

**ÓZBEKISTAN RESPUBLIKASÍ JOQARÍ HÁM ORTA ARNAWLÍ  
BILIMLENDIRIW MINISTRILIGI  
BERDAQ ATÍNDAĞÍ  
QARAQALPAQ MÁMLEKETLIK UNIVERSITETI**

Qoljazba huqıqında

UDK: 537.3.33

KOSBERGENOV ERNAZAR JUSIPBAY ULÍ

**YARÍMÓTKIZGISHLI ÁSBAPLÍ STRUKTURALARDÍN  
ELEKTROFIZIKALÍQ XARAKTERISTIKALARÍNA SÍRTQÍ AKTIV  
TÁSIRLERDI IZERTLEW**

5A140204 - «Kondensaciyalanğan ortalıqlar fizikası hám materialtanıw»

(túrler boyınsha)

Magistr akademiyalıq dárejesin alıw ushın jazılğan

**D I S S E R T A C I Y A**

MAK da jaqlawğa ruxsat

Magistratura bólimi baslıǵı:

\_\_\_\_\_ doc. Gulimov A. B.

Kafedra baslıǵı: \_\_\_\_\_ prof. Ismaylov Q.A.

Ilimiy basshı : \_\_\_\_\_ prof. Ismaylov Q.A.

Nókis-2017

**ÓZBEKISTAN RESPUBLIKASÍ JOQARÍ HÁM ORTA ARNAWLÍ  
BILIMLENDIRIW MINISTRILIGI  
BERDAQ ATÍNDAGÍ QARAQALPAQ MÁMLEKETLIK  
UNIVERSITETI**

<b>Fakultet:</b>	Magistratura bólimi
<b>Qánigelik:</b>	5A 140204 Kondensaciyalangan ortalıqlar fizikası hám materialtanıw
<b>Kafedra:</b>	Yarımótkizgishler fizikası
<b>Oqıw jılı:</b>	2015-2016/2016-2017 j
<b>Magistrant:</b>	Kosbergenov E. J.
<b>Ilimiy basshı:</b>	prof. Ismaylov Q. A.

**“Yarımótkizgishli ásbaplı strukturalardıń elektrofizikalıq  
xarakteristikalarına sırtqı aktiv tásirlerdi izertlew” temasındaǵı  
MAGISTRLIK DISSERTACIYA ANNOTACIYASÍ**

**Magistrlik dissertaciya temasınıń tiykarları hám aktuallıǵı.** Yarımótkizgishli áspablardıń isenimlilikin hám sapalılıǵın arttırıw texnologlar aldında turǵan eń baslı wazıypalardıń biri bolıp tabıladı. Yarımótkizgishli ásbaplar hám ásbaplı strukturalarǵa sırtqı aktiv tásirler arqalı olardıń parametrlerin ózgeritiw múmkin. Bul ózgerislerdi izertlew birinshiden usı áspablardıń sırtqı tásir nátiyjesinde parametrleriniń ózgeriw mexanizmin úyreniw, ekinshiden olardıń elektrofizikalıq parametrlerin jaqsılaw imkanin beredi. Házirgi waqıtta mikrotoıqlı nurlanıwdıń kremniykarbid tiykarındaǵı ásbaplardıń qásiyetine táhiri boyınsha jumıslar bar, biraq Shottki barerli diodları ushın jeterli dárejede úyrenilmegen.

**Izertlewdiń obykti hám predmeti.** Bul jumısta izertlew obykti sıpatında Shottki barerli  $Au - TiB_x - n - SiC$  6H diodlıq strukturası sırtqı tásir sıpatında 2,45GHz jiyiliktegi mikrotoıqlı nurlanıw alındı. Diodlı struktura diametri 200  $\mu m$ . Izertlew predmeti bul Shottki barerli  $Au - TiB_x - n - SiC$  6H diodlıq strukturalarǵa mikrotoıqlın táhiri nátiyjesinde elektrofizikalıq parametrleriniń ózgeriw mexanizimin izertlew.

**Izertlewdiń maqseti hám wazıypaları.** SiC tiykarındaǵı Shottki barerli diodlı strukturalardıń elektrofizikalıq parametrleriniń sırtqı tásir nátiyjesinde ózgerisiw túsindiriw. Joqarıdaǵı qoyılǵan maqsetke erisiw ushın, tómendegi wazıypalar orınlanıwı kerek:

1. Sırtqı tásirde aldın hám keyin diodlı strukturanıń  $VAX$  sın ólshew.
2. Ólshengen  $VAX$  dan Shottki barerli diodlı strukturanıń elektrofizikalıq parametrleri bolǵan  $\varphi_B$  – barer biyikliginiń hám  $n$  – sapa koefficientiniń sırtqı tásir nátiyjesinde ózgeriwini izertlew.

### **Jumıstıń ilimiy jańalıǵı.**

1. Sırtqı tásir nátiyjesinde Shottki barerli diodlıq struktura parametrleriniń jaqsılanıwı
2. Shottki barerli diodlıq strukturanıń parametrleri jaqsılanıwı ushın sırtqı tásirdeń optimal waqıtqa iye ekenligi.

### **Izertlew jumısınıń tiykarǵı máseleleri hám boljawlar:**

Bul jumıstaǵı miktotoqlınlı nurlanıw tásirindegi effektlerge uqsas nátiyjeler, basqa avtorlar tárepinde bayqalǵan. Biraq yarımótkizgishli ásbaplardıń parametrleriniń ózgeriw, atap aytqanda jaqsılanıwın túsindirietuǵın ulıwma model joq. Biraq ishki mexanikalıq kernewdiń ózgeriw hám kontakt qatlamlarınıń tártiplesiw bul effektlerdi túsindiriwı múmkin bolǵan gipotezalardıń biri esaplanadı. Sonıń menen birge alınǵan nátiyjeler jańa texnologiyanıń ashılıwına úles qosıwı múmkin.

**Jumıstıń teoriyalıq hám ámeliy áhimiyeti:** Bul jumıstaǵı keltirilgen nátiyjeler hám juwmaqlardı fundamentallıq mexanizmler hám modeller menen túsindiriw, endigi ilimiy izertlewlerdi alıp barıwda hám yarımótkizgish ásbaplı strukturalardı alıwda texnologiyalıq usıl sıpatında usınıs etiwge boladı.

**Izertlew metodları:** Bul jumısta quwatlılıǵı  $1,5 Vt/m^2$  bolǵan 2,45GHz jiyilikli mikrotolqlınlı qayta islew qollanıldı hám ulıwma ilimiy indukciya, dedukciya, analiz, sintez, eksperiment hám teoriyalıq analiz metodları, arnawlı ilimiy volt-amperlik differenciallaw hám diagnostika metodınan paydalanıldı. Búgingi kúni kremniykarbidli diodlı strukturalarǵa bolǵan talap kúsheymekte. Sonlıqtan keyingi waqıtları arnawlı ilimiy jurnallarda bul obekt boyınsha kóplegen maqalalar shıǵarıлмақта.

**Jumıstıń qurılısı:** Dissertaciya jumısı kirisiw, úsh bap, juwmaq hám paydalanılǵan ádebiyatlar diziminen turadı. Dissertaciya jumısınıń kólemi 76 bet bolıp, 31 súwret hám 10 keste jaylastırılǵan

**Magistrant** \_\_\_\_\_  
**Ilimiy basshı** \_\_\_\_\_

**Kosbergenov E.J.**  
**prof. Ismaylov Q.A.**

**THE MINISTRY OF HIGHER AND SECONDARY SPECIAL EDUCATION  
OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN  
KARAKALPAK STATE UNIVERSITY**

<b>Faculty:</b>	Department of magists
<b>Speciality:</b>	5A 140204 The physics of condensation environment and materialism
<b>Department:</b>	Physics of semiconductors
<b>Academic year:</b>	2015-2016/2016-2017 y
<b>Master student:</b>	Kosbergenov E. J.
<b>Scientific supervisor:</b>	prof. Ismaylov Q. A.

**THE ANNOTATION OF MASTER'S DEGREE DISSERTATION**

**Basis and actuality of the theme:** Still remains a problem obtaining structurally perfect films for devices of microwave electronics. It should be noted that most elements of a modern solid state electronics is a barrier structure. Therefore, one of the most important fundamental problems of physics of semiconductor devices is the mechanism of increasing the reproducibility and explaining the stabilization of the parameters of the devices with Schottky barrier external influences. The availability of such information would allow to obtain devices based on SiC with the specified parameters and a deeper understanding of the behavior of semiconductor devices in the process of external effects.

**The object and subject of the research work:** In this research diode arrangement  $Au - TiB_x - n - SiC 6H$  with Schottky barrier as a research object and a microwave radiation with a frequency of  $2.45GHz$  as an external influence are taken. The subject of research is to investigate changing mechanism of electrophysical parameters of diode arrangement  $Au - TiB_x - n - SiC 6H$  with Schottky barrier as a result of the external influence.

**The aim and objectives of the work:** Investigating changing processes related to metal-semiconductor contacts in the presence of external influences. The following tasks must be done in order to achieve the above goals:

1. Measuring the volt-ampere characteristic of diode arrangement before and after the external influence.
2. Determining the variations, resulting from the external influences, on barrier height  $\varphi_B$  and quality factor  $n$  each of which is an electrophysical parameter of metal-semiconductor contact.

**Scientific novelty of the research results:**

1. As a result of the external influences, the parameters of diode arrangement with Schottky barrier have been improved.

2. An external influence range has been found for improving the parameters of diode with Schottky barrier.

**The basic problems and prognosis of researching:** Nowadays need for carbide-silicon is increasing. Thus, in modern times, many articles concerning this object are being published in scientific journals. Currently, influence of microwave radiation on silicon-carbide-based devices has been well examined, but it has not adequately examined for diodes with Schottky barrier. The main reason of this firstly depends on physical parameters of silicon-carbide and secondly depends on technological obtaining methods. At the same time there are works on the affect of microwave radiation on the properties of silicon carbide instrument structures but very little of diodes with Schottky barrier.

**The practical and scientific significans of research results:** The obtained results are the basic for the development of radiation – and heatresistant semiconductor devices based on SiC. The latter circumstance allows to hope for their for technological purposes

**The methods of researching:** In this work common scientific induction-deduction, analysis-synthesis, experiment and theretical analysis methods, differentiating the special scientific volt-amper and the methods of diagnostic are used.

**The structure of the work:** The dissertation work consists of intoduction, 3 chapters, conclustion, the list of used literature. All of dissertational work is stated on 75 typewritten pages and contains 31 figures, 10 tables

**Master student:** \_\_\_\_\_

**Scientifie Supervisor:** \_\_\_\_\_

**Kosbergenov E.J**

**prof. Ismaylov Q.A**

## MAZMUNÍ

<b>KIRISIW</b> .....	3
<b>I METALL-YARÍMÓTKIZGISH KONTAKTINE SÍRTQÍ TÁSIRLER</b> .....	8
<b>1.1</b> Yarımótkizgishli ásbaplı strukturalardıń elektrofizikalıq qásiyetine radiaciyanıń tásiri .....	8
<b>1.2</b> Metall-yarımótkizgish kontaktlerinde lazer nurınıń tásirinde bolıp ótetuǵın processler .....	21
<b>1.3</b> Shottki diodlarınıń elektrofizikalıq qásiyetlerine mikrotolqınlı nurlanıwdıń tásiri .....	26
<b>1.4</b> Metall-yarımtkizgish kontaktiniń dúzilisine temperaturanıń tásiri.....	37
<b>II EKSPERIMENT METODIKASÍ</b> .....	40
<b>2.1</b> «MODUL -2» modulyaciyalıq differenciallow metodikası .....	40
<b>2.2</b> Mikroplazmalıq karakteriograf hám onıń islew principı .....	44
<b>2.3</b> Texnika qávipsizligi .....	48
<b>III SHOTTKI BARERLI KREMNIYKARBID DIODLÍ STRUKTURALARDÍŃ ELEKTROFIZIKALÍQ XARAKTERISTIKALARÍNA SÍRTQÍ TÁSIRLER</b> .....	50
<b>3.1</b> <i>SiC</i> tiykarında islengen priborlardıń elektrofizikalıq xarakteristikaları	50
<b>3.2</b> Joqarı temperaturalı elektronika ushın yarımótkizgish materiallar.....	58
<b>3.3</b> <i>Au – TiB<sub>x</sub> – n – SiC 6H</i> Shottki diodlarınıń <i>VAX</i> sına mikrotolqınlı nurlanıwdıń tásiri .....	65
<b>JUWMAQ</b> .....	72
<b>PAYDALANÍLGAN ÁDEBIYATLAR</b> .....	74

## KIRISIW

### **Magistrlik dissertaciya temasınıń tiykarları hám onıń aktuallıǵı.**

Búgingi kúni kópshilik rawajlangan mámleketlerdiń ekonomikası yarımótkizgishler elektronikasınıń shıǵarıp atırǵan produkciyası menen tikkeley baylanıslı bolmaqta. Bizlerge málim sol yarımótkizgishler elektronikası óz nábwetinde yarımótkizgishli ásbaplardıń isenimliligi, islew múddeti hám sapalılıǵı menen belgilenip beriledi. Sonlıqtan eń dáslep biz sol joqarıda ayılǵan talaplarǵa erisiwimiz ushın álbette yarımótkizgishli ásbaplı strukturalardıń hám olar tiykarında islep shıǵarılıp atırǵan ásbaplardıń fizikalıq qásiyetlerin ilimiy jaqtan úyrenip hám eksperimentte tekseriw jumısların júrgiziwimiz kerek. Bul «Yarımótkizgishli ásbaplı strukturalardıń elektrofizikalıq xarakteristikalarına sırtqı aktiv tásirlerdi izertlew» atamasındaǵı magistrlik dissertaciya jumısı sol joqarıda ayılǵan mashqalalardı úyreniwge qaratılǵan. Kremniy, kremniykarbid, galliyarsenid tiykarındaǵı yarımótkizgishli strukturalar yarımótkizgish fizikası oblastında fundamental izertlewler alıp barıw ushın tiykarǵı modellik obektler bolıp esaplanadı hám mikrotolqınlı, hám optoelektronlıq ásbaplar jaratıwda keńnen qollanıladı. Yarımótkizgishli ásbaplardıń isenimliligin, sapalılıǵın hám islew múddetin arttırıw keyingi waqıtları texnologlar aldında turǵan eń baslı problemalardıń biri bolıp tabıladı. Bul bolsa óz nábwetinde yarımótkizgishli ásbaplar jaratıwda jańa texnologiyalardı talap etedi. Kremniyden, galliyarsenidten, kremniykarbidten islengen ásbaplar hám ásbaplı strukturalarǵa sırtqı aktiv tásirlerden keyingi parametrleriniń ózgerisin izertlew, bul birinshiden usı yarımótkizgish ásbaplardıń parametrlerinin ózgeriw mexanizmin izertlewge, ekinshiden olardıń elektrofizikalıq parametrlerin jaqsılaw imkaniyatın beredi. Sonı aytıp ótiw kerek zamanagóy qattı deneli elektronikanıń tiykarǵı elementi barerli strukturalardan ibarat. Solay eken yarımótkizgishli ásbaplar fizikası aldında turǵan fundamental problemalardıń biri, sırtqı aktiv tásirler nátiyjesinde Shottki barerli ásbaplardıń parametrleriniń ózgeriw mexanizminin úyreniw bolıp esaplanadı.

Jánede eń baslı máselelerdiń biri bul GaAs, Si, SiC yarımótkizgishlerden tayarlangan áspablarǵa sırtqı tásir, sonıń ishinde radiaciya tásirin, ultrases tásirin hám mikrotolqın nurlanıwınıń tásirin súwrtelew. Sırtqı tásirlerdiń usı metall-yarımótkizgish kontaktlı materiallarǵa tásirin izertlew, usı tásir nátiyjesinde elektrofizikalıq qásiyetin jaqsılaw, yarımótkizgishli material tayarlaw texnikasında qollanıw múmkinshiligin beredi. Sebebi bul GaAs, Si, SiC yarımótkizgishlerdi, metall-yarımótkizgish ásbaplıq strukturalardı tayarlaw texnologiyası júdá quramalı hám joqarı temperaturada alıp barılatuǵın bolǵanlıqtan, tayarlaw texnologiyası waqtında quramalı texnologiyalıq operaciýalar ámelge asırıladı hám sol waqıtta ásbaptıń quramına ayırım element atomları jaylasıp, aktiv oblastında hár qıylı defektler payda boladı. Nátiyjede bul atomlar (defektler) yarımótkizgish ásbabınıń elektrofizikalıq qásiyetiniń tómenlewine alıp keledi. Bul defektlerdi usı joqarıda ayılǵan sırtqı tásirler nátiyjesinde qozǵalısqá keliwine hám azaytıwǵa boladı.

**Izertlewdiń obyektı hám predmeti.** Biz usı magistrlik dissertaciya jumısımızda  $Au - TiB_x - n - SiC$  6H Shottki barerli diodlıq strukturasınıń elektrofizikalıq qásiyetine asa joqarı jiyilikli nurlanıwınıń tásirin hám sırtqı tásirden aldınǵı hám keyingi fizikalıq parametrleriniń ózgerisin qarastırdıq. Bul jumısta izertlew obyektı sıpatında Shottki barerli  $Au - TiB_x - n - SiC$  6H diodlıq strukturası sırtqı tásir sıpatında 2,45GHz jiyiliktegi mikrotolqınlı nurlanıw alındı. Diodlı struktura diametri 200 *mkm*. Izertlew predmeti Shottki barerli  $Au - TiB_x - n - SiC$  6H diodlıq strukturalar elektrofizikalıq xarakteristikasına sırtqı tásirler, sonıń ishinde ásirese mikrotolqın tásiri nátiyjesinde diodlı strukturalardıń elektrofizikalıq parametrleriniń ózgerisin izertlew.

**Izertlewdiń maqseti hám wazıypaları.** Bul jumıstıń maqseti metall-yarımótkizgish kontaktleri elektrofizikalıq parametrleriniń sırtqı aktiv tásirler nátiyjesinde ózgerisin izertlew. Metall-yarımótkizgish kontaktı kópshilik elektronlı hám optoelektronlı yarımótkizgishli ásbaplardıń ajıralmas bólegi esaplanadı. Metall hám yarımótkizgishtiń shıǵıw jumısınıń qatnasına qarap yaqı omlıq yaqı barerli kontakt ámelge asırıladı (Shottki kontakt). Shottki barer



biyikligi hám ideallıq faktori Shottki kontaktınıń tiykarǵı parametrlerinen biri esaplanadı. Solay eken joqarıdaǵı maqsetke erisiw ushın sırtqı tásirde aldın hám keyin diodlı strukturanıń VAX sınıń ólshew, usı VAX dan Shottki kontaktleri elektrofizikalıq parametrleri bolǵan barer biyikliginiń  $\varphi_B$  –hám sapa koefitsientiniń  $n$  –sırtqı tásir nátiyjesinde ózgeriwiniń anıqlawı kerek.

**Jumıstıń ilimiy jańalıǵı.** Bul dissertaciya jumısınıń ilimiy jańalıǵı sıpatında, tájiriybelerden alınǵan maǵlıwmatlarǵa tiykarlanıp sırtqı tásir nátiyjesinde Shottki barerli diodlıq struktura parametrleriniń jaqsılanıwı hám degradaciya shárti, Shottki barerli diodlıq strukturanıń parametrleri jaqsılanıwı ushın sırtqı tásirdeń optimal waqıtqa iye ekenligi hám bul intervaldıń anıqlanǵanını aytsaq boladı. Bul jumısqa baylanıslı “Актуальные проблемы молекулярной спектроскопии конденсированных сред” V халық аралық конференцияда “Диагностические методы исследования полупроводниковых приборных структур” атlı тезис hámde Qaraqalpaq mámleketlik universitetiniń xabarshı jurnalında “Влияние внешних воздействий на электрические характеристики карбидкремниевых диодных структур с барьером Шоттки  $TiB_x(ZrB_x) - n - SiC$  6H” атlı мақала баспадан shıqtı.

