov Pd-GaAs, podvergnutıx lazernomu otjigu.//FTP. –1989. –t.23. -№3. -S.562-564
28. Zi S.M. Fizika poluprovodnikovıx priborov. //M.: Mir. -1984. -T.1. - 455 s.
29. Evstropov V.V., Djumaeva M., Jilyaev Yu.V., Nazarov N., Sitnikova A.A., Fedorov L.M. Dislokatsionnie proisxojdienie model izbitochno-tunnelnogo toka v p-n-strukturax na osnove GaP. //FTP. -2000. -T.34. - №11. -S.1357-1362.

İnternet materialları

1. <http://fizik.bos.ru/>
2. <http://www.edu.ioffe.ru/apple/>
3. <http://www.ioffe.ru/>
4. <http://www.infoline.ru/g23/5495/physics.htm>