**Izertlew jumısınıń tiykarǵı máseleleri hám boljawları.** Bul jumıstaǵı tolqın uzunlıqtıń santimetr hám millimetr diapazonındaǵı miktotolqınlı nurlanıw tásirindegi effektlerge uqsas nátiyjeler, basqa avtorlar tárepinde bayqalǵan. Biraq yarımótkizgishli ásbaplardıń parametrleriniń ózgeriwini, atap aytqanda jaqsılanıwınıń túsindirietuǵını ulıwma model joq. Izertlew jumısınıń tiykarǵı máselesi usı effektlerdi túsindiriw bolıp, ishki mexanikalıq kerewdiń ózgeriwini hám kontakt qatlamlarınıń tártiplesiwini bul effektlerdi túsindiriwini múmkin bolǵan gipotezalardıń biri esaplanadı. Sonıń menen birge alınǵan nátiyjeler bar bolǵan texnologiyalarǵa úles qosıwı yaki jańa texnologiyanıń ashılıwına sebep bolıwı múmkin.

**Izertleniw dárejesi.** Búgingi kúni kremniykarbidli diodlı strukturalarǵa bolǵan talap kúsheymekte. Sonlıqtan keyingi waqıtları arnawlı ilimiy jurnallarda bul obyekt boyınsha kóplegen maqalalar shıǵarıлмақта. Usı kúnge shekem

kremniykarbid ásbaplı strukturalardıń qásiyetine mikrotolqınlı nurlanıwdıń tásiiri boyınsha islengen jumıslar bar bolǵanı menen kremniykarbid tiykarındaǵı Shottki barerli diodlar ushın jeterli dárejede úyrenilmegen. Bunıń tiykarǵı sebebi birinshiden, karbid kremniydiń fizikalıq xarakteristikaları menen baylanıslı bolsa, ekinshiden texnologiyalıq alıw usıllarına baylanıslı bolmaqta.

**Jumıstıń teoriyalıq hám ámeliy áhmiyeti.** Ózbekistan Respublikası Prezidentiniń “Ózbekistandı rawajlandırıwdıń háreketler strategiyası”nıń bes baǵdarınan biri – jámiyetlik tarawdı rawajlandırıwǵa qaratılǵan bolıp bunda tálim hám pán tarawın rawajlandırıwǵa baǵdarlangan. Bul baǵdardıń tiykarǵı bólimlerinen biri ilimiy-izertlew hám innovaciya iskerligin qollap –quwatlaw, ilimiy hám innovaciya jetiskenliklerin ámeliyatqa engiziwdıń nátiyjeli mexanizimin jaratıw, joqarı oqıw orınları hám ilimiy-izertlew institutları qasındaǵı qánigelestirilgen ilimiy-eksperimental laboratoriyalar, joqarı texnologiya orayların hám texnoparklardı shólkemlestiriwge baǵdarlangan<sup>1</sup>. Bul jumıstaǵı keltirilgen nátiyjeler Shottki barerli diodlı strukturalardıń parametrlerine sırtqı tásirleri boyınsha yarımótkizgishli ásbaplar fizikasına jańa bilimdi qosadı. Alınǵan juwmaqlardı fundamentallıq mexanizmler hám modeller menen túsindiriw, endigi ilimiy izertlewlerdi alıp barıwda hám yarımótkizgish ásbaplı strukturalardı alıwda texnologiyalıq usıl sıpatında usınıs etiwge boladı. Bul basqa bir texnologiyanıń jaratılıwına, islep shıǵarılıp atırǵan yarımótkizgish materiallar hám yarımótkizgishli ásbaplı strukturalardıń sapasın arttırıwǵa óz úlesin qosadı.

**Izertlewdiń metodologiyası, metodları hám derekleri.** Tayar ásbaplardıń parametrlerin ózgeripsten sol ásbaplardıń elektrofizikalıq xarakteristikaların izertlew múmkinshiligi hámme metodlar menen ámelge asırıla bermeydi. Olardı anıqlawdıń bir neshe metodları bolıp, solardan biri volt-amper xarakteristika boyınsha anıqlaw metodi esaplanadı. Sonlıqtan bul magistrlik dissertaciya

---

<sup>1</sup> Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида” ги ПФ-4947-сонли Фармони. Ўзбекистон Республикаси қонун ҳужжатлари тўплами, 2017 й., 6-сон, 70-модда

jumısında Ukraina milliy ilimler akademiyasına qarashlı yarımótkizgish fizikasi institutında islenip shıgılğan hám biziń universitetimiz tárepinen alınğan “Modul-2” metodikasi joqarıda ayılğan máselelerdi sheshiwge imkan beredi. Bunda modulyaciyalıq differenciallow metodınan paydalandıq. Bul metodtıń islew principi II bapta tolıq keltirilgen.

**Jumıstıń qurılısı.** Dissertaciya kirisiw, úsh bap, juwmaq hámde paydalanılğan ádebiyatlar dizimnen turadı. Kólemi 78 bet bolıp, dissertaciyaǵa 31 súwret hám 10 keste jaylastırılğan.

# I BAP. METALL-YARIMÓTKIZGISH KONTAKTINE SÍRTQÍ TÁSIRLER

## 1.1. Yarımótkizgishli ásbaplı strukturadıń elektrofizikalıq qásiyetine radiaciyanıń tásiri

**Yarımótkizgishli geterostrukturalardıń elektrofizikalıq xarakteristikalarınıń radiaciyalıq ózgeriwi.** Radiaciya zonasında islewshi, yarımótkizgish ásbaplardıń isten shıǵıw sebeplerin anıqlastırıw maqsetinde yarımótkizgishli materiallar hám ásbaplar qásiyetine radiaciya tásiri aqırǵı úsh on jıllıqta intensiv úyrenilip atır. Usınday izertlewler nátiyjesinde yarımótkizgishli ásbaplar degradaciyasınıń tiykarǵı nızamlıqları úyrenildi. Bunday degradaciyalar radiaciya sebepli kristall reshetkanıń buzılıwı menen baylanıslı bolıp, olardıń toplanıwı zaryad tasıwshılardıń rekombinaciyasınıń hám shashırawınıń kúsheyiwine alıp keledi.

Radiaciyalıq defektlerdiń bar bolıwı material qásiyetin hámme waqıt ózgermeydi. Egerde bul defektlerdiń konsentraciyası strukturanıń sáykes parametrleriniń mánisin anıqlawshı dáslepki defektleri konsentraciyasına<sup>1</sup> teńleskende yaki artqanda ǵana material qásiyetlerin sezileri ózgeriw múmkin. Sonlıqtan material qásiyetleriniń radiaciyalıq ózgeriwi olardıń legirleniw dárejesi hám defektine baylanıslı. Strukturanıń dáslepki defektleri nurlanıw waqtında yáki onnan keyin radiaciyalıq defektlerdi annigilyaciyalaw imkanına iye. Dara jaǵdayda, ápiwayı radiaciyalıq defektler<sup>2</sup> stokı dislokaciya – ishki mexanikalıq kernewde relaksaciyasında payda bolatuǵın, tıǵızlıǵı tiykarinan materialdıń bóliniw shegarasında (BSh) joqarı bolǵan, strukturanıń tiykarǵı defektleri bolıwı múmkin. Shottki barerli hám geteroótiwli ásbaplardıń bóliniw shegarasında defektlerdiń artıwı, joqarı dozaǵa shekem nurlandırılǵanda bunday ásbaplardıń parametri az ózgeredi dep boljaw imkanın beredi. Bunnan basqa, nurlanıwdıń qandayda diapazonında strukturanıń dáslepki defektleri menen radiaciyalıq

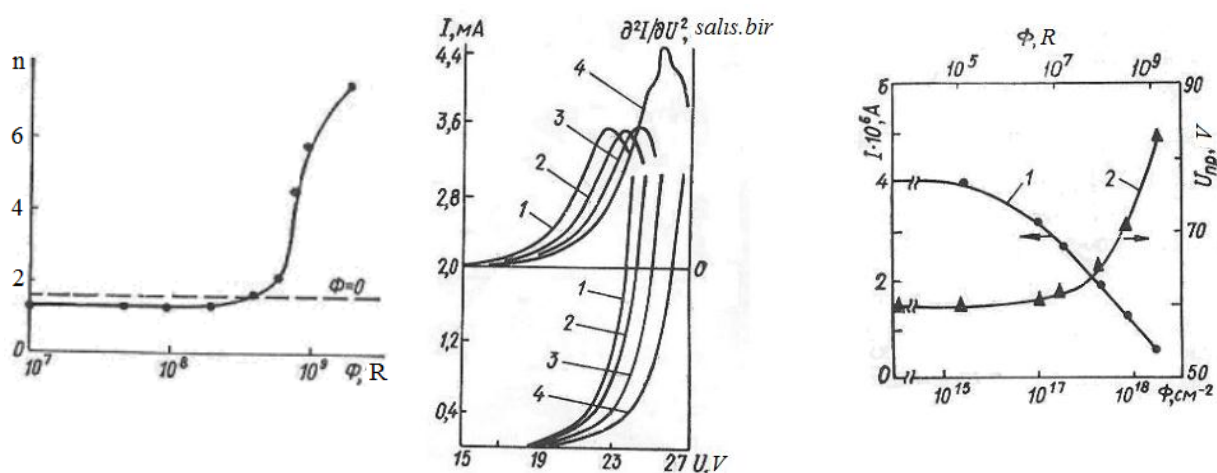
---

<sup>1</sup> Dáslepki defektler konsentraciyası ótkizgishlik jaǵdayında kishi donorlıq hám akceptorlıq kiritpeler, jasaw waqtı jaǵdayında tereń oraylar menen anıqlanadı

<sup>2</sup> Ápiwayı radiaciyalıq defektlerge vakansiya hám túyinler arasındaǵı atomlar kiredi

defektlerdiń óz-ara tásiri (kóleminde, bóliniw shegarasında) toktiń generaciyalıq-rekombinaciyalıq qurawshılarınıń kemeyiwi hám proboy aldı oblastlarınıń xarakteristikaların jaqsı tárepke ózgeriw múmkin.

1.1.1-súwrette  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -gamma kvantı menen nurlandırdıń  $\text{Ge}/\text{GaAs}$  geteroótiwli diodtıń ideallıq koefficientine, 1.1.2-súwrette VAX kerı tarmaqlarına tásiri kórsetilgen. Dozanıń belgili diapazonında nurlandırw nátiyjesinde ásbaptıń xarakteristikaları jaqsılanganlıǵı kórinedi. Usıǵan uqsas effektler  $\text{Ge}_{1-x}\text{Si}_x/\text{GaAs}$  geteroótiwli diodlarda hám Shottki barerli diodlarda baqlanǵan. (1.1.3-súwret)



1.1.1-súwret  $\text{Ge}/\text{GaAs}$  geteroótiwli diodtıń ideallıq koefficientiniń nurlanıw dozasınan (tómengi iymeklik) hám onuń ǵárezliligi  $\Phi$  diń ósiw menen  $n - \text{GaAs}$  degi donor hám akceptor konsentraciyası parqı  $N_d - N_a$  azayıwı menen túsindiriw múmkin bolsa, onda kerı toktiń dozalıq ǵárezliligi sebebin nurlanıw menen baylanıslı basqa effektlerde izlew zárúr. Haqıyqatında da, material kompensaciyası kerı toktiń azayıwına emes, artıwına alıp keliw

1.1.2-súwret. 77 K de  $p\text{-Ge}/n - \text{GaAs}$  diod kerı tok (1) hám proboy kernewdiń (2) ǵárezliligi

1.1.3-súwret  $\text{Cr}/\text{GaAs}$  Shottki barerli diod proboy kerı tok (1) hám proboy kernewdiń (2) ǵárezliligi.

(joqarǵı iymeklik) 1- $\Phi=0$ , 2- $\Phi=10^7$ , 3- $\Phi=6 \cdot 10^7$ , 4- $\Phi=1,1 \cdot 10^7$

Eger diodtıń tesiw kernewiniń nurlanıw dozasınan ǵárezliligin  $\Phi$  diń ósiw menen  $n - \text{GaAs}$  degi donor hám akceptor konsentraciyası parqı  $N_d - N_a$  azayıwı menen túsindiriw múmkin bolsa, onda kerı toktiń dozalıq ǵárezliligi sebebin nurlanıw menen baylanıslı basqa effektlerde izlew zárúr. Haqıyqatında da, material kompensaciyası kerı toktiń azayıwına emes, artıwına alıp keliw

kerek. Bunnan basqa, radiaciyalıq defektlerdiń kiriwi mikroplazmalardıń qızıwı itimallığı artıwı sebepli proboy aldı oblastlarda kerı toktıń artıwına alıp keledi.

Kórsetilgen effektlerdiń aqırǵılarınıń roli *Pt/GaAs* Shottki barerli diodlar hám *Ge/GaAs* geteroótiwli diodlar juqa strukturasınıń *VAX* sını izertlew arqalı túsindirildi. Izertlenip atırǵan diodlardı proboy xarakteristikası boyınsha eki gruppaga bóliw múmkin: birtekli hám birtekli emes proboy. Birinshi gruppa diodları ushın xarakterli bolǵan *VAX* hám onıń ekinshi tártipli tuwındısı 1.1.2-súwrette kórsetilgen. Bunday ásbaplardı  $\gamma$ -nuralanıwda proboy kernewi nurlanıw dozasınıń 0 den  $1,1 \cdot 10^8$  R ge shekem artıwında ósedi, al proboy, *VAX* ekinshi tártipli tuwındısınıń formasınan birtekli qalǵanlıǵı kórinedi.

**Solay etip, *GaAs* tiykarındaǵı Shottki bareli diodlardı elektronlar hám  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -kvantları menen nurlandırǵanda metall-yarımótkizgish bóliniw shegarasında áhmiyetli ózgerisler payda boladı. Kópshilik jaǵdayda bunday effektler bóliniw shegarası áhmiyetli rol oynaytuǵın ásbaplardı<sup>1</sup> tayarlawda bóliniw shegarasını maqsetke muwapıq basqarıw hám olardıń birneshe fizikalıq xarakteristikaların jaqsılaw múmkinshiligin beredi[29].**

Sırtqı tásir diń yarımótkizgish ásbaplar menen tásir etisiwi tiykarǵı úsh mexanizm tiykarında bolıp ótedi. Bular, fotoeffekt, kompton effekt hám juqlar payda bolıw effekti bolıp tabıladı. Máselen gamma nurlandırwı nátiyjesinde yarımótkizgish ishinde baylanısqa atomlardı payda etiwshi elektronlar payda boladı. Nátiyjede nurlandırwı waqtında payda bolǵan elektronlar energiyasınıń bir bólegi atomlardı ionizaciyalawǵa, al qalǵan bólegi atomlar menen tásir etisiw nátiyjesinde kristall reshetskada Frenkel defektleriniń payda bolıwına jumsaladı.

Yarımótkizgishli ásbaplarǵa gamma nurı menen tasir etiw ayırım jaǵdayda yarımótkizgish ásbaptıń parametrleriniń ózgeriwine alıp keledi.

Bul process bir teksiz metall-yarımótkizgishli strukturalarda tiykarınan fazanıń geypara bóliminde intensiv bolıp ótip, óz gezeginde ásbaptıń elektrofizikalıq qásiyetine óz tásirin tiygizedi. Belgili bir optimal dozada bul

---

<sup>1</sup> Bunday ásbaplarǵa geterodiodlar, Shottki barerli diodlar, *p* – *n* ótiwli diodlardı kiritsek boladı

process ásbaptıń kontakt oblastında strukturalıq primeslerdiń tártiplesiwine alıp keledi, bul ásbaptıń xarakteristikasınıń jaqsılanıwına alıp keledi.

80-jıllarǵa kelip yarımótkizgishti az dozada nurlandıraw menen yarımótkizgishtegi tok tasıwshılardıń qozǵalıwshańlıǵın arttırıw ham tereń generatsiya-rekombinatsiya orayları konsentratsiyasın azaytıw múmkin ekenligi ayırım avtorlar jumısında óz sáwleleniwın taptı. Al usıǵan deyin gamma nurlanıw tek ǵana ásbaptıń xarakteristikasınıń ózgeriw yaǵnıy radiaciyalıq defektler payda etiw ushın qollanılıp kelgen edi.

$Au - Al - GaAs$  diodlıq struktura ximiyalıq tazalanǵan galiyarsenid  $n - n^+$  –struktura betine vakuumda termikalıq parlandıraw menen  $Al$ , keyin izbeizlikte  $Au$  otırgızılǵan, diodlıq strukturalardıń jumıs oblastı diametri  $500 \text{ mkm}$ .  $n - GaAs$  plenkasınıń legirlewshi kiritpe konsentratsiyası  $4 \cdot 10^{15} \text{ sm}^3$ , podlojkada  $10^{18} \text{ sm}^3$ ,  $n$  hám  $n^+$  qabatlar qalınlıǵı sáykes túrde 20 hám 300  $\text{mkm}$ . Bul diodlıq strukturalarǵa omlıq kontakt  $Au - Ge$  tiykarında tayarlanǵan.

Bul diodlıq struktura  $MRX - \gamma - 25 M$  úskenesinde  $\gamma$ -kvantı  $^{60}Co$  penen nurlandırılǵan, nurlanıw intensivligi  $100 \text{ R/s}$ .

$Au - Al$  - diodlıq strukturasınıń gamma nurlanıwınan keyingi hám nurlanıwǵa deyingi  $VAX$  sı ólshengen, tuwrı baǵıttaǵı volt-amperlik xarakteristikadan struktura parametrleri barer biyikligi  $\varphi_B$  hám sapa faktori  $n$  anıqlanǵan.

Avtorlar pikiri boyınsha nurlandırawdıń dáslepki dozasında diodlıq struktura parametrleriniń jaqsılanǵanlıǵı anıqlanǵan.

1.1.1-kestede  $Au - Al - GaAs$  diodlıq strukturanıń  $10^4 \div 10^7 \text{ R}$  intervalında gamma nurı menen tásir etiw nátiyjesinde parametrleriniń ózgerisi kórsetilgen. Kesteden  $10^5$  dozadan baslap struktura parametriniń jaqsılanǵanlıǵın kóriwimizge boladı. Bul strukturanıń  $^{60}Co$  gamma kvant penen tásir etkende  $10^5 \div 10^6 \text{ R}$  interval aralıǵında diodlıq strukturanıń elektrofizikalıq xarakteristikasınıń jaqsılanǵanlıǵın kórsetedi.

Avtorlar izertlew nátiyjesin tómendegishe túsindiredi, yaǵnıy diodlıq strukturaǵa gamma kvantı radiaciyası menen tásir etkende dozanıń málim bir interval aralıǵında izertelep atırǵan diodlı strukturanıń parametrleriniń jaqsılانanlıǵın kórsetip ótedi.

Bul óz náwbetinde birinshiden diodlıq strukturanıń elektrofizikalıq qásiyetiniń jaqsılانanın kórsetse, ekinshi jaqtan usı diodlıq strukturanıń radiaciyaǵa shıdamlılıǵın anıqlap beredi. Bul ózgerisler metall *GaAs* shegara bóliminde strukturalıq primeslerdiń tártipleskeniniń nátiyjesi bolıp tabıladı. Bunday az muǵdardaǵı  $\gamma$ -kvantı menen tásir etiw nátiyjesinde diodlıq strukturalardıń parametrleriniń jaqsılانanlıǵı kóp ǵana jumislarda talıqlanǵan. Máselen *Cr – GaAs* diodlıq strukturasına  $\gamma$ -kvantı táhiri izertlengende, *Cr – GaAs* diodlıq strukturasın komnata temperaturasında  $10^5 \div 10^6 R$  intervalında  $\gamma$ -kvantı menen tásir etiw nátiyjesinde diodlıq struktura parametrleriniń ózgerisi anıqlanǵan, yaǵnıy  $10^5 \div 10^6 R$  intervalında gamma-kvantı menen *Cr – GaAs* tásir etiwde bul strukturanıń parametrleriniń jaqsılانanlıǵı bayqalǵan, yaǵnıy barer biyikligi dáslepki shamasınan artqan, sapa faktori  $n$  dáslepke salıstırǵanda azayǵan hám kerı tok shamasınıń tásir etkennen keyin azayǵanlıǵı bayqalǵan. Avtorlar kerı tok shamasınıń azayǵanın generatsiya-rekombinatsiya oraylarınıń konsentratsiyasınıń azayıwı nátiyjesi dep qarastıradı.

Ekinshi jaqtan avtorlar usı parametrlerdıń ózgerisin diffuziya processı menen de baylanıstıradı.

Biziń joqarıda qarastırǵan jaǵdayımızda da gamma kvantı menen tásir etiw nátiyjesinde parametrlerdıń jaqsılanıwı diffuziya processı nátiyjesi dep qarastırıwǵa boladı. Gamma kvant penen tásir etiw hám tásir etkennen keyingi metall hám *GaAs* komponentleriniń bólistiriliwi elektronlıq Oje-spektraskopiya metodı járdeminde izertlengen. Alınǵan nátiyjede  $10^6 R$  dozada tásir etkennen keyin *Al – GaAs* shegarasında metall hám *GaAs* komponentleriniń dáslepkege qaraǵanda ózgergeni kórsetilgen, bul óz gezeginde diffuziyalıq processtıń júzege kelgenin bildiredi. Bunday ózgeristi tuwrı volt-amperlik xarakteristikasında



bayqasaq boladı. Bunnan  $Au - Al - GaAs$  diodlıq strukturasını gamma-kvanti menen  $10^5 \div 10^6 R$  intervalı aralığında tásir etiw nátiyjesinde parametrlerin jaqsılawğa bolatuǵınlığı kelip shıǵadı.

*1.1.1-keste*

*$Au - Al - n - n^+ - GaAs$  diodlıq strukturasını parametrleriniń gamma kvanti nurlanıwına baylanıslılıǵı*

<i>Doza, R</i>	<i>dáslepki</i>	$5 \cdot 10^3$	$10^4$	$10^5$	$10^6$	$10^7$
$\varphi_B, V$	0,87	0,87	0,87	0,89	0,95	0,87
$n$	1,23	1,23	1,21	1,20	1,19	1,23
$I_{keri}, mA$	0,9	0,9	0,8	0,3	0,1	0,4
$R, m$	2		10		20	15

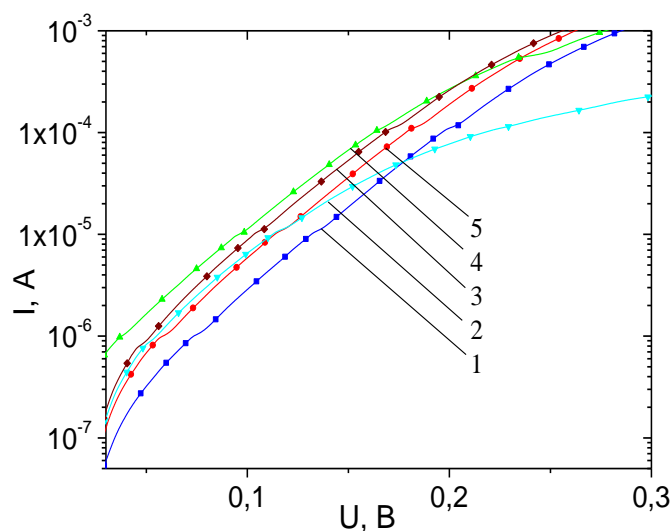
Bul birinshiden  $Au - Al - GaAs$  diodlıq strukturasınıń qaysı interval doza aralığında parametrleriniń jaqsılanıwı, ekinshi jaqtan qaysı dozaǵa deyin usı diodlıq strukturanıń radiaciyaǵa shıdamlılıǵın anıqlawǵa múmkinshilik beredi. Sebebi hár qıylı metallar menen kontaktke iye diodlıq strukturalardıń radiaciyaǵa shıdamlılıǵı hám parametrleriniń jaqsılanıw interval dozası hár qıylı boladı. Bul birinshiden sol strukturaǵa otırǵızılǵan metall kontakt tábiyatına baylanıslı bolsa, ekinshi jaqtan tayarlaw texnologiyası waqtında payda bolǵan texnologiyalıq defektler halına baylanıslı boladı.

$Au - Al - GaAs$  diodlıq strukturasını  $10^4 \div 10^6 R$  intervalında gamma kvanti menen tásir etiw nátiyjeisinde parametrleriniń jaqsılanıwı menen birge doza  $10^6 R$  ten asqan jaǵdayda kerı processtıń bayqalatuǵını kóriledi.

Kesteden kórinip turǵanıday parametrleriniń jaqsılanıwı tek ǵana  $10^6 R$  ge shekem ǵana bolıp ótedi. Eger doza  $10^6 R$  den artsa kerı process, barer biyikliginiń azayǵanın, sapa faktorınıń artqanın hám kerı tok shamasında dáslepkege salıstırǵanda artqanın kóriwimizge boladı. Bunnan sonday juwmaqqa kelsek boladı, yaǵnıy  $Au - Al - GaAs$  diodlıq strukturası  $10^6 R$  ge shekem radiaciyaǵa shıdam bere aladı eken.

Joqarıda aytıp ótkenimizdey metall *GaAs* diodlıq strukturalardıń ham *GaAs* tiykarındaǵı yarımótkizgish ásbaplardıń radiaciyaǵa shıdamlılıǵı jáne parametrleriniń jaqsılanıwı usı diodlıq strukturalardıń yamasa ásbaplardıń dáslepki halına hám qanday metall menen yarımótkizgish kontaktke kirirkenine baylanıslı boladı.

Joqarıdaǵı ayılǵanlardı tómendegi 1.1.4-súwretten *Au – Al – GaAs* diodlıq strukturası *VAX* sınǵı gamma-kvantı tásir etkennen keyingi hám tásir etkenge deyingi mánisiniń ózgerisinen koriwimizge boladı.



1.1.3-súwret. *Au-Al-n-n+-GaAs* diodlıq strukturasınıń hár qıylı dozadaǵı volt-amperlik xarakteristikasınıń tuwrı shaqası

**Máselen izertlegen *Au – Ti – GaAs* diodlıq strukturalardıń parametrleriniń jaqsılanıwı  $10^5 \div 10^7 R$  interval doza aralıǵında bolıp ótken, al  $5 \cdot 10^7 R$  dozada ásbap parametrleriniń buzılıwı yaǵnıy barer biyikligi  $\varphi_B$  nıń artıwı, keri tok shamasınıń arta baslaǵanı bayqalǵan.**

Demek bul ásbaplıq struktura ushın parametrlerdiń jaqsılanıwı doza interval  $10^5 \div 10^7 R$  bolsa, ol radiaciyaǵa shıdamlıǵı  $5 \cdot 10^7 R$  ge shekem dep aytıwımızǵa boladı.

**Galliyarsenid betlik-barerlik strukturalarda  $\gamma$  hám  $\beta$  nurlanıw tasirinde payda bolatuǵın radiaciyalıq effektler.** Shottki barerli Galliyarsenid diodlar kóbirek keń energetikalıq spektrli bólekshelerdiń tásiri arqalı bolatuǵın hár qıylı radiyaciyalıq shárayıtlarda islewshi sxemotexnikalıq qurılmalarda qollanıladı.

Bunday tásirlerdiń tipik mısalları  $\gamma$  hám  $\beta$  nurlanıw bolıp tabıladı. Gamma nurlanıwdıń kiriwsheńlik qábileti arqalı yarımótkizgishtiń kólemlik qásiyetin ózgartkeday, beta nurlanıw arqalı metal-yarımótkizgish bóliniw shegarasın ózgeritiw múmkin. Shottki barerli diodlar tayarlaw ushın qollanılatuǵın galliyarsenid betlik-barer strukturalardıń elektrlik xarakteristikalarına beta hám gamma radiaciya tásiri ayırım avtorlar tárepinen kórip shıǵılǵan. Izertlew obyektı sıpatında  $Au - Al - GaAs$  hám  $Au - Ti - GaAs$  galliyarsenid betlik barer diodlı struktura alınǵan. Betlik barer struktura gazfazalı epitaksiya metodi menen alınǵan  $n - n^+$  struktura tiykarında  $GaAs$  tayarlanǵan.  $Au - Al - GaAs$  struktura ushın  $Au$  hám  $Al$  plenkalar vakuumda termikalıq puwlandırıw metodi menen alınǵan. Titan plenkası elektron-nurlı puwlandırıw izinen  $Au$  búrkiw arqalı alınǵan. Betlik barer strukturanıń eki tipide fotolitografiya járdemi menen tayarlanǵan. Betlik barer struktura diametri 0,8 mm ge teń bolıp,  $Au - Al - GaAs$  diodlı struktura  $MRX - \gamma - 25M$  qurılmasında  $^{60}Co$  gamma kvantı menen nurlandırılǵan. Nurlanıw dozası  $10^4 - 10^7 R$  intervalda bolıp, gamma radiaciya intensivligi  $100 R/s$  qa teń.  $Au - Ti - GaAs$  betlik barer struktura beta nurlanıw menen tásir ettirilgen. Nurlandırırıw 10 hám 100 saat dawamında ótkerilgen. Nurlanıw deregi intensivligi  $13 R/s$  qa teń. Kristalldan derekke shekemgi aralıq 10 sm bolıp bóleksheler aǵımı  $4.3 \cdot 10^8 sm^{-2}s^{-1}$  qa teń.  $^{90}Sr$  tiykarında derekten shıǵıwshı  $\beta$  – bóleksheler energetikalıq spektri quramalı kóriniske iye.  $^{90}Sr \rightarrow ^{90}Y$  stronciy  $\beta$  – ıdırawına maksimal energiyası  $0,546 MeV$  bolǵan elektronlar sáykes keledi (energetikalıq shıǵıwdıń 17,3 % i), ortasha energiyası  $0,1963 MeV$ .  $^{90}Sr$   $\beta$  – ıdıraw nátiyjesinde maksimal energiyası  $2,274 MeV$  bolǵan  $^{90}Y$  izotopı payda boladı. Ortasha energiyası  $0,936 MeV$  (energetikalıq shıǵıwdıń 82,7 % i).

Nurlanıwdan aldın hám keyin diodlı strukturalardıń volt-amper xarakteristikası hám volt-farada xarakteristikası ( $VFX$ ) ólshendi. Barlıq ólshewler  $t = 20^\circ C$  ta alıp barılǵan.

Barer biyikligi  $\varphi_B$  *VFX* boyınsha, *VAX* boyınsha anıqlanğanday anıqlandı. Birinshi jağdayda strukturadan tok ótiwi termo emissiyağa sáykes keledi dep alındı. Onda

$$\varphi_B = \frac{kT}{q} \ln \frac{A^{**}T^2}{J_s}$$

bul jerde  $k$  – Bolcman turaqlısı,  $T$ -temperatura,  $q$  –elektron zaryadı,  $A^{**}$ -Richardson effektiv turaqlısı,  $J_s$ -toyınıw tokı tıgızlıǵı. Ekinshide- $\varphi_B$   $1/C^2 = f(U)$  baylanıstıń kernew kósherinde úziliw shamasın ańlatadı.

Ideallıq faktori  $n$

$$n = \frac{q}{kT} \frac{\partial V}{\partial (\ln J)}$$

formula arqalı anıqlandı.

$n$  – *GaAs* tegi legirlewshi primes konsentaciyası  $1/C^2 = f(U)$  baylanıs qıyalıǵınan anıqlandı. *GaAs* tegi tiykarǵı emes tok tasıwshılardıń diffuzion uzunlıǵı *Al – GaAs* struktura  $10^6 R$  gamma kvantı menen nurlanıwdan aldınǵı hám keyingi elektron zond penen inducirlengen tok metodı menen anıqlandı.

Eksperimental izertlew dozanıń izertlew intervalındaǵı nurlanıwdan soń eki tiptegi diodlı strukturanıńda elektrlik qásiyeti jaqsılanganlıǵın kórsetedi.

Shottki diodınıń nurlanıwdan aldınǵı hám keyingi esaplangan parametrleri 1.1.2- kestede kórsetilgen.

Dozanıń  $10^5 \div 10^6 R$  intervalında  $^{60}\text{Co}$  gamm-kvantı menen nurlandıırıwda volt-ampere xarakteristikaniń tuwrı tarmaǵınan esaplangan ideallıq faktori  $n$  1,23 ten 1,19 ǵa shekem azayadı, al barer biyikligi  $\varphi_B$  0,87 den 0,9 eV qa shekem artadı, bunda kerne toktıń shaması barlıq ólshengen kernew diapazonında 1 – 1,5 tártipke kemeyedi. (1.1.2-keste). Avtorlar diodlı strukturanıń  $10^6 R$  dozaǵa shekem  $^{60}\text{Co}$  gamma kvantı menen elektrofizikalıq parametrleriniń jaqsılanıwı *Al – GaAs* kontakt oblastında radiaciyalıq-stimullanǵan defektlerdiń ózgeriwi menen baylanıslı dep esaplangan. Strukturada  $10^6 R$  dozaǵa shekem nurlanıwdan aldınǵı hám keyingi elektron zond penen inducirlengen tok járdeminde tiykarǵı emes tok tasıwshılardıń diffuzion uzunlıǵı

$L_p$  ni ólshew nurlanıwdan keyingi tiykarǵı emes tok tasıwshılardıń jasaw waqtınıń ósiwine sáykes keldi. Usıǵan uqsas effektler *Au – GaAs* hám *Sn – GaAs* diodlı strukturalarda alınǵan.  $^{60}\text{Co}$  gamma kvantı dozasınıń  $10^6 R$  dan artıp ketiwi menen *VAX* parametrleriniń degradaciyası: barlıq ólshew kernewi intervalında ideallıq faktori  $n$  niń ósiwi, barer biyikli  $\varphi_B$  niń kemeyiwi, kerı tok shamasınıń artıwı baqlandı.

1.1.2-keste

$^{60}\text{Co}$  gamma kvantı menen nurlandırdıwdıń hár qıylı dozaları ushın *Al-Au-GaAs* Shottki diodlarınıń elektrlik parametrleri.

Nurlanıw dozası, $R/s$	Parametrler		Betlik barer struktura
	$n$	$\varphi_B, V$	$I_{keri} 10^{-7}, A$
<i>dáslepki</i>	1,23	0,87	1,33
$10^4$	1,22	0,88	1,30
$10^5$	1,21	0,88	1,11
$10^6$	1,19	0,9	0,31
$10^7$	1,21	0,91	1,26

1.1.3-keste

$^{60}\text{Co}$  gamma kvantı menen nurlandırdıwdan aldın hám keyin *Au-Ti-GaAs* Shottki diodlarınıń elektrlik parametrleri.

Nurlanıw waqtı, saat	$N_D, sm^{-3}$	Parametrler		Betlik barer struktura
		$\varphi_{B CV}, V$	$\varphi_{B IV}, V$	$n$
<i>dáslepki</i>	$10^{17}$	0,73	0,75	1,97
10 saat	$10^{17}$	0,78	0,8	1,45
100 saat	$6 \cdot 10^{16}$	0,92	0,81	1,12

$^{90}\text{Sr}$  beta kvantları menen nurlandırdıw betlik barer struktura elektrofizikalıq xarakteristikalarınıń jaqsılanıwına (1.1.3-keste), yaǵnıy ideallıq faktori  $n$  niń kemeyiwine, barer biyikli  $\varphi_B$  niń artıwına hám bir waqıtta kerı tok shamasınıń kemeyiwine alıp keldi. Beta kvantı menen nurlanıwdan keyingi *Au – Ti – GaAs*

diodlı strukturaniń bul elektrofizikalıq xarakteristikalarınıń ózgeriwi tómendegishe túsindiriledi. Túsken beta radiaciya (energetikalıq spektriniń ózgesheligi sebepli) tiykarınan metall – yarımótkizgish bóliniw shegarasına tásir etedi. Bul bolsa geterokontakt komponentleriniń ózara diffuziyasın stimullaydı hám betlik qáddilerdiń konsentraciyasın ózertiredi. Metallizaciya atomlarınıń intensiv diffuziyası yarımótkizgish ishinde kontakt oblastında kompensirlengen qatlamlardıń payda bolıwına alıp keledi. Sol sebepli  $\varphi_B$  artadı hám *GaAs* legirlewshi primes konsentraciyası azayadı (1.1.3 keste). Kompensirlengen qatlam 100 saat nurlanıw dawamındaǵı volt-faradalıq xarakteristika tiykarında alındı.

Bul alınǵan nátiyjelerden tómendegishe juwmaq kelemiz:

***Au – Al – GaAs* struktura ideallıq faktori azayıwı menen bir waqıtta kerı toktıń azayıwı hám Shottki barer biyikliginiń artıwı ushın belgili doza intervalı bolıp, bul interval  $10^4$ - $10^6$  R ge teń.**

**Demek 10 saat dawamında *Au – Ti – GaAs* strukturanı  $\beta$ -nurlandıırıw nátiyjesinde elektrlik xarakteristikalarınıń baqlanǵan ózgerisleri *VAX* parametrleriniń *GaAs* tegi legirlewshi kiritpe konsentraciyasınıń ózgerisisiz jaqsılanıwına,  $\beta$ -nurlandıırıw waqtın 100 saatqa shekem arttırıw *GaAs* kontakt qatlamında legirlewshi primeslerdiń kompensaciyasına alıp keledi eken[34].**

***Au – Ti – GaAs* tipindegi galliyarsenid diodlı strukturalardıń fizikalıq xarakteristikalarına radiaciyalıq tásirde keyingi effektler.** Kópsanlı izertlewler sonı kórsetedi joqarı ornıqlı hám bekkem kontaktlar hár qıylı sırtqı tásirlerde házirgi waqıtqa shekem fundamentallıq hám ámeliy tárepten aktual másele bolıp qaladı. bunday ásbaplardıń sıpatın hám bekkemligin arttırıw problemalarınıń tabıslı sheshimi yarımótkizgishli ásbaptıń isten shıǵıw mexanizmi hám sebeplerin izertlew hám usı tiykarında olardıń konstrukciya hám texnologiyasın jetilistiriw menen tıǵız baylanıslı. Sonıń ushın konstrukciyalawda, ásbaplardı tayarlawda, sınaıwda ótkeriwdi planlastırıwda hár qıylı sırtqı tásirlerde parametrleriniń ózgeriw xarakterin, múmkin bolǵan temperatura mánisin, elekt

maydanın, radiaciyanın hár qiyılı túrleri hám bir qatar basqa faktorlardın tayar yarımótkizgish ásbaplardıń sıpatına hám bekkemligine tásinin biliw zárúr. Usınday izertlewler menen baylanıslı metall- yarımótkizgish barerli ásbaplı strukturalardıń qásiyetin anıqlawshı fizikalıq processler kópshilik izertlewshilerde úlken qızıǵıwshılıq oyatadı.

Izertlewshiler tárepinen dozası  $10^4 \div 10^7 R$  diapazondaǵı gamma-radiaciyanıń  $Au - Ti - GaAs$  Shottki barerli yarımótkizgishli strukturalardıń elektrofizikalıq parametrlerine tási kórip shıǵılǵan.

Nurlanıwdan aldın hám keyin diodlı strukturanıń statistikalıq volt-amper xarakteristikası ólshengen.  $VAX$  dan barer biyikligi  $\varphi_B$ , sapa faktori  $n$  hám kerı tok  $I_{keri}$  niń nurlanıw waqtınan ǵarezlıligi anıqlanǵan. Bunda  $10^4 \div 10^7 R$  doza diapazonında Shottki bareri parametrleri jaqsılangan,  $10^7 R$  dozadaǵı nurlandıırıwǵa shekem barer biyikligi nurlandırılmaǵan strukturalarda 0,87 V tan 0,89 V qa shekem arttqan, al sapa faktori 1,25 ten 1,12 qa shekem azayǵan.

$Au - Ti - GaAs$  kontaktlı  $n - n^+ - GaAs$  struktura iymeklik radiusin ólshew  $5 \cdot 10^6 R$  doza menen nurlandıırıwda  $Au - Ti - n - n^+ - GaAs$  strukturalarda azayǵanlıǵın hám dáslepkege salıstırǵanda  $n - n^+ - GaAs$  strukturalarda qaldıq deformaciya shaması azayǵanlıǵın kórsetti.

$^{60}Co$   $\gamma$ -kvantı menen  $5 \cdot 10^6 R$  dozaǵa shekem nurlanıwdan aldınǵı hám keyingi  $Au - Ti - GaAs$  diodlı strukturalarda kerı tok analizi barlıq nurlandırılǵan diodlı strukturalarda ólshew kernewiniń proboy kernewine shekemgi barlıq diapazonı tártibine salıstırǵanda termogeneraciya tábiyatlı kerı tok kóbirek azayıwın kórsetedi. Bul generaciya-rekombinaciya oraylarınıń konsentraciyası azayıwı hám diodtıń baza oblastında tiykaǵı bolmaǵan tok tasıwshılardıń jasaw waqtı  $\tau_p$  niń artıwı menen baylanıslı.

$Au - Ti - n - n^+ - GaAs$  bererli strukturada elektron zondlı inducirlengen tok metodı menen dáslepki hám  $5 \cdot 10^6 R$  dozaǵa shekem nurlanıwda  $\tau_p$  tuwrıdan tuwrı ólshengen. Nurlanıwdan keyin  $\tau_p$  tártibi dáslepki  $\tau_p$  niń mánisine salıstırǵanda artqan (Dáslepki úlgide  $\tau_p \approx 5 \cdot 10^{-10} s$ , al

nurlanıwdan keyin  $\tau_p \approx 5 \cdot 10^{-9}$ s). Joqarıdağı maǵlıwmatlarǵa tiykarlanıp  $10^4 \div 10^7$  R doza diapazonında  $^{60}\text{Co}$  gamma-kvanti menen  $\text{Au} - \text{Ti} - n - n^+ - \text{GaAs}$  strukturalarda qayta islew olardı degradaciyaǵa alıp kelmeydi dep juwmaq shıǵarıw múmkin. Baqlanǵan effektler  $\text{GaAs}$  metall shegarası oblastında radiaciyalıq stimullanǵan strukturalıq-primeslik tártiplesiw hám ásbaplı strukturada ishki mexanikalıq kernewdiń relaksaciyası menen baylanıslı.  $\text{Au} - \text{Ti} - n - n^+ - \text{GaAs}$  diodlı strukturalardı nurlandıırıwdan keyingi eń jaqsı nátiyjeler  $10^4 \div 10^7$  R doza diapazonında alınadı dep aytıw múmkin.

**Solay etip  $^{60}\text{Co}$  gamma-kvanti menen sáykes doza diapazonında nurlandıırǵannan keyin  $\text{Au} - \text{Ti} - n - n^+ - \text{GaAs}$  diodlı struktura parametrleriniń jaqsılanıwı ásbaplı strukturalarda diffuzion mexanizm boyınsha ishki mexanikalıq kernew relaksaciyası menen baylanıslı[32].**



## 1.2. Metall-yarımótkizgish kontaktlerinde lazer nurınıń tásirinde bolıp ótetuǵın protsessler

Shottki barerli *GaAs* asbaplardıń degradaciyasına sebepshi bir qatar qubılıslar *metall* – *GaAs* fazaları bóliniw shegerasındaqı processler menen baylanıslı ekenligi ádebiyatlarda kórsetilgen. Sonıń ushın fazalar aralıq shegera hám metall-yarımótkizgish kontaktindegi ótiw qatlamınıń qásiyetlerin basqarıw áhmiyetli fizikalıq-texnologiyalıq másele bolıp, Shottki barerli galliyarsenidli strukturalardı jaratıwdıń házirgi kúnde bar bolǵan texnologiyalardı jaqsılaw hám jańaların payda etiwdi talap etedi.

*Metall* – *GaAs* kontaktlerindegi óz-ara tásirlerdi anıqlaw, sonday-aq Shottki barerli ásbaplardıń jańa tiponominalların islep shıǵıw múddetlerin qısqarttırıw ushın fazalardıń bóliniw shegerasındaqı fizikalıq-ximiyalıq processlerdi jaqsılawshı sırtqı tásirlerden paydalanıladı.

Ádette bunday maqsetlerde ásbap xarakteristikaların úyreniw ushın testlik strukturalardan paydalanıladı. Sırtqı tásir sıpatında kóbinshe ásbaptıń qısqa múddetli asa kernewin imitatsiyalawshı joqarı tezlikli termikalıq islewler<sup>1</sup>, <sup>60</sup>So  $\gamma$  – kvantları hám joqarı tezlikli elektronlar menen nurlandıruwǵa usaǵan tásirlerden paydalanıladı.

Usıǵan uqsas islewler parametrlerin tańlap alıp, kontaktlerdegi betine keltirilgen hám olar arqalı tezlestirilgen fazalar aralıq óz-ara tasirdi hám degradaciya qubılısların úyreniw hám usı qayta islewlerden ásbaptıń ózinde bóliniw shegerası qásiyetlerin basqarıw ushın da paydalanıw múmkin. Bunday eksperimentlerdiń nátiyjeleri ótken asirdiń 80-jıllarında málim edi hám I.P.Chernovtıń jumıslarında baspaǵa shıqqan edi. Olardıń jumıslarında radiaciyanıń salıstırmalı kishi dozaları<sup>2</sup> menen bir qatarda strukturaniń parametrlerine  $\gamma$  – kvanttıń júdá kishi dozaları <sup>60</sup>Co  $\sim 10^4 \div 5 \cdot 10^4 R$  da tásir kórsetetuǵınlıǵı atap kórsetilgen. Bunda bir qatar jaǵdaylarda *GaAs p* -

<sup>1</sup> Joqarı tezlikli termikalıq islew-быстрый термический отжиг (БТО)

<sup>2</sup> Máselen, donorlar konsentraciyası  $N_D = 10^{16} \text{sm}^{-3}$  bolǵan Shottki barerli *GaAs* strukturası ushın  $10^8 \div 2 \cdot 10^8$  Rad kishi doza bolıp esaplanadı

qatlamında tiykarǵı bolmaǵan zaryad tasıwshılardıń jasaw waqtınıń artıwı, keri toklarınıń kemeyiwı haqqında sóz etilgen, sonday-aq struktura-aralaspanıń durıs jaylasıwı hám *GaAs* tıń kontakt aldó bóliminde radiaciyalıq – betine keltiriwshi getterlew ideyaları haqqında pikirler keltirilgen. Sonıń menen birgelikte *Si* hám *GaAs* da basqa túrdegi elektromagnit nurlanıwlar, anıǵıraq aytqanda, lazerli tásir hám mikrotolqınlı radiaciya arqalı júzege kelgen getterlewshi effektler haqqında eksperimentler bar.

Sońǵı jılları mikroelektronikada úlken dıqqat  $A^{III}B^V$  baylanısına iye bolǵan kishi omlıq kontaktlerdi alıwǵa qaratılǵan. Ayrım avtorlardıń kórsetiwinshe metal-yarımótkizgish kontakti omlıq kontakt tómendegi jaǵdaylarda boladı:

- yarımótkizgishke sáykes metalldı saylap alǵan waqıtta kontakttegi barer biyikligi - shıǵıw jumısı ayırması menen anıqlanıp, metall menen shegerada barer bolmasa;
- barer oblastında tiykarǵı emes tok tasıwshılardıń jasaw waqtı júdá az bolıp, jıllılıq teńsalmaqlıǵı buzılmasa;

Omlıq kontaktlerge qoyılatuǵın tiykarǵı shártlerdiń biri bul – olar yarımótkizgishli ásbaplardıń islewine kesent bermewi yamasa oǵan belgili dárejede tásir etpewi tiyis. Basqasha aytqanda yarımótkizgish hám metalldan ibarat sistemanıń voltamperlik xarakteristikasi tuwrı sıızıqtan turatuǵın bolıwı kerek (bunday sistemalar Om nızamına boysınıwı kerek), al kontakttıń ózi qosımsha aytarlıqtay qarsılıq qospawı kerek. Yarımótkizgishli ásbaplardıń rawajlanıwı menen omlıq kontaktlerge qoyılatuǵın talaplar kúsheyip barmaqta.

Kontakttıń eń áxmiyetli xarakteristikalarınıń biri bul onıń salıstırmalı qarsılıǵı  $R_C$  bolıp esaplanadı. Ol tómendegi tuwındınıń keri shaması menen anıqlanadı

$$R_C = \left( \frac{\partial I}{\partial U} \right)_{U=0}^{-1} \quad (1.1.2)$$

bul jerde  $U$ - kernew,  $I$  – tok.

Jaqsı omlıq kontakt  $R_c \leq 10^{-7} Om \cdot sm^2$  shamasında salıstırmalı qarsılıqqa iye bolıwı kerek. Kishi qáddili legirlengen metall-yarımótkizgish kontaktinde tok termoelektronlıq komponentasına iye boladı.

Bul jaǵdayda kontaktıń qarsılıǵı tómendegige teń boladı.

$$R_c = \frac{k}{q \cdot A^* \cdot T} \cdot \exp\left(\frac{q\varphi_{Bn}}{k \cdot T}\right) \quad (1.2.2)$$

bul jerde  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} Dj/grad$  – Bolcman turaqlısı,  $q = 1,6 \cdot 10^{-9} Kl$  - elektron zaryadı,  $n$  – ideallıq koeffitsienti,  $T$ -temperatura,  $S$ -barer maydanı,  $A^*$ -Richardsonnıń effektivlik turaqlısı, ádette ulıwma qabıl etilgen Richardson turaqlısınan kishi)  $A = 120A \cdot sm^{-2} \cdot K^{-2}$

Joqarıdaǵı teńlemeden kórinip turǵanıday, kishi  $R_c$  salıstırmalı qarsılıqqa iye bolıw ushın, kishi barer biyikligine iye bolǵan kontaktlerdi payda etiw kerek.

Joqarı qáddili legirlengen metall-yarımótkizgish kontaktinde toktıń tunnellik komponentası tómendegi formula menen anıqlanadı

$$J_t \approx \exp\left(\frac{-q \cdot \varphi_{Bn}}{E_{00}}\right) \quad (1.2.3)$$

bul jerde  $E_{00}$  - Padovani hám Stretton parametri bolıp (yaǵnıy tunnellewdiń xarakteristikalıq energiyası), ol tómendegige teń:

$$E_{00} = \frac{q\hbar}{2} \sqrt{\frac{N_D}{\varepsilon_s \cdot m^*}} = 18,5 \cdot 10^{-15} \sqrt{\frac{N_D}{\varepsilon_s \cdot m^*}} \quad (1.2.4)$$

bunda  $N_D$ - donorlardıń konsentratsiyası. Sonda biz mınaǵan iye bolamız:

$$R_c \sim \exp\left(\frac{q\varphi_{Bn}}{E_{00}}\right) = \exp\left[\frac{2 \cdot \sqrt{\varepsilon_s \cdot m^*}}{\hbar} \left(\frac{\varphi_{Bn}}{\sqrt{N_D}}\right)\right] \quad (1.2.5)$$

Joqarıdaǵı (1.2.5) teńlemeden kórinip turǵanıday, tunnellik oblastta kontaktıń salıstırmalı qarsılıǵı  $\varphi_{Bn}/\sqrt{N_D}$  dan eksponensial túrde ǵárezli boladı.

Solay etip kishi salıstırmalı qarsılıqqa iye yarımótkizgishlerdi alıw ushın joqarı dárejede legirlew yamasa kishi barer biyikligine iye bolǵan materiallardı alıw kerek.

Lazerlik texnologiya járdeminde yarımótkizgishlerde omlıq kontaktlerdi alıwdı házirgi waqıtta bar metodlar Gotra hám t.b. tárepinen óz jumıslarında sóz etilgen. Bul jumısta qollanıw atırǵan lazerlik nurlanıw parametrleri menen kontakttıń xarakteristikalarınıń óz-ara baylanısları haqqında ayılǵan.

*GaAs*, *GaP* kristallarınıń betlik oblastlarınıń qásiyetlerine impulslik lazerlik nurlandıruwdıń (*ILN*) tásiri izertlegen. *ILN* rubin  $h\nu_1 = 1,8 \text{ eV}$  (*GaAs* ushın) hám eksimer  $h\nu_2 = 4 \text{ eV}$  (*GaR* ushın) monoimpulsları ( $\tau = 15 \div 20 \text{ ns}$ ) menen optikalıq kvantlıq generator járdeminde orınlanǵan. Eki optikalıq kvantlıq generator ushında intensivliktiń bir teksizligi 5% ten aspǵan. Avtorlar tiykarǵı dıqqattı úlginıń betiniń eriwi ushın jeterli bolmaǵan lazerlik impulstıń energiyasın alıwǵa awdarǵan. Lazerlik tásirde keyin betlik qatlamlarda noqatlıq defektler payda bolatuǵınlıǵı anıqlanǵan. *ILN* da defektlerdiń generaciyası jıllılıq penen de, atermikalıq jol menen de ótetuǵınlıǵı kórsetilgen.

Sońǵı waqıtları metall-yarımótkizgish kontaktin alıwdıń texnologiyalarınıń biri impulslik lazerlik qızdırıw usılı bolıp esaplanadı. Z.Yu. Gotra, S.A.Oseredkolardıń kórsetiwinshe joqarıda atap ótilgen usıl menen kontaktlerdi alıw yarımótkizgishli ásbaplardıń sapalılıǵın hám shıdamlılıǵın arttıradı. Avtorlar Djamanbalin K.K., Dmitriev A.G. lazer nurı járdeminde yarımótkizgishli ásbaplarǵa omlıq kontaktlerdi alıw óziniń ápiwayılıǵı hám bir qatar artıqmashlıqlarına iye dep esaplaydı. Basqa tásirlerge qaraǵanda lazerlik tásir qısqa tásir etiw waqtı menen ayrılıp turadı, yaǵnıy bul waqıt ishinde yarımótkizgish materialı qızıp úlgermeydi hám onıń ishinde aytarlıqtay ózgeris júz bermeydi.

Ádebiyatlarda Voronkov, Vyatkin hám taǵı basqalar , Shottki bareriniń parametrlerine lazerlik tásirde izertley otırıp, lazerlik tásiri *Pd – GaAs* kontaktiniń barer biyikliginiń ózgerisine alıp keletuǵınlın anıqladı.

Avtorlar barer biyikliginiń ózgeriwin galliyarsenid betinde palladiy menen legirlengen jińishke juqa qatlamnıń payda bolıw menen túsindiredi. Tájiriyyede  $1.06 \text{ mkm}$  tolqın uzınlıǵına hám  $10^{-6} \text{ s}$  tásir etiw waqıtına iye lazer nurı paydalanıldı. Úlgi retinde elektronlıq tiptegi epitaksiallıq galliyarsenid qollanıwı,

onıń konsentratsiyası  $(1 \div 3) \cdot 10^{16} \text{sm}^{-3}$  hám konsentratsiyası  $2 \cdot 10^{16} \text{sm}^{-3}$  ğa teń bolǵan tesikshelik galliyarsenid qollanıldı.  $0,5 \text{ mkm}$  qalıńlıqqa iye palladiydiń plenkası elektroximiyalıq  $\text{SiO}_2$  di travit etiw usılı menen alındı.

Tájiriybede alıńǵan nátiyjeler sonı kórsetedi,  $\text{Pd} - \text{GaAs}$  kontaktiniń elektrlik qásiyetleriniń energiyanıń tıǵızlıǵına baylanıslı ózgerisi shegeralıq xarakterge iye. Energiyanı  $E > 0,2Dj/\text{sm}^2$  dan kóbeytiw kontaktiń kerı tokınıń artıwına alıp kelse, al proboy kernewi ózgerissiz qaladı.

### 1.3. Shottki diodlarının elektrofizikalıq qásiyetlerine mikrotolqınlı nurlanıwdıń tásiri

Sońgı jıllarda yarımótkizgishli materiallarǵa, ásbaplıq strukturalarǵa hám ásbaplarǵa mikrotolqınlıq tásirinde bolatuǵın processlerge qızıǵıwshılıq sezilerli dárejede arttı . Bul bolsa yarımótkizgishli ásbaplardaǵı sırtqı tásirlerdiń (temperatura, kúshli elektr hám magnit maydanları, radiaciya, AJJ nurlandıruw h.t.b.) nátiyesinde payda bolatuǵın degradatsiya mexanizmlerin izertlewdiń jańa texnologiyaların tabıw menen baylanıslı. Yarımótkizgishli materiallardıń hám olar tiykarında islengen ásbaplardıń parametrleriniń ózgeris sebepleriniń biri bul ishki mexanikalıq kernew (IMK) relaksaciyası bolıp, ol barlıq waqıtta yarımótkizgishli ásbaplardıń degradaciyasına alıp keliwi múmkin emes.

Biraqta yarımótkizgishli ásbaplardaǵı hám kristallardaǵı relaksaciyalıq processlerdiń keń túrde izertleniwine hám orınlanıwına qaramastan (sonıń ishinde  $TiB_x - n - n^+ - GaAs$  betlik-barerlik strukturasınıń), bul jumıslarda AJJ nurlandıruw tárepinen stimullanǵan IMK diń relaksaciyası izertlenbegen. Usı maqsette qısqa tolqınlı tásirden aldın hám keyin P201 profilometr-profilografında  $TiB_x - n - n^+ - GaAs$  strukturasınıń iymeklik radiusı  $R$  ólshendi.  $TiB_x$ -metallınıń qalınlıǵı  $0,14 \text{ mkm}$  ge teń bolıp, ol elektron-nurlı metod penen alındı. Usı strukturada hár bir iymeklik radiusın ólshegenen keyin «X'Pert PRO MRD» difraktometrinde rentgenlik difraktometr járdeminde metallizaciyanıń fazalıq quramı ólshendi. Sonday-aq planarlıq texnologiyanı qollanıp fotolitografiya járdeminde voltamperlik xarakteristikası ólshendi. Profilogrammalar plenka tárepinen jazıldı.

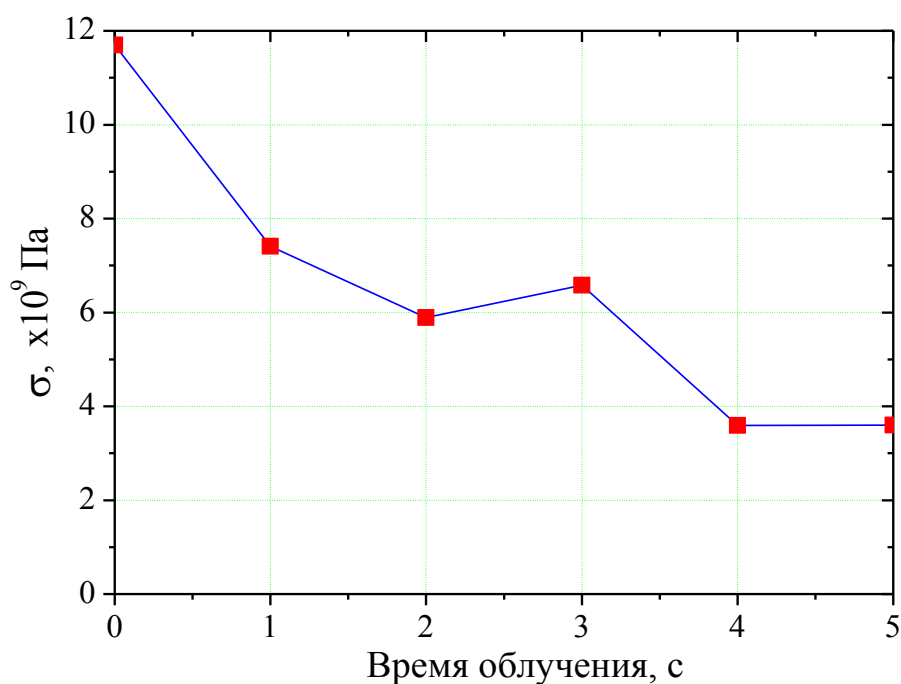
IMK  $TiB_x - GaAs$  - eki qatlamlı modeline juwıqlastırılǵan Stoun formulası járdeminde esaplandı

$$\sigma = \frac{Ed^2}{6(1 - \nu)Rl}$$

bunda  $l = 0,14 \text{ mkm} - \text{TiB}_x$  qatlamınıń qalıńlıǵı,  $d = 400 \text{ mkm} - n^+ - \text{GaAs}$  podlojkasınıń qalıńlıǵı  $E = 1,4 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$   $\text{GaAs}$  podlojkasınıń Yung moduli,  $\nu = 0,27$  Puasson koefficienti,  $R = \frac{l^2}{8m}$  - iymeklik radiusı

$f = 2,45 \text{ GHz}$  jiyilikli hám shıǵıw quwatlılıǵı  $160 \text{ Vt}$  (salıstırmalı quwatlılıǵı  $\sim 1,5 \text{ Vt/sm}^2$ ) bolǵan qısqa tolqınlı nurlandıırıwdan keyin, 1-5 s waqıt ishinde iymeklik radiusı hár qıylı úlgilerde 3-4 ese dáslepkege qaraǵanda ózgeriske ushıradı, hámde diodlıq stukturanıń parametleri jaqsılandı.

Dáslepki stuktura kishi iymeklik radiusına iye edi. 5 s ishinde qısqa tolqınlıq tásirde keyin iymeklik radiusınıń artıwına, demek IMK din kemeyiwine alıp keldi (1.3.1-súwret).



1.3.1-súwret.  $\text{TiB}_x - n - n^+ \text{GaAs}$  strukturasında IMK diń  $\sigma$  mikrotolqınlıq tásir waqtınan ǵárezziligi

Strukturanıń ishki mexanikalıq kernewiniń nurlanıw waqtınan ǵárezziligi úlgide relaksaciyalıq processlerdiń birdey ólshemli emesligin kórsetedi. Bunıń bir sebepleriniń biri real strukturanıń, yaǵnıy kúshli legirlengen podlojkanı, epitaksial plenkanı hám plenka-metall shegerasında ótiw qatlamın hám  $\text{TiB}_x$  qatlamın óz

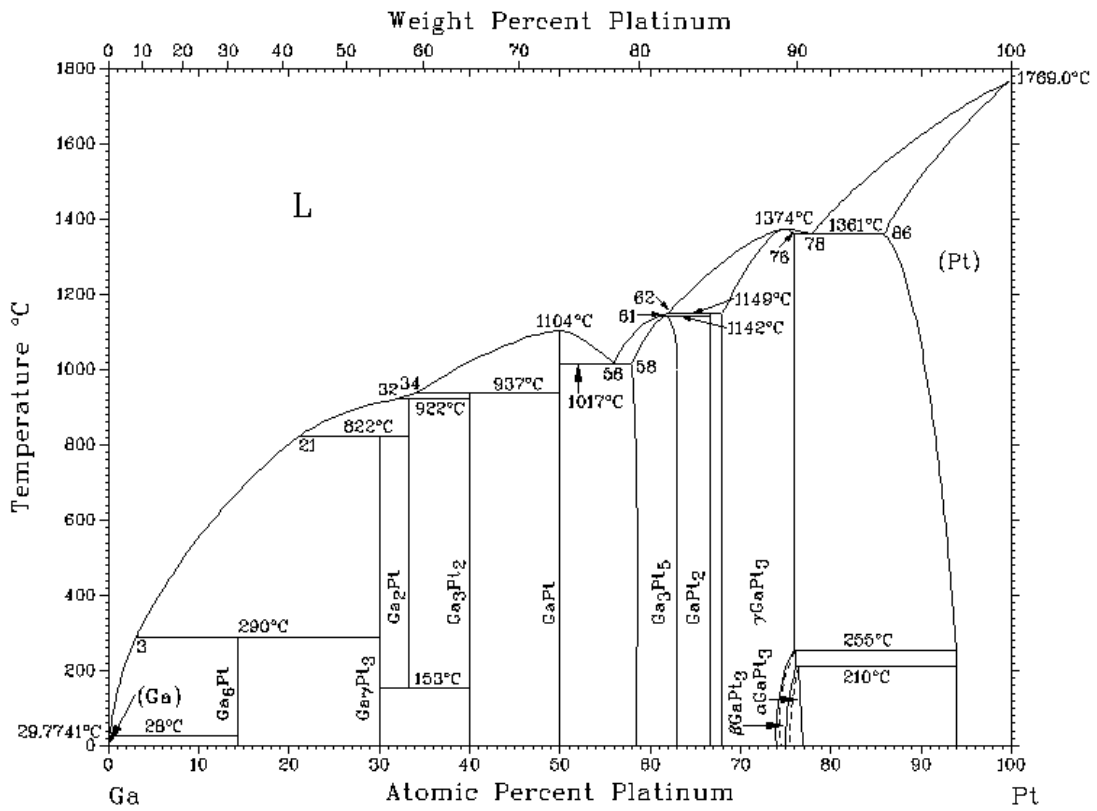
ishine alatuğın strukturanıń payda bolǵanlıǵı bolıp esaplanadı. Bul óz gezeginde kóp qatlamlı model menen túsindiriledi.

### 1.3.1- Keste

*AJJ qayta islewge deyin hám keyin  $TiB_x - n - n^+ - GaAs$  Shottki barerli diodlıq struktura parametriniń ózgerisleri*

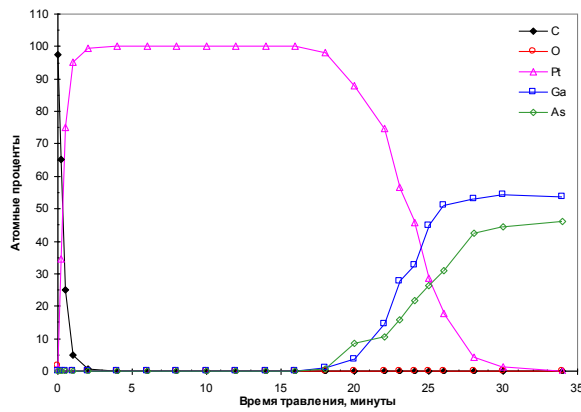
Struktura parametrleri	Nurlanıw waqtı, s					
	0	10	20	30	40	50
$R, m$	2.72	4.32	5.43	4.86	8.91	8.89
$\sigma \times 10^9, Pa$	11.70	7.41	5.89	6.58	3.60	3.59
$n$	1.15	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
$\varphi_B, V$	0.74	0.78	0.78	0.8	0.8	0.8

Sonı aytıp ótiw kerek,  $GaAs$  ge platinlik barerlerdi payda etkende jiyi bayqalatuğın  $TiB_xAs_2$  fazası bul jaǵdayda baqlanbaǵan.

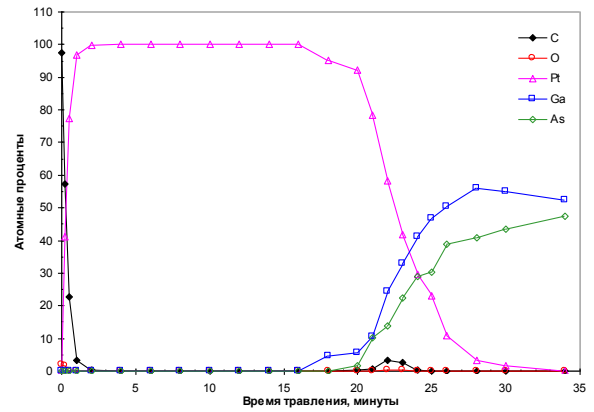


1.3.2-súwret.  $Ga - TiB_x$  sistemasınıń fazalıq diagramması .





a



b

1.3.3-súwret 24 s dawamında AJJ tásirge deyin (a) hám keyingi (b)  $TiB_x - n - n^+ - GaAs$  kontakti komponentleri bólistiriliwiniń konsentraciyalıq profilleri

Bul  $TiB_xAs_2$  faza  $Ga - TiB_x$  fazalıq diagrammasına sáykes  $T = 153\text{ }^\circ\text{C}$  temperaturada payda boladı. Bunday temperaturaǵa  $GaAs$  betlik qatlama elektron-nurlı búrkiw waqtında erisedi, eger qızıwdıń aldın alamasaq. 4s hám 24s sekund waqıt aralıǵındaǵı qısqa tolqınlıq tásirler  $TiB_x - GaAs$  kontaktinde fazalıq ózgerislerge alıp kelmedi. Sonıń menen birge  $TiB_xGa_2$  fazasın óz ishine alatuǵın metallizatsiya bóleginiń fazalıq quramında ózgermedi. Bul úlginiń sezilerli qızbaǵanlıǵınan derek beredi.

Galliyarsenid tiykarındaǵı Shottki barerli yarımótkizgishli priborlardıń qollanıwı menen yarımótkizgishli asa joqarı jiyilikli elektronikanıń hám intergral mikrosxemalardıń rawajlanıwı sırtqı tásir bolǵanda (temperatura, kúshli elektrik hám magnit maydan, radiaciya, AJJ nurlanıw, lazerli nurlanıw h.t.b) bul ásbaplardıń elektrofizikalıq xaraktistikaların izertlewge sebep boldı. Ásirese bul bir neshe jaǵdaylarda ekstremal apparaturalardıń isten shıǵıwınan derek beretuǵın nurlanıwdıń baslanǵısh etapı hám salıstırmalı az doza menen baylanıslı.

$Mo - n - n^+ - GaAs$  diodlı strukturalardıń parametrlerine mikrotolqınlı nurlanıwdıń tásiri ayırım avtorlar [33] tárepien úyrenilgen.

Izertlengen diod struktura ximiyalıq tazalanǵan  $n - n^+ GaAs$  strukturaǵa metalldı qatlamlap alıwshı elektron-nurlı yáki magnetronlı búrkiw járdeminde tayarlanǵan.  $GaAs$   $n$  plenkasında legirlewshı kiritpe konsentraciyası  $\sim 4 \cdot$

$10^{15} \text{ sm}^{-3}$ , podlojkada  $10^{18} \text{ sm}^{-3}$  ge teń boldı,  $n$  hám  $n^+$  qatlam qalınlıǵı sáykes túrde 20 hám 300 *mkm*. Shottki barer biyikligi  $\sim 500 \text{ mkm}$ . Omliq kontakt *AuGe* evtektika tiykarında tayarlandı.

Nurlanıwdıń hár bir dozasinan aldın hám keyin diodlıq strukturanıń volt-amper hám volt-faradalıq xarakteristikaları ólshengen.

VAX dan Shottki diodlarınıń parametrleri anıqlanǵan: barer biyikligi  $\varphi_B$ , VAX tuwrı tarmaǵınıń toyınıw tokı  $I_s$ , ideallıq faktori  $n$ , kerı tok  $I_{keri}$ .

Eksperimental izertlew nátiyjeleri belgili waqıt tásirindegi mikrotolqınllı qayta islewden keyin diodlıq struktura parametrleri jaqsılanǵanlıǵın kórsetedi.

AJJ nurlanıwlı qayta islew 10, 60 hám 120 s dawamında  $f = 2,45 \text{ GHz}$  li hám shıǵıw quwatlılıǵı  $160 \text{ Vt}$  (salıstırma quwatlılıǵı  $\sim 1,5 \text{ Vt/sm}^2$ ) bolǵan magnetronda alıp barıldı. Nurlanıwdan aldın hám keyin diodlı strukturanıń statistikalıq volt-amper xarakteristikası ólshengen, hámde Shottki diodları parametrleri anıqlanǵan: barer biyikligi  $\varphi_B$ , ideallıq faktori  $n$ , toyınıw tokı  $I_s$  hám olardıń dozadan ǵárezziligi.

1.3.2-kestede Shottki diodları parametrleriniń AJJ nurlanıw waqtınan ǵárezziligi keltirilgen. Kesteden AJJ qayta islewdiń baslanǵısh etabında diod xarakteristikaları jaqsılanadı yaǵnıy ideallıq faktori hám kerı toktıń mánisi azayaǵanlıǵı, al barer biyikliginiń artqanlıǵı kórinedi. Bunda 0 – 20 s waqıt intervalında nurlandırılǵan diodlı strukturalarda<sup>1</sup> termogeneracion tábiyatlı kerı tok kemeyedi.

Kerı toktıń termogeneracion komponentası:

$$I_g = \frac{qn_i WS}{2\tau_p}$$

bul jerde  $q$  – elektron zaryadı,  $W$  – jarlılanǵan oblast keńligi,  $\tau_p$  – tiykarǵı emes tok tasıwshılardıń jasaw waqtı,  $\tau_p$  *GaAs* epitaksial plenkasınıń sıpatın xarakterleydi

---

<sup>1</sup> bul óz nábetine mikrotolqınlı nurlanıw menen stimullanıw nátiyjesinde defektlerdiń getterleniwi menen baylanıslı bolǵan diodtıń bazalıq oblastındaǵı tiykarǵı emes tok tasıwshılardıń jasaw waqtınıń artıwı menen baylanıslı-что связано с увеличением времени жизни неосновных носителей тока в базовой области диодов обусловленного стимулированным микроволновым излучением геттерированием дефектов.

*Mo – n – n<sup>+</sup> – GaAs Shottki barerli diodli struktura elektrofiziklik parametrlerine asajoqarı jiyilikli nurlanıwdıń tásiiri*

Shottki barer parametrleri	AJJ nurlanıw waqtı, s						
	0	0,5	1	5	10	15	20
$\varphi_B, V$	0,79	0,80	0,82	0,82	0,82	0,82	0,79
$n$	1,24	1,20	1,15	1,15	1,13	1,15	1,2
$R, m$	7,8	7,8	7,8	12	14,5		30
$I_{keri}, mA$	0,8	0,6	0,6	0,05	0,04	0,05	0,9

Haqıyqatında da, izertlew nátiyjeleri kórsetkenindey 5 – 15 s waqıt intervalında AJJ nurlanıwda kerı toktıń azayıwı *GaAs*  $n$  – qatlamındaǵı tiykarǵı emes tok tasıwshılardıń jasaw waqtı  $\tau_p$  nı bahalawǵa<sup>1</sup> múmkinshilik beredi.

Baqlanǵan Shottki barerli diodli struktura parametrleri ózgerislerin mikrotolqınlı nurlanıw arqalı stimullanǵan ishki mexanikalıq kernew relaksaciyası nátiyjesinde yarımótkizgish kontakt qatlamınıń strukturalıq-kiritpeli tártiplesiwi dep túsindiriw múmkin.

**Haqıyqatında da, izertlewler kórsetkenindey, dáslepki sistemaniń iymekligi sezilerli dárejede birtekli emes bolǵan. 10 s dawamında mikrotolqınlı qayta islewden keyin iymeklik  $v = 0,068 m^{-1}$ , al nuralnıwǵa shekem  $v = 0,33 m^{-1}$  ( $v = 1/R$ ). Solay etip eksperimental izertlew kishi dozalı mikrotolqınlı qayta islew  $v$  iymeklikti hámde olarǵa  $f = 2,45 GHz$  jiyilikli asajoqarı nurlanıw menen tásir etip *Mo – n – n<sup>+</sup> – GaAs* Shottki diodli galliarsenid ásbaplı strukturalardıń parametrlerin basqarıw ushın qollanıw múmkin ekenligin kórsetedi.**

**Demek joqarıdaǵılardı analizlep mikrotolqınlı qayta islewdiń baslanǵısh etbında Shottki barerli galliarsenid ásbaplı strukturalardıń parametrleri jaqsılanadı degen juwmaqqa keliw múmkin.**

<sup>1</sup> Tok tasıwshılardıń jasaw waqtı dáslepki úlgide  $\sim 2 \cdot 10^{-11}$  s, al 15 s nurlanıwda keyin  $1,3 \cdot 10^{-10}$  s qa teń

$Au - Ti - n - n^+ - GaAs$  Shottki barerli diodli hám tranzistor strukturalardıń parametrlerine AJJ nurlanıw tásirin hám  $GaAs n - n^+$  strukturalı plastinalarında ishki mexanikalıq kernew relaksaciyasın hám  $Au - Ti - n - n^+ - GaAs$  diodli struktura hám galliyarsenidli Shottki zatvorlı maydanlı tranzistorlardıń topologiyasın kórip shıǵılǵan. Izertlew obykti: gazfazalı epitaksiya metodu menen alınǵan  $GaAs n - n^+$  strukturalar,  $Au - Ti - n - n^+ - GaAs$  tiykarında islengen Shottki barerli ásbaplı strukturalar, galliarsenidli Shottki zatvorlı maydanlı tranzistorlar (ShMT) (Shottki zatvor  $Au - Ti$  metallizaciyası menen islengen). Eki tiptegi ásbaplı struktura ushın omliq kontaktlar  $Au - Ge$  evtektikasını tiykarında tayarlanǵan. Diodli struktura diametri 500 *mkm* ge teń.

Mikrotolqınlı qayta islewden aldın hám keyin<sup>1</sup>  $GaAs$  plastinasında islengen diodli struktura hám ShMT volt-ampere xarakteristikası, plastinanıń iymeklik radiusı  $R$  hám  $n - n^+ - GaAs$  strukturada betlik-barer elektrshaǵılısıw (BBESH) spektri ólshengen, keyin keńeyiwdiń soqlıǵısıw parametri  $\Gamma$  nıń shaması ólshendi. Iymeklik П201 profilograf profilometrinde sonay-aq rentgen difrakciyası metodu menen ólshendi. Ásbaplı struktura profilogramması plenka tárepten yáki topologiyası betke zıyan tiygizbesten jazıp alındı.  $n - n^+ - GaAs$  struktura ólshengen iymeklik radiusı boyınsha Stoun formulasınan paydalanıp ishki mexanikalıq kernew shaması ólshendi. BBESH spektri elektrolitlik metod penen komnata temperaturasında 3 *meV* spektral keńlikli 1,2 – 2,0 *eV* energiyalı fotonlar oblastında ólshendi. BBESH spektri kúshsiz maydan teoriyası járdeminde úshnoqatlı metodtı qollaw menen analizlendi.

1.3.3-keste Diodli hám tranzistorlı strukturalardıń parametrleri hám plastina iymeklik radiusınıń AJJ – qayta islewden aldın hám keyingi shaması keltirilgen.

1.3.3-keste

<sup>1</sup> Mikrotolqınlı nurlanıw bos keńislikte 2,45 *GHz* jiyilikli, salıstırma quwatlılıǵı 1,5 *Vt/sm<sup>2</sup>* bolǵan magnetronda 0,5 – 10 s dawamında alıp barılǵan

*Ajj qayta islewden aldın hám keyin Au – Ti – n – n<sup>+</sup> – GaAs diodlı strukturaniń parametrleriniń ózgeriwi*

<i>Diodlı struktura parametrleri</i>	<i>AJJ nurlandıruw waqtı, s</i>							
	0	0,5	1	2	3	5	6	10
$\varphi_B, V$	0,63	0,64	0,66	0,69	0,72	0,72	0,72	0,72
$n$	1,35	1,35	1,3	1,22	1,15	1,15	1,15	1,15
$U_{keri} = 4V,$ $I_{keri}, 10^{-8} A$	4	4	2	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1
$R, m$	6,0	12,0	19,0	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$

*1.3.4-keste*

*10 s dawamında AJJ qayta islewden aldın hám keyin ólshengen SHMT parametrleri*

<i>SHMT parametrleri</i>	<i>dáslepki R, m</i>			<i>AJJ nurlanıwdan keyin R, m</i>		
	<i>plastina</i>	<i>plastina</i>	<i>plastina</i>	<i>plastina</i>	<i>plastina</i>	<i>plastina</i>
	Nº 1	Nº 2	Nº3	Nº 1	Nº2	Nº 3
	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_1$	$R_2$	$R_3$
	$\infty$	-2,82	4,53	2,9	11,9	$\infty$
$\frac{I_2}{I_1}$	1	1	1	0,8	1,08	1,3
$S, mA/V$	42	35	37	36	37	42

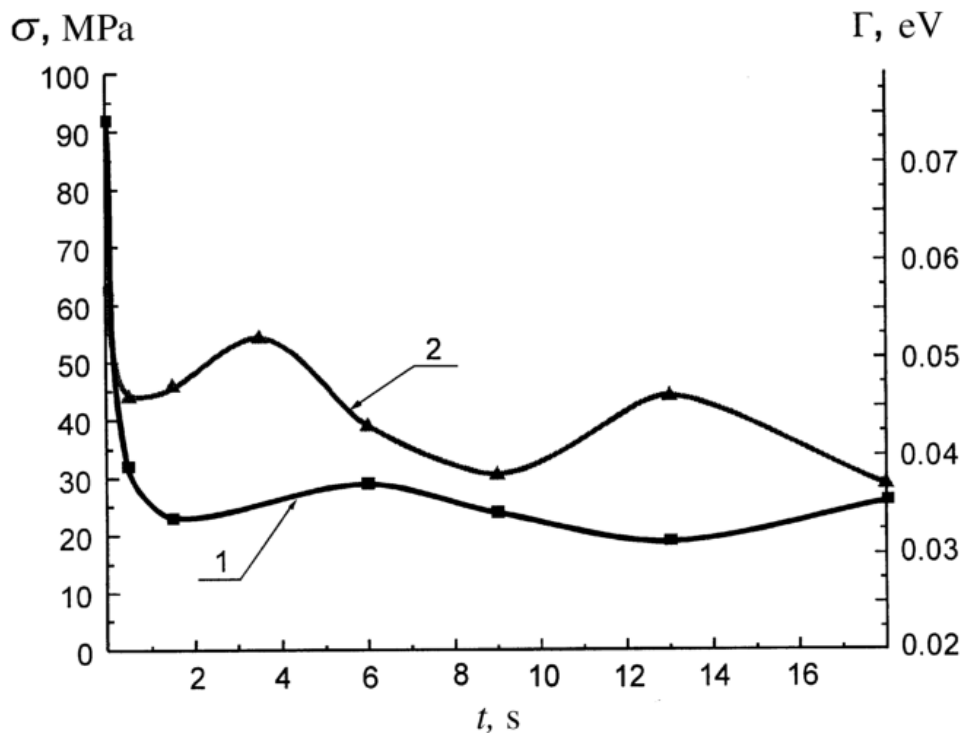
Hátte bir neshe sekund dawamındaǵı AJJ nurlanıw diodlı struktura parametrleriniń sezilerli ózgerisine alıp keliwi kórinip turıptı. Bunda plastina iymeklik radiusınıń ózgeriwi menen birge tómendegi ózgerisler boladı:

- Shottki barer biyikligi  $\varphi_B$  artadı,

- ideallıq faktorı  $n$  kemeyedi,

-termogeneracion tábiyatlı kerı toktıń shaması kemeyedi, sonday-aq qıyalıq hám SHMT baslangısh tokı artadı. SHMT topologiyalıq plastınada strukturalıq relaksaciyanıń barıw processı úlginıń strukturalıq jetiliskenklik dárejesinen hám

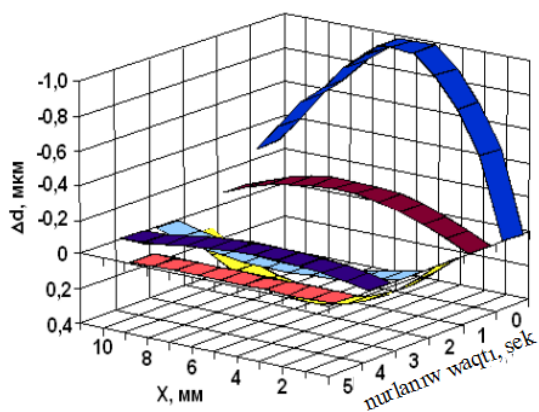
iymeklik shamasınan gárezli (1.3.4-keste). Dáslepki shaması  $R = \infty$  bolğan úlgide 5 s dawamındaǵı AJJ nurlanıw  $R = 2,9 m$  iymeklik payda etedi, al SHMT parametrleri bunda jamanlasadı: stok baslanǵısh tokı hám qıyalıq kemeyedi. Iymekligi qarama qarsı belgige iye (plastina №2) ekinshi plastina iymeklik shamasın hám belgisin ózgeretti, keyingisi 10 s dawamındaǵı AJJ nurlanıwdan keyin tolıq relaksaciyalandı ( $R = \infty$ ), bunda keyingi eki úlgide SHMT parametrleri jaqsılandı.



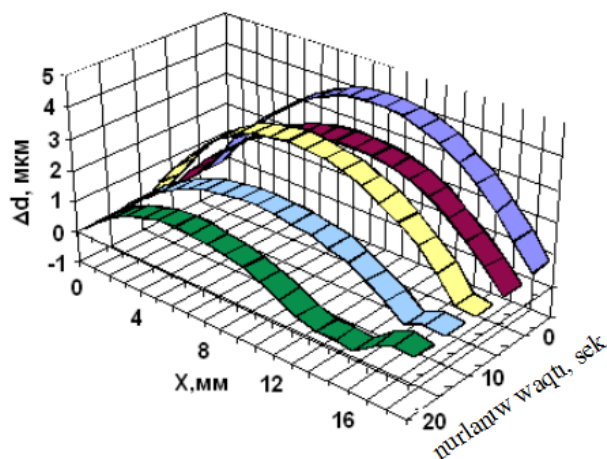
1.3.2-súwret. AJJ nurlanıw tásirinde (1) ishki mexanikalıq kernew ózgerisi hám (2) keńeyiwdiń soqlıǵısıw parametri

Diodlı hám tranzistorlı strukturalardıń maksimal ózgerisi kernew astındaǵı jaǵdaydıń tolıq relaksaciyası ( $R = \infty$ ) boyınsha belgilenedi.

Baqlanǵan effektlerdi ishki mexanikalıq kernew relaksaciyası menen baylanısqa AJJ nurlanıw menen stimullanǵan ásbaplı strukturanıń aktiv oblastındaǵı defektlerdiń getterleniw menen túsindiriw múmkin.



a



b

1.3.3-súwret. AJJ qayta islew nátiyjesinde (a)  $n - n^+ - GaAs$  hám (b)  $Au - Ti - n - n^+ - GaAs$  struktura betindegi atom tegislikleriniń ózgeriw profili.

Aldırıraq kernew relaksaciyası hám sáykes getterleniw temperaturalıq, radiaciyalıq, maydanlı hám ultrasesli tásirlerden keyinde bayqalǵan edi. Haqıyqatında da, 0,5 – 10 s dawamında mikrotolqınlı qayta islewden aldın hám keyin  $n - n^+ - GaAs$  strukturaniń profilometrde ólshengen iyemeklik radiusı hám onnan esaplanǵan ishki mexanikalıq kernew  $\sigma$ , AJJ nurlanıwdan keyin  $\sigma$  shaması yarımártipke kemeygenligin kórsetedi (1.3.2-súwret, 1-iyemeklik). Usı úlgi ushın BBESh spektrinen ólshengen  $n - n^+ - GaAs$  betlik qatlamınıń strukturalıq jaqtan xarakterleytuǵın  $\Gamma$  parametr (1.3.2-súwret 2-iyemeklik) 1,5 márte kemeygenin kórsetti ( $\Gamma$  qansha kishi bolsa, yarımótkizgish betlik qatlamı sonsha strukturalıq jaqtan jaqsı boladı). Bul yarımótkizgish betlik qatlamında xolliq qozǵalıwshańlıqtıń artqanlıǵın bildiredi. Bul bolsa getterleniw procesinen derek beredi.

1.3.3-a,b súwrette AJJ qayta islew nátiyjesinde (a)  $n - n^+ - GaAs$  hám (b)  $Au - Ti - n - n^+ - GaAs$  struktura betindegi atom tegislikleriniń ózgeriw profili keltirilgen. Eki úlgi ushında 5-10 s dawamındaǵı mikrotolqınlı qayta islew tásiri astında ishki mexanikalıq kernewdiń tolıq relaksaciyasına erisiw múmkinligi kórinedi. Bunda rentgen nurlarınıń anomal ótiw hadiyyesi tiykarındaǵı topografıyalıq izertlew maǵlıwmatları boyınsha,  $GaAs$   $n - n^+$  strukturasında dislokaciya tıǵızlıǵınıń bólistiriliwi joqarıda kórsetilgen rejimdegi

AJJ qayta islewden keyin ózgermeytuđın kúshsizańlatılđan  $W$  – uqsas xarakterge iye. Bólek dislokaciyalar payda boladı hám podlojkanıń shetinen shuqırlıǵına shekem sıypaq tegislik boyınsha tarqaladı.

**Solay etip, keltirilgen maǵlıwmatlardan 0,5 – 10 s waqıt dawamında salıstırma quwatlıǵı  $1,5 \text{ Vt/sm}^2$ , 2,45 GHz jiyilikli AJJ nurlanıw menen stimullanǵan Shottki barerli *GaAs* ásbaplı strukturalardaǵı ishki maxanikalıq kernew relaksaciyası menen birge *GaAs* kontakt qatlamında strukturalıq-kiritpele tártiplesiwi menen baylanıslı Shottki barerli diodlı hám tranzistorlı strukturalardıń parametrleri jaqsılanıwı kórinedi[26].**



#### 1.4. Metall-yarımótkizgish kontaktiniń dúzilisine temperaturanıń tásiiri

Kremniyli  $p^+ - n - n^+$ -strukturalarǵa radiaciyanıń tásiriniń hám onıń tásiiri nátiyjesinde elektrofizikalıq parametrlerdı jaqsılawǵa bolatuǵınlıǵı haqqında erterekte kópshilik avtorlar tárepinen ayılǵan. Yaǵnıy termikalıq hám termikalıq emes usıllar menen yarımótkizgishli struktura hám onıń tiykarında tayarlanǵan tayar ásbaplardıń elektrofizikalıq parametrlerin málim bir optimallıq rejimlerde jaqsılawǵa bolatuǵınlıǵı haqqında aytıp ótilgen. Keyingi waqıtları termikalıq (termotrenirovka) hám radiaciyalıq usıllar óziniń ápiwayılıǵı menen, effektiv tásir etiwı menen yarımótkizgishlerdi sonıń ishinde sol yarımótkizgiler materialları tiykarında tayarlanıp atırǵan tayar ásbaplardı qayta islewde (obrabotkalawda) keńnen qollanılatuǵın texnologiyalıq metodlar sıpatında tán alınbaqta.

Endi, diffuziya usılı menen kremniyden tayarlanǵan kóshkili diod hám  $p^+ - n - n^+$  - diodlı strukturalardıń elektrofizikalıq xarakteristikalarına yaǵnıy volt-amperlik xarakteristikasına termikalıq hám radiaciyalıq tásirde qarastırayıq. Bizniń qarastırıp atırǵan obyektimizde legirlewshi qosımta retinde bor qollanıladı,  $p^+$  -oblasttaǵı bordıń konsentratsiyası  $10^{20} sm^{-3}$ , al  $n -$  qatlamnıń konsentratsiyası  $3 \cdot 10^{16} sm^{-3}$ , hám podlojkadaǵı  $n^+$ -qatlamnıń konsentratsiyası  $10^{19} sm^{-3}$  n hám  $n^+$ -qatlamnıń qalınlıǵı sáykes 1,5 hám 300 *mkm*. Diodlı strukturanıń jumıs oblastı diametri  $\sim 300$  *mkm* teń.

2 bapta keltirilgen metodika járdeminde  $p^+ - n - n^+$  - diodlı strukturanıń volt-amperlik xarakteristikasınıń hám onıń proboy oblastı aldınıń birinshi tuwındısınıń ólshengen. Eksperiment nátiyjesi sonı kórsetti qarastırılıp atırǵan  $p^+ - n - n^+$  - diodlı strukturanıń dáslepki kerı baǵıttaǵı volt-amperlik xarakteristikasınıń ólshegenimizde toktıń muǵdarı  $10^{-8} \div 10^{-6} A$  ge teń ekenin eksperimentte kórilgen. Sáykes proboy uchastkası aldın differensiallaǵanıımızda birinshi tuwındısı, bir neshe tóbelerge (piklerge) iye ekenin kórdik. Bulardıń barlıǵıda tiykarǵı emes toq tasıwshılardıń bar bolıwı esabınan volt-amperlik xarakteristikasınıń real jaǵdaylarǵa salıstırǵanda awısıwın kórsetedi, al bul óz gezeginde noqatlıq defektler hám olardıń toplanıwı menen yamasa

dislokaciyalardıń bar bolıwı menen túsindiriledi. Bunıń dálili retinde proboy uchsatkası aldın differensiallaǵan waqtında kóriwge boladı. Al bunday bir tegis emesliklerdiń bar bolıwı hám tiykarǵı tok tasıwshılardıń esabınan toktıń mánisiniń artıp ketiwi óz gezeginde diodlı strukturanıń sapasınıń tómenlep ketiwine alıp kelip degradaciya processleriniń bolıwın kórsetedi.

Bizler joqarıda atap kórsetkende, yarımótkizgishtiń real betinde jaratılǵan Shottki barerlerinde barlıq waqıtta menshik oksidiniń aralıq qatlamı boladı. Bul qatlam óz náwbetinde strukturanıń hárqıylı elektrofizikalıq parametrlerine óziniń salmaqlı kerı tásirin jasaydı. Tómendegi sorawlarǵa juwap beriwge háreket eteyik. Termoislewge aralıq qatlam parametrleri qanday dárejede sezgirlik bildiredi?; kontakt parametrleriniń termikalıq stabilligin anıqlawda bul tásirlerdiń mexanizmi hám roli qanday?; Izertlewde bunday máseleni qoyıw tolıǵı menen tiykarlanǵan. Birinshi tárepten, ásbaptı tayarlaw processı termikalıq tásirlesiz bolmaydı. Sebebi ádebiyatlardaǵı maǵlıwmatlar boyınsha aytatuǵın bolsaq mısalıǵa bir diodtı tayarlaw ushın sol diodımız derlik júzdey operatsiyanı óziniń basınan ótkeredi. Sol sebepli termoislewlerde kontakt qásiyetleri tıp tiykarınan ózgeredi. Ekinshiden, *GaAs* betindegi menshik oksid hám beti jaǵdayınıń roli. Tiykarınan *Au – Cr – GaAs* strukturaların kórip shıǵayıq. Shottki barerleri ximiyalıq qayta islengen yarımótkizgish betine *Au*-dı elektroximiyalıq otırǵızıw jolı menen jaratılǵan. Bul metallar Shottki barerin tayarlawda eń kóp tarqalǵanı ushın hám testli strukturaǵa iye bolǵanlıǵınan bul eksperiment jumısı ushın tańlap alınǵan. Kontakttı kúydiriw 100 – 400°C temperatura intervalında vakkumda alıp barıldı.

*Au – Cr – GaAs* quyması payda bolǵanda metall fazanıń *GaAs* penen tásirlesiwleriniń spesifikalıq ózgeshelikleride payda boladı. Bunda *Cr* gomogen fazası *Au* hám *Cr* aralaspasınan turatuǵın geterogen fazaǵa transformaciyalanadı. Bul jaǵdayda *Au*-nıń *GaAs* penen reakciyası esabınan fazalar aralıq tásirlesiwleri processı intensivligi birden kúsheyedi. Sebebi *Au – Cr* quyması payda bolıw ushın termoislew rejimi *Cr – GaAs* ótkeliniń fazalar aralıq shegarasındaǵı

struktura - ximiyalıq qayta qurılıwlarǵa derlik tásir jasamaydı. Nátiyjede yarımótkizgish komponentalarınǵın metall-qatlamına hám Cr-nıń GaAs reshetkasına intensiv ótiwi bayqaladı.

GaAs juqa qatlamlı metallizatsiyasında kúydiriw waqtında fazalar aralıq shegarada oksidleniw menen bir qatarda alıp barılatuǵın processlerde kúsheydi. Oksidlerdiń quramı hám strukturası termoislew rejimine baylanıslı. Bizlerdiń izertlew alıp barǵan rejimde eki faza aralaspası bolıw kerek -  $GaAsO_4$  hám  $Ga_2O_3$ .  $GaAsO_4$  fazası bayqalmadı, sebebi bunda temperaturalıq tásirde basqa, bet stexiometriyası hám Cr atomlarınǵın bolıwı oksidtiń fazalıq quramına salmaqlı tásir jasaydı. Joqarıda atap kórsetilgen ximiyalıq tásirlesiwler, ótiw oblastınıń quram hám strukturası dáslepki jaǵdayǵa qaraǵanda anaǵurlım dárejede ózgeriwine alıp keledi.

Kórsetilgen diodlardıń ayırım parametrlerine termokúydiriw tásiri nátiyjeleri tómendegi kestede keltirilgen

1.4.1-keste

Parametrler	Termokúydiriw	
	Dáslepki	60 °C, $t = 30 \text{ min}$
$\varphi_B, eV$	0,65	0,80
$n$	1,3	1,1
$L_p$	0,125	0,2
$U_{keri} = 2 V I_{keri}, mA$	0,2	0,002

Bul boyınsha diodlardıń parametrlerinde ózgerisler boldı. Eń áhmiyetke iye aralıq, 40°C dan 55 – 70°C temperaturalıq aralıq bolıp tabıladı.

## II BAP. EKSPERIMENT METODIKASI

### 2.1 «MODUL -2» modulyatsiyalıq differentsiallaw metodikasi

**Shottki barerli diodlardıń elektrofizikalıq xarakteristikaların izertlew metodları.** Statikalıq volt-amperlik xarakteristikani izertlew jeterli dárejede ápiwayı orınlanadı, jeńil avtomatlastırıw arqalı yarımótkizgishli diodtıń aktiv qabatınıń qásiyetleri haqqında keń maǵlıwmatlar beredi.

Volt-amperlik xarakteristikaniń tuwrı baǵıttaǵı shaqası izbe-iz qarsılıq haqqında maǵlıwmat beredi, al Shottki diodında bolsa, onda ol metall-yarımótkizgish bareriniń biyikligi hám ótken qabatınıń xarakteristikaları haqqında da bildiredi. Proboy kernewiniń mánisi boyınsha yarımótkizgishli diodtıń aktiv oblastı boylap elektr maydanı hám mayda qáddiler bólistiriliwi haqqında aytıw múmkin.

Tunnellik kerı toktıń bar bolıwı Shottki barerindegi kontaktlı qabattaǵı parametrlerdı anıqlawǵa múmkinshilik beredi. Statikalıq volt-amperlik xarakteristikalardan alınǵan maǵlıwmatlar hám proboydıń anıq konstruksiyasınıń mánisi hám onıń islew rejimi potencial isenimli diodlardıń ajratıp alıwına kepillik beriwdi islep shıǵıwda keń múmkinshilikler beredi.

Yarımótkizgishtiń zonalıq strukturasınıń ayrıqshalıǵı volt-amperlik xarakteristikadaǵı sızıqlı emesliklerdi úyreniw yarımótkizgishtiń zonalıq strukturası hám zaryad tasıwshılardıń tásirindegi qızıw processleri haqqında bahalı maǵlıwmatlar alıwǵa múmkinshilik beredi. Biraq hátte salıstırmalı joqarı maydanlarda volt-amperlik xarakteristikaniń kórsetilgen sızıqlı emeslikleri hálsiz ajıraladı. Bunnan tısqarı, bunday sızıqlı emeslikler parametrleriniń jiyilikli ǵárezlilikleri úlken qızıǵıwshılıq tuwdıradı. Bunday izertlew ushın tiykarınan hár qıylı modulyatsiyalıq metodlar, mısalı ekinshi, úshinshi garmonikanı ólshew, garmonikanıń awısıwı, sinxronlı detektorlaw qollanıladı. Bul metodlardıń hámmesiniń mazmunında volt-amperlik xarakteristikani differenciyalawǵa alıp keldi. Kópshilik jaǵdaylarda yarımótkizgishlerdi izertlewde eksponential uchastkalar parametrlerin anıqlaw zárúr. Bul eksponentanıń kórsetkishine

proporcional bolǵan xarakteristikaları boyınsha modulyaciyalıq differensiyallaw metodı arqalı ańsat ámelge asırıladı.

$$\left(\frac{I'}{I}\right)(U); \left(\frac{I''}{I'}\right)(U) \text{ hám } I(U)$$

Bul izertlewler modulyaciyalıq metodlar járdeminde ámelge asırıladı.

Modulyatsiyalıq differensiyallaw metodı qadaǵan etilgen zonadaǵı qáddilerdi, xarakterlik joǵaltıwlar hám sol boyınsha betlik qatlamdaǵı qosımtalar bolıwın hám yarımótkizgishtiń zonalıq strukturasınıń ayrıqsha táreplerin anıqlawǵa múmkinshilik beredi.

Yarımótkizgishli diodlardıń kishi lokal sızıqlı emesliklerin anıqlawdıń sezgir metodı modulyaciyalıq differensiyallaw bolıp tabıladı. Volt-amperlik xarakteristikada bunday sızıqlı emesliklerdiń bolıwı tok ótiw mexanizmleriniń almasıwı, lokal tok ótiwshi uchastkalarınıń qosılıwı (MP), tok ótiwdiń bir tekliliginiń buzılıwın bildiriwi múmkin. Sonlıqtan volt-amperlik xarakteristikaniń sızıqlı emesliklerin esapqa alıw degradaciya processlerdiń múmkinshilikleri hám tezligi haqqında juwmaq shıǵarıwǵa, yaǵnıy volt-amperlik xarakteristikaniń proboy uchastkasında isleytuǵın diodlardıń isenimligin anıqlawǵa múmkinshilik beredi.

Metod ideyası diod arqalı ótiwshi  $I_{nw}$  tokı garmonikasın diodqa  $U_0$  awısıw kernewi menen birlikte izbe-iz modulycialawshı jarǵı tis tárizli signal berilgende anıqlawdan ibarat. Eger  $U_\infty \ll U_0$  bolsa, onda  $I_0(U_0)$  birinshi garmonika amplitudası  $(dI/du)(U_0)$  birinshi tuwındıǵa proporcional, ekinshi amplitudası  $I_2$  volt-amperlik xarakteristikaniń ekinshi tuwındısına proporsional. Bul tuwındılar modulyatsiyasız ólshengen tuwrı volt-amperlik xarakteristikadan alınıwı da múmkin edi. Biraq kóshkili proboydı úyreniwde bul hár bir mikroplazmanıń qosılıwında joqarıláp baratuǵın shawqımnıń hádden tis joqarı qáddide bolıwı sebepli qıyın másele bolıp tabıladı hám tek ǵana modulyatsiyalıq metod bul máseleni sheshiwge múmkinshilik beredi.

Mikroplazmalıq proboydı modulyatsiyalıq izertlew ushın qollanılauǵın elektrnoliq sxema 2.2.1-súwrette kórsetilgen. Ol izbe-iz tutastırılǵan, barlıǵı birge

signal deregi blogın payda etetuǵın razvertka generatorı ( $U_0(+)-I$ ), turaqlı awısıw deregi  $U_0-2$ , is jiyiliginiń modulyatsiyasınıń generatorı 3 ten turadı  $U_0$  mánisi  $U_v$  proboy kernewine jaqın ornalıwı múmkin hám sońınan mikroplazmalardıń differensial iymekliklerin hám volt-amperlik xarakteristikasını alıw ushın  $U_0$  kishi intervalda tolqınlı túrde jayıladı. Bunda  $\Delta U$  yeki kordinatalı «Samotsisen»-8 diń X koordinatasın basqarıw ushın qollanıladı.

Tok úlgisi jer menen signal dereginiń shıǵıwı arasında ólshenetuǵın úlgidegi kernewde minimal qátelikke iye bolatuǵın 4-operatsion kórsetkish penen ólshenedi. Operatsion kórsetkishtiń shıǵıwı signalı statikalıq volt-amperlik xarakteristikasını dúziw ushın qollanıw múmkin yamasa sinxronlı detektor -5 járdeminde qayta islewden soń differensial gárezlilik dúziw ushın qollanıladı. Birinshi tuwındı ólshenetuǵın jaǵdayda awısıw kernewi jiyilikti kóbeytkishte 6 túrlendirilgen yeki yeselengen jiyiliktegi  $U_2$  signal menen modulyatsiyalanadı  $U_{2\infty}$  eki jaǵdayda da signal sıpatında qollanıladı.

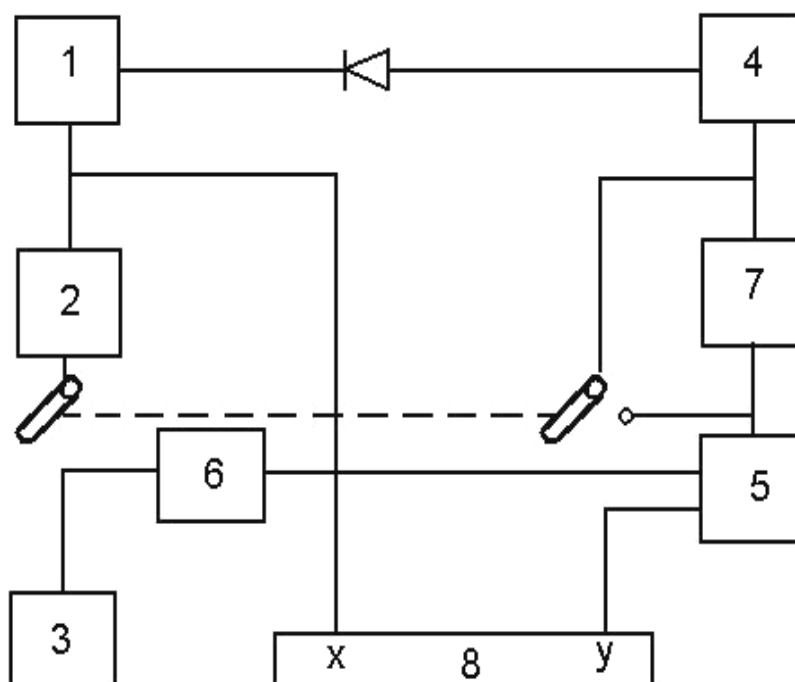
Razvertka kernewi X samopisen kernewine baradı. Kernewdiń kishi modulyatsiyalıq mánisi mikroplazmalıq shawqımnıń statistikalıq qásiyetlerine kúshli tásir yetedi.

Volt-amperlik xarakteristikasınıń yekinshi tuwındısınıń grafigi hár bir jańa mikroplazmanıń qosılıwına sáykes keletuǵın ushqır «pik»lerden turadı. Bul «pik»lerdiń sanın úlgidegi mikroplazmalardıń tolıq jıynaǵı anıqlaydı.  $I_{27}$  shıǵıwı signalı diodtıń mikroplazma menen baylanıspaǵan differensial qarsılıǵı bolıw sebebinen qosımsha jargı tis tárizli signaldan turadı. Bul signal 16 funksiyası bolıp ol mikroplazmalıq «pik»lerdiń ańsat ajratılıǵın bolıwı múmkin.

Solay etip modulyatsiyalıq metod mikroplazmalardıń qosılıwında kernewdi hám olardıń sanın anıqlawǵa hám hár bir bólek mikroplazmaǵa sáykes keletuǵın tok basqıshları hám ótkizgishlilikin anıqlawǵa múmkinshilik beredi. Mikroplazmalıq proboy diodtıń biraz defektli tochkalarında bolatuǵınlıǵı sebepli mikroplazmalar sanı hám proboydıń differensiya iymeklikleriniń ulıwma forması diodtıń jumıs oblastınıń deffektlilikin xarakterleydi. Bul tiykarda biraz qızǵan mikroplazmalardı bólip shıǵarıwǵa, olardıń temperaturasını hám degradatsiya

intensivligin bahalaw múmkin bolǵanlıqtan bul maǵlawmatlardı diod isenimligin hám sapasın boljaw ushın qollanıwǵa boladı.

Tuwındı volt-amperlik xarakteristikalardı anıqlaw metodu diodta proboydıń hár qıylı kernewine iye oblastlardı anıqlawǵa múmkinshilik beredi. Hár bir bunday oblastqa  $d^2I/du^2(U_0)$  ǵárezziligindegi maksimumlar hám  $dI/du(U_0)$  ǵárezziligindegi basqışlar sáykes.



2.1.1-súwret. Mikroplazmalıq proboydı modulyatsiyalıq izertlew ushın qollanılatuǵın elektronlıq sxema

Usı xarakteristikaları boyınsha proboy bir teksizligin jumıs rejimindegi eń qızǵın oblasttıń temperaturasın bahalawǵa boladı hám potensial isenimli yemes bolǵan diodlardı ajratıwǵa múmkinshilik beredi.

## 2.2 Mikroplazmalıq xarakterioqraf hám onıń islew prinsipi

Izertlewlerdiń kórsetiwinshe úlken geometriyalıq ólshemlerdegi Shottki bareriniń volt-amperlik xarakteristikasınıń keri shaqasın tiykarınan mikroplazmalar dep atalıwshı kishi proboy oblastları anıqlaydı. Olar kristallıq pánjeredege defektler menen baylanıslı boladı.

Mikroplazmalar hátte Shottki tosqınında úlken toklardıń ótip ketiwine sebepshi boladı. Sonday-aq uliwma Shottki bareriniń proboylıq kernewinen kóp kishi kernewlerde ayırım mikroplazmalar payda bolıwı múmkin. Shottki proboyınıń proboylıq kernewine jaqınlağan sayın joqarıda aytıp ótilgen mikroplazmalar arqalı belgili bir shamadağı tok ótedi. Bul tok Shottki barerinde qosımtalardıń diffuziyası bolıp ótetuǵın hám sáykes ásbaptıń elektrlik xarakteristikasınıń ózgeriwine alıp keletuǵın temperaturaǵa shekem lokallıq qızıwın payda yetedi.

Shottki bareriniń sapasın xarakterlew ushın birinshi mikroplazmanı payda yetiwshi kernew shamasın,sonday-aq mikroplazmanıń basqa da parametrlerin anıqlaw kerek.

Sońǵı waqıtları mikroplazmalıq qubılıslardı ayırıqsha maqsette qollanıwları baslamaqta:

Nanosekundlı inpuleli jaqtılıq deregi retinde, gamma nurlarınıń detektorı retinde hám taǵı basqalar. Usılarǵa baylanıslı mikroplazma sapaların, porometrlerin anıqlaw óz aldına qızıǵıwshılıq tuwdırmaqta.

Aytıp ótilgen máselelerdi orınlaw ushın mikroplazmalıq xarakterioqraf tiykarına toklardıń pulsatsiyalaniwın hám sekiriwlerin payda yetetuǵın mikroplazma qásiyetleri qoyılǵan. Sonıń nátiyjesinde vol-yemperlik xarakteristikasınıń tikligi ólshenedi. Volt-amperlik xarakteristikadağı ózgerisler korpusqa ornatılǵan yarımózkizgishlerde, yaǵnıy tayar yarım ótkizgishliásbaplarda baqlaw múmkin.

Turaqlı kernewge kishi amplitudadağı jarǵı tis tárizli kernewdi qosa otırıp elektron ossilloqraf ekranında Shottki bareriniń volt-amperlik xarakteristikasınıń keri shaqasınıń úlken bolmaǵan oblastın baqlaw múmkin. Bul usı oblasttı



úlkeytilgen masshtabta kóriwge múmkinshilik beredi hám sonıń menen birgelikte mikroplazmanıń «sekiriw» hám úzilislerin xarakterleytuǵın volt-amperlik xarakteristikasınıń mikrostrukturaların anıqlawǵa múmkinshilik beredi.

Turaqlı kernew shamasın ózgerge otırıp ossillograf ekranında Shottki bareriniń volt-amperlik xarakteristikasınıń kerı shaqasın úlkeytilgen masshtabta bólek-bólek kóriwge boladı. Mikroplazma payda bolıwı menen kelip shıǵatuǵın toktıń sekiriwleri 10-100 mkA shamasında boladı, al mikroplazma arqalı kiritilgen qosımsha qarsılıqtı xarakterleytuǵın volt-amperlik xarakteristikaniń ósiwi 10 kOm shamasında boladı.

Qurılmanıń ápiwayılastırıwına alıp keletuǵın tiykarǵı faktorlar tómendegilerden ibarat:

1. Mikroplazmanıń volt-amperlik xarakteristikası ossilograf ekranında keltirilgen koordinatalıq kósherlerde sozıladı, bul volt-amperlik xarakteristikaniń berilgen uchastkasınıń shamasın bahalawǵa múmkinshilik beredi.

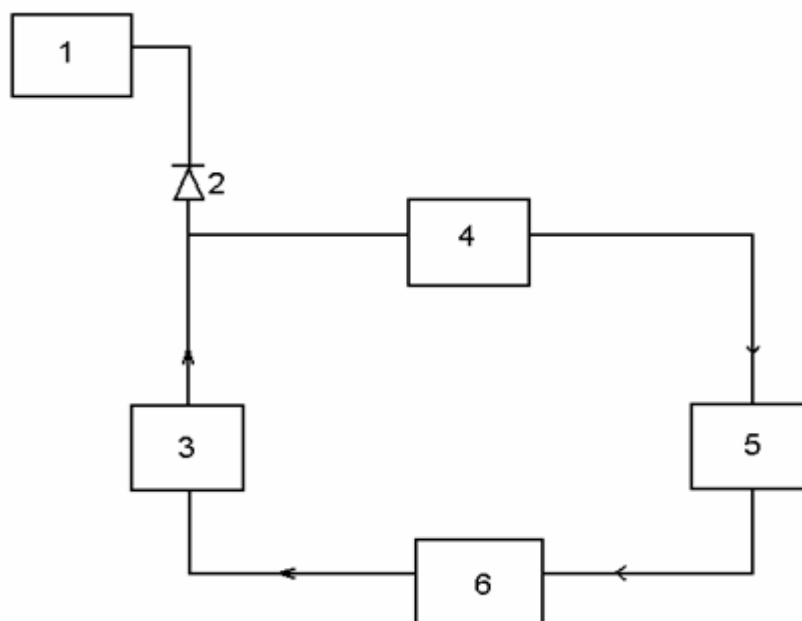
2. Baslanǵısh utechka togınıń volt-amperlik xarakteristikaǵa tásir etiwın konfensaciyalaw múmkinlishigin beredi, sonday-aq aldın tómen kernewlerde payda bolǵan mikroplazma arqalı ótiwshi toktı konfensaciyalawǵa múmkinshilik beredi. Bular Shottki bareriniń basqa mikroplazmalarınıń tásirin esapqa almaǵanda qálegen (tek ǵana birinshi emes) mikroplazmanıń volt-amperlik xarakteristikasını kóriwge múmkinshilik beredi.

3. Mikroplazmanıń volt-amperlik xarakteristikasınıń parametrlerin (mikroplazmanıń proboylıq kernewiniń shamasın, mikroplazmanıń togınıń sekiriw shamasın, mikroplazma qarsılıǵın) izertlewdiń qolaylı ilajları kórilgen. Mikroplazmalıq xakteriograf mikroplazmalardıń jeke xarakteristikaların (differensial qarsılıǵın  $R_c$  jumıs islew rejimindegi mikroplazma arqalı ótetuǵın toktı  $\Delta I$ ) anıqlawǵa múmkinshilik beredi. 1-shi mikroplazmanıń differensial qarsılıǵı volt-amperlik xarakteristikaniń sıziqlı uchastkasınıń iymeyiwi boyınsha anıqlanadı. Eger  $R_{s1}, R_{s2}, \dots, R_{si}$  volt-amperlik xarakteristikasınıń izbe-iz uchastkalarınıń qarsılıqları bolsa, onda sáykes mikroplazmalardıń qarsılıqları tómendegishe boladı.

$$R_{mn} = \frac{R_{si}R_{si}}{(R_{si-l} - R)}$$

Jumis islew rejiminde mikroplazma arqalı ótiwshi toktı volt-ampereklik xarakteristikaniń sáykes uchastkasın jumis islew kernewine ( $U_j$ ) shekem ekstropolyatsiyalaw jolı menen anıqlawǵa boladı.

$$I_{mn} = \frac{U_j - U_{mni}}{R_{mn}}$$



2.2.1 -súwret. Mikroplazmalıq xarakterigraftıń blok sxeması. 1 - turaqlı kernew deregi; 2 - diod; 3-jarǵı tis tárizli tok generatorı; 4-kúsheytkish; 5-amplitudalı jiyilikli xarakteristikani kúsheytkish; 6 – ossillograf.

Mikroplazmalıq xarakterigraftıń blok sxeması 2.2.1-súwrette kórsetilgen. Ol tómendegishe isleydi: turaqlı kernew deregi 1 den diod 2 ge kernew beriledi. Sonday-aq, diodqa jarǵı tis tárizli tok generatorı 3-den jiyiligi jarǵı tis tárizli tok impulsları beriledi. Ol ossillograftıń shıǵıw tochkası menen sinxronlangan boladı. Diodtaǵı kernew shıǵıw qarsılıǵı joqarı bolǵan hám az sıyımlılıqqa iye bolǵan keń polasalı kúsheytkish 4-shi járdeminde kúsheytileđi. Soń usı signal amplitudalı-jiyilikli xarakteristikasını kúsheytetuǵın kúsheytkish 5-de boladı

Usı waqıtta ossillograf 6 ekranında volt-ampereklik xarakteristikaniń uchastkaları súwretlenedi. Waqıt kósheri (abssissa) úlgi arqalı ótetuǵın tochka

sáykes keledi, al ordinata úlgidegi kernewge sáykes keledi. Amplitudalı jiyilikli xarakteristikanıń joqarılawı volt-amperlik xarakteristikaǵa tásir yetpeydi, biraq joqarı jiyilikli kernew qurawshıları bar jerlerde, yaǵnıy mikroplazmalardıń qosılıw orınlarında volt-amperlik xarakteristikada jayılıwlardıń payda bolıwına alıp keledi.

Joqarıda aytıp ótilgen xakteriograf tek ǵana mikroplazma xarakteristikaların ólshep qoymastan mikroplazmalardıń bar yekenligi hám diodlardıń volt-amperlik xarakteristikasını operativ qadaǵalap baradı, al mikroplazmalardıń xarakteristikaları arasındaqı korrelyatsiyanı esapqa ala otırıp úlgilerdiń sapası, isenimliligin hám de probay uchastkasında islewshi, mısalı, lavinli-proletlı diodlardıń uzaq islewshiligin boljap bere aladı.

## **2.3. TEXNIKA QÁWIPSIZLIGI**

### **Texnikalıq qáwipsizlikti saqlaw qaǵıyaları**

#### **1. Sırtqı faktorlardıń tasirinen saqlanıw**

Radiaciya, Lazer, asajoqarı jiyilikli nurlardı shıǵaratuǵın úskeneler menen isleskende tómendegidey qáwipler ushırawı múmkin: Elektr hám jarılıw, órt alıw qáwipleri.

Bulardan elektr tárepinen qáwipi joqarı kernewliklerdegi (Votlı) azıqlandıruw sisteması, lampa nakalivaniya azıqlandıruw shınjırı hám registraciyalawshı fotoelektron kóbeytkishtiń joqarı kernewli shınjırları mısál bola aladı.

#### **Elektr qáwipsizligi**

a. Kúsheytingish hám jaqtırtqısh elektr tarmaqların qoyılǵan shártlerge muwapıq ornalıw.

b. Elektr tokınan jaraqatlanıwdan qorǵanıw zatları menen támiynlew. Qorǵanıw zatların kórsetilgen wakıtlarda sınaqtan ótkeriw.

v. Joqarı jiyilikli (AJJ) generatorları hám úskenelerdiń elektromagnit bólip shıǵarıw quwat aǵımınıń tıǵızlıǵın ólshewdi ótkeriw.

g. Hár bir meyli ol professor oqıtıwshıma, texnik laborantpa yamasa magistrme texnika qáwipsizliginiń talapların biliw boyınsha jılıq attestaciyanan ótkeriw.

d. Oqıw orınları hám onıń bólimlerinde elektr xojalıǵına juwapker adamlardıń bekitilgeni haqqındaǵı buyırıqlardıń bolıwı.

#### **Radiaciya qáwipsizligi**

a. Ionlıq bólip shıǵarıw deregi menen islew waqtında kerekli bolǵan hújjetler dizimi.

b. Radiaciya qáwipsizligi xızmetin dúziw haqqında buyırıq

#### **2. Tájiriybe ótkiziwde qáwipsizliktiń saqlanıwı**

Biz tájiriye ótkizgen úskenerdiń basım kópshiliginde hár qıylı kernewde isleytuǵın elektr úskeneri paydalanıldı. Sonlıqtan birinshi gezekte elektr qáwipsizligin saqlawǵa kereginshe itibar berildi. Barlıq elektr úskeneri sáykes ótkizgishler arqalı jer menen tutastırıladı. Jumıs orınlanatuǵın úskenerler janında edenge rezina yamasa taxtadan jasalǵan tósek tóseldi. Tájiriye belerdi orınlawǵa instruktajdan ótken, al joqarı kernewdegi úskenerlerde islewde arnawlı kurstı oqıp qadaǵalawlardan ótken ruxsatnaması bar qánigelerdiń qatnasıwında jumıs alıp barıldı.

Radiaciya nurı menen isleskende onnan shashırıp shıǵıwı múmkin yamasa izertlep atırǵan obektten shaǵılısıp nur túsiwi múmkin bolǵan orınlar qara materiallar menen tosıldı (jawıp qoyıldı).

### **III. SHOTTKI BARERLI KARBID KREMNIYLI DIODLÍ STRUKTURALARDÍŃ ELEKTROFIZIKALÍQ XARAKTERISTIKALARÍNA SÍRTQÍ TÁSIRLER**

Kremniykarbid ústinde islengen jumislardıń nátiyjesi onıń ekstremal jaǵdaylarda islewshi elektron qurımalardı dúziw ushın keleshekte áhimiyetli ekenligin tastıyıqlaydı. Karbidkremniydiń eń bahalılıǵı jumıs processinde hádden tis joqarı dárejedegi salıstırma quwatlıq ajıralatuǵın, úlken bolmaǵan jumısshı maydanlı mikrotolqınlı ásbaplarda ayqın kórinıwi múmkin. Bul arqalı ilajı barınsha jumıs oblastınıń joqarı temperaturaǵa iye bolıwı hám chiptiń minimal jıllılıq qarsılıǵına iye bolıwı sonday-aq joqarı temperaturanıń (400 – 500°C) uzaq waqıt tásiri bolǵanda kontakt sisteması parametrleriniń ornıqlılıǵına iye bolıw talabı anıqlanadı. Parametrleriń bunday baylanısı generatorlı, smesitelli, detektorlı, kóbeytiriwshi hám óshirip jaǵıwshı diodlar ushın áhimiyetli rol oynaydı.

*SiC* millimetr diapazonınıń (100-300 GHz) qısqa tolqınlı bóleginde quwatlı joqarı effektli kóshkili diodlar jasaw úlken qızıǵıwshılıq oyatadı. Biraq, kóp qatlamlı epitaksial strukturalardıń materialltanıwdaǵı jaǵdayı bul jiyilik diapazonda kóshkili diodlardı ámelge asırıwǵa ele jol qoymadı.

#### **3.1. *SiC* tiykarında islengen priborlardıń elektrofizikalıq xarakteristikaları**

Yarımótkizgishler sanatına qızıǵıwshılıq, 1949 – jılı V. Shokli óziniń kásiplesleri menen birge germaniy (*Ge*) kristallında islengen p-n ótiwdegi tranzistorlıq effektı ashqannan soń payda bola basladı. 50 – jıllardıń 1-yarımında germaniyge qaraǵanda joqarıraq temperaturada islewshi yarımótkizgish materiallar izlenip baslandı. Izertlewshiler kóbirek kremniy hám karbidkremniyge itibar qarattı. Keyingi 10-15 jıllar arasında *SiC* kremniydiń qásiyetlerin izertlewde hám onıń tiykarında yarımótkizgish ásbapların islep shıǵıwda úlken kólemdegi jumıslar ótkerildi. Biraq 70 – jıllardıń basına kelip karbid kremniy sanatına

qızıǵıwshılıq sóndi. Sebebi rawajlanıwda kremniy (Si) hám arsenid galliyli (GaAs) texnologiyası jetiskenlikleri SiC salıstırǵanda júda joqarı edi. Sonda karbid kremniyge “mudamı jasıl yarımótkizgish” dep at berile basladı. SiC qansha patas bolsa, qansha onda azot aralaspası kóp bolsa, ol sonsha jasıl bolıp kórinedi. SiC diń taza kristalları bolsa (qadaǵan etilgen zona keńligi  $>3\text{eV}$  bolǵanlıqtan) móldir boladı. Búgingi kúnde bul at awıspalı mánige iye, sebebi uzaq waqıttan berli belgili bolǵan bul yarımótkizgish, yarımótkizgish ásbaplar islep shıǵarıwda endi-endi óz ornın tawmaқта.

**Tariyxı.** Eń dáslepki SiC kristalları 1886 – jılı ftordı ashqan Genri Muasson (Moissan) tárepinen meteoritlerdi izertlew barısında tabılǵan. 1905 – jılı mineralǵa onı ashqan adam húrmetine – “muassanit” dep at berildi. Sol waqıtları Edvard Acheson SiC di alıwdıń sanaatlı metodın patentledi. Bul metod arqalı ósirilgen kristallardaǵı aralaspası konsentraciyası  $10^{21}\text{sm}^{-3}$  qa jetti, al olardıń ólshemleri –  $10\times 10\times 3$  mm den úlken bolmadı.

Sonda izertlewshiler karbid kremniydiń birdey ximiyalıq tábiyatqa iye, biraq elektrofizikalıq parametrleri menen parqlanatuǵın túrleri bar ekenligin anıqladı. SiC hár qıylı kristall strukturaǵa iye – kublıq ( $3C - SiC$ ), geksoganallıq ( $2H - SiC, 4H - SiC, 6H - SiC$  hám  $nH - SiC$ ), romboedrikalıq ( $15 R, 21 R$  h.t.b) (3.1.1-súwret). Házirde SiC diń 200 ge jaqın kristallıq modifikaciyası málim. Solay etip kremniykarbid politip birikpelerdiń belgili wákillerinen biri. “Politipizm” terminide tiykarınan karborund ushın kiritilgen.

1907 – jılı X.Round SiC kristallınan arqalı tok ótkende onıń nurlanıwın baqlaǵan. 1923-1940 jılları O.V.Losev karbid kremniydiń elektroyuminescenciyasını tereńirek izertlegen. Ol nurlanuwdıń bir túriniń kristalldıń ayrıqsha “aktiv qatlam”ı menen baylanısı bar ekenligin anıqlaǵan. Keyinirek ol bul qatlam elektronlıq ótkizgishlikke iye ekenligin, al kólemi boyınsha geweklik ótkizgishlikke ekenligin kórsetti. Losev sonıń menen birge tuwrılaw hám elektroyuminescenciya arasında baylanıs bar ekenligin anıqladı. Ol jánede kristalldaǵı tok tıǵızlıǵınıń artıwı menen nurlanıw reńi ózgeretuǵınlıǵın baqladı. Solay etip yarımótkizgish elektronikasında eki áhimiyetli bolǵan qubılıs

elektrolyuminescenciya hám  $p-n$  ótiwdiń tuwrılıǵısh qásiyeti birinshi bolıp SiC kristalda anıqlandı. Biraq sol waqıtları radiotexnika sanaatında elektrovakuum ásbaplar keń qollanılatuǵın edi hám bul ashılıwlar sezilmesten qaldı.



a



b



c



d

3.1.1-súwret. Kremniykarbidtiń hár túrli kristallıq struktura politipleri

a) 15 R – SiC b) 6H – SiC c) 3C – SiC d) 4H – SiC

Sonda SiC diń fizikalıq qásiyetleri - qattılıǵı hám termoturǵınlıǵı keń qollanıldı. Karbid kremniydiń qattılıǵı Mossa shkalsı boyınsha 9,2-9,3 ti quraydı. Ol bul parametri boyınsha almaz hám bor nitridten keyin turadı. Karbid kremniyden islengen buyımlar mashinasazlıq, ximiya, neftqazıw, atom hám aviakosmik sanaatında qollanıldı. Elektronikada SiC dáslep konstrukcion material sıpatında qollanıldı. Máselen karbid kremniy tiykarındaǵı keramika quwatlı klistronlarda isletildi. Aqırǵı jılları SiC diń jáne bir qollanıw oblastı anıqlandı. Taza (móldir) SiC kristalları *огранка* da almazǵa uqsas, biraq bahası jaǵınan bir qansha tómen (hátte “karatlı” ólshemlerde). 1995 jıldan baslap SiC dan islengen zergerlik buyımları islep shıǵarıla basladı. Bul buyımlarda da ol muassanit dep ataldı.

50-jıllardıń baslarında karbid kremniyge bolǵan qızıǵıwshılıq arta basladı. Sol jılları Dj.Leli karbid kremniy alıwdıń sublimacion metodın usındı. Bul



metodta monokristall par fazasındağı *SiC* di reaktordıń ıssı oblastınan suwıq oblastına aydaw arqalı ósiriledi. Bul metod arqalı ólshemi bir neshe santimetr bolǵan, strukturası jaqsı jetiliskeń durıs emes altımúyeshlik formadağı politip – birtekli kristallardı alıwǵa erisildi. Karbid kremniy – strukturası tuwrı emes zonalı yarımótkizgish ekenligi anıqlandı yaǵnıy onda nuralnıw rekombinaciyası joqarı emes hám *SiC*-svetodiodlardıń effektivligi (kvant shıǵıwı) tuwrı zonalı yarımótkizgishli ásbaplarǵa salıstırǵanda úsh-tórt tártipke tómen bolıwı kerek.

*SiC* tiń qadaǵan etilgen zona keńligi politipine gárezli bolıp  $3C$  – *SiC* ushın  $2,39 eV$  tan,  $2H$  – *SiC* ushın  $3,3 eV$  qa shekem ózgeredi. Materialdıń kópǵana optikalıq, elektrlik hám basqada parametrleri anıqlanǵan.

*SiC* degi atomlardıń úlken baylanıs energiyası ósiriwdiń joqarı temepraturasına, al ximiyalıq inertligi hám mexanikalıq ornıqlılıǵı – ósirilgen kristalldıń qayta islewiniń qıynlıǵına sebep boladı. Texnologiyalıq jaqtan qıyn bolǵanlıqtan *SiC* - ásbaplardıń parametrleri teoriyalıq jaqtan kútilgeninen uzaǵıraq boldı hám yarımótkizgish sanatatında bul materialǵa qızıǵıwshılıq joǵaldı.

70 – hám 80 – jıllardıń baslarında *SiC* qásiyetlerin úyreniw birneshe izertlewshi gruppalar tárepinen dawam ettirildi. 1970 – jılı Yu.A.Vodakov hám E.I.Moxov *SiC* epitaksial qatlamların ósiriwdiń sublimacion sendvich metodın usındı. Bunda process par dereginiń hám podlojkanıń jaqınlasıwı menen baradı. Bul metod arqalı *SiC* epitaksial qatlamların yáki  $n$  – tip, yáki  $p$  – tip qılıp (*SiC*  $p - n$  jaratıwǵa) basqarıp alıwǵa erisildi. Al 70 – jıllardıń aqırında Yu.M.Tairov hám V.F.Cvetkovlar tárepinen *SiC* kólemlik kristalların ósiriwde Leli metodınıń basqasha túrin usındı. Metod pardiń monokristall podlojkasına kondensaciyalanıwına tiykarlanǵan. Ósiw  $2000^{\circ}C$  qa jaqın temperaturada ótkzildi. Ósirilgen quyma diametri hám onıń politiplik strukturası dáslepki qızıwı menen, al onıń uzınlıǵı – processtıń dawamlılıǵı menen anıqlandı.

Bul texnologiya hám onıń modifikaciyası tiykarında A.F.Ioffe atındağı FTI laboratoriyalarında Yu.A.Vodakova hám V.E.Chelnokova 80 – jıllardıń ortalarında birneshe *SiC* – yarımótkizgishli ásbaplar islendi hám kremniykarbid

Materiallar	Parametrler							
	$E_g, eV$	$E_{kr}, 10^6 V/sm$	$v_s, 10^7 sm/s$	$\lambda, Vt/(sm \cdot K)$	$\mu_p, sm^2/(V \cdot s)$	$\mu_n, sm^2/(V \cdot s)$	$\varepsilon$	$\alpha, 10^{-6} K^{-1}$
Si	1,1	0,3	1	1,5	600	1500	11,8	2,5
GaAs	1,43	0,6	1	0,45	400	8500	13,2	6,2
InP	1,34	0,75	1	0,66	150	5000	12,5	4,75
GaP	2,2	0,5	1,5	0,7	150	250	11,1	5,9
3C – SiC	2,3	> 1,5	2,7	5	40	1000	9,72	4,7
4H – SiC	3,2	3	2	4,9	50	1000	9,7	4,6 <sub>c</sub> /4,2 <sub>a</sub>
6H – SiC	3,06	2,5	2	4,9	100	400	9,7	4,7 <sub>c</sub> /4,3 <sub>a</sub>
GaN	3,45	> 2,5	2,7	1,3	30	1500	9	4,2
Almaz	5,45	10	2,7	22	1600	2200	5,5	0,8
AlN	6,2	1,2 ÷ 1,8	1,4	1,2 ÷ 1,8	14	300	8,5	5,2 <sub>c</sub> /4,1 <sub>a</sub>
InN	1,97	–	3,4	0,45	–	≤ 3200	9,3	2,9 <sub>c</sub> /3,8 <sub>a</sub>

Esletpe:  $\mu_p$  hám  $\mu_n$  – sáykes gewek hám elektronlardıń qozǵalıwshańlıǵı,  $E_g$  – qadaǵan etilgen zona keńligi,  $E_{kr}$  – kritikalıq proboy maydanı,  $v_s$  – toyınıw tezligi,  $\lambda$  – jıllılıqótkizgishlik,  $\alpha$  – sıızılı keńeyiw koefficienti,  $\alpha_c/\alpha_a$  – reshetkanıń c hám a parametrleri ushın  $\alpha$  shaması,  $\varepsilon$  – dielektrik turaqlısı.

elektrofizikalıq qásiyeti boyınsha úlken izertlewler alıp barıldı. Birqansha aralaspa kiritiliwi yáki Si/C qatnastıń ózgeriwi ósiw zonasında ósirilgen epitaksial qatlamnıń podlojka menen salıstırǵanda ózgerisine alıp keliwi anıqlandı.

S.Nishino kremniyli podlojkağa  $3C - SiC$  plenkanı gazotranspotlı epitaksiyalaw (CVD) metodın islep shıqqannan soñ karbid kremniyge yarımótkizgish elektronikasısı ushın perspektiv material sıpatında qızıǵıwshılıq qayta oyandı. Standart texnologiyalıq úskenerdiń hám úlken ólshemdegi padlojkalardıń qollanılıwı alıńǵan nátiyjelerdi kommenrciyalıq buyımlar jaratıw ushın qollanıw imkániyatın jarattı. Bul metod arqalı ósirilgen epitaksial plyonka tiykarında kóp ótpey aq maydanlı tranzistorlardıń birqansha tipleri jaratıldı. Biraq bul ásbaplardıń parametrleri, plyonkalardıń sıpatı joqarı dárejede emes edi. Ádette bunday plyonkalar membrana yáki tenzodatchikler tayarlawda qollanıladı.  $3C - SiC$  (karbid kremniy politiplerinen eń tarzonalısı) maksimal isshi tperaturası boyınsha fosfid galliyden azǵana artıq bolǵanlıqtan, CVD rejimde  $6H - SiC$  podlojkada  $6H - SiC$  plenkasın ósiriw islep shıǵıldı.

Modifikaciyalangán Leli metodınıń (podlojka), keyingi plazmximiyalıq travleniye menen (meza-strukturalardı payda etiw) CVD-epitaksiyalar (epitaksiallıq qatlamlar) hám betlerdi metalizaciyalaw bir qatar SiC-priborlar: spektrdiń kók oblastındaǵı svetodiodlar, UF-diapazondaǵı fotoqabıllaǵıshlar, tuwrılaǵısh diodlar, polyarlı hám bipolyar tranzistorlar, tiristorlar jaratıwǵa imkan jarattı. 1993-jılı AQSh da islep shıǵıldı hám SiC te birinshi integral sxema tayarlandı.

### **SiC diń ústinlik tárepleri**

***Birinshiden,*** Si hám GaAs ke salıstırǵanda qadaǵan etilgen zona keńligi úlken. Bul jumıs tperaturası diapazonı úlken ekenligin bildiredi (teorialıq jaqtan  $\sim 1000^\circ\text{C}$ ). Sonıń menen birge kóriniwshi jaqtılıqtıń barlıq diapazonında nurlandırwshı ásbaplar jasaw múmkinshiligin beredi.

***Ekinshiden,*** kremniy menen salıstırǵanda  $SiC$  úlken tártiptegi proboy maydanǵa iye bolǵanlıqtan, birdey proboy kernewiniń mánisinde  $SiC$  - diodtıń legirleniw dárejesi kremniylige salıstırǵanda eki tártipke joqarı bolıwı múmkin. Óz náwbetinde onıń izbe-iz qarsılıǵı az hám nátiyjede salıstırma quwatlıǵı úlken boladı. Usı sebepten SiC- ásbaplar joqarı radiacialıq ornıqlılıqqa iye boladı.

**Úshinshiden**, jıllılıq jutılıw (теплоотвод) problemasını ánsatlastırılıwshı joqarı jıllılıqótkizgishlikke (polıkristallıq SiC ushın – mıstın jıllılıqótkizgishlik dárejesinde) iye. Onıń bul qásiyeti ruxsat etilgen ishhi temperaturanıń joqarılıǵı hám tasıwshılardıń úlken toyınıw tezligi SiC – ásbaplardı kúshli toklı elektronikada kelesheǵınıń joqarı bolıwına sebep oladı.

**Tórtinshiden**, Berilgen material ushın kristall pánjereniń maksimal jiyilikli serpimli terbelisleri (fononlar) júzege keletuǵın temperaturanı anıqlap beriwshi Debay temperaturasınıń joqarılıǵı. Debay temperaturasını yarımótkizgishniń termikalıq ornıqlılıǵın xarakterlewshi parametr sıpatında qaraw múmkin. Bul temperaturadan asırılǵanda terbelisler serpimli bolmay qaladı hám materialdıń buzılıwına alıp keliwi múmkin.

**Besinshiden**, úlken ólshemdegi menshikli podlojkaǵa iye ekenligi.  $n$  – hám  $p$  – tip ótkiziwsheńliktegi SiC alıw múmkinligi hám menshikli oksidiniń bar ekenligi ( $SiO_2$ ), SiC tiykarındaǵı yarımótkizgish ásbaptıń qálegen tipin tayarlaw imkanın beredi.

Sonıń ushın barlıq áhimiyetli kriteriyaları boyınsha kremniykarrbid klassikalıq yarımótkizgish materiallar – Si hám GaAs ten ústin turadı. (3.1.1-keste)

SiC di basqa keńzonalı materiallar menen salıstırıp kóreyik. Parametrleri boyınsha, birinshiden nurlanıwshı rekombinaciya dárejesi boyınsha SiC gallinitrid (GaN) hám alyuminiy nitridten (AlN) aldın turadı. Biraq GaN ushın menshikli podlojka ele joq, al AlN menshikli podlojkaları az hám qımbat. Bul materiallardıń epitaksial plenkaları basqa material (SiC, sapfir) padlojkalarına geteroepitaksiya metodu menen ósiriledi. Bunıń nátiyjesinde plenka dislokaciya tıǵızlıǵı júdá joqarı boladı ( $> 10^7 \text{ sm}^{-2}$ ). GaN tegi dislokaciya ósiwshi qatlam tegisligine perpendikulyar jaylasqan. Ósirilgen qatlam tesik-tesik (ячеистый) strukturaǵa iye, bul  $p - n$  struktura utechka tokınıń artıwına hám waqıt ótiwi menen olardıń degredaciyasına alıp keledi. Bulardıń barlıǵı joqarıkernewli GaN – ásbaplardıń jasalıwın qıyınlastıradı. Basqada elektrofizikalıq parametrleri (zaryad tasıwshılar toyınıw tezligi, proboy maydanı,

qozgaliwshańlıq) boyınshada kremniykarbidke salıstırǵanda sezilerli ústinlikke iye emes. Basqa keń zonalı yarımótkizgishli materiallardıń tómen jıllılıq ótkizgishlik hám Debay temperaturasınıń kishiligi unipolyar ásbaplardıń maksimal tarqalıw quwatlılıǵınıń tómenlewine alıq keledi. Sonlıqtan *GaN* hám basqada *AIII – N* gruppası elementleri menen salıstırǵanda *SiC* quwatlı ásbaplar jaratıwda perspektiv material esaplanadı[1].

### 3.2. Joqarı temperaturalı elektronika ushın yarımótkizgish materiallar.

Menshikli yarımótkizgishte erkin zaryad tasıwshılardıń konsentraciyası  $n_i$  eki tiykarǵı parametr – qadaǵan etilen zona keńligi  $E_g$  hám temperatura  $T$  menen anıqlanadı. Erkin zaryad tasıwshılar konsentraciyasın tómendegi qatnastan anıqlaw múmkin:

$$n_0 = p_0 = n_i = \sqrt{N_C N_V} e^{-\frac{E_g}{2kT}}$$

$N_C, N_V$  – ótkizgishlik zonasındaǵı, velent zonadaǵı hallardıń effektiv tıǵızlıǵı. Bul qatnastan kórinedi, qadaǵan etilgen zona keńligi qansha úlken bolsa, birdey temperaturalarda erkin zaryad tasıwshılar menshikli konsentraciyası sonsha az boladı. 3.2.1-kestede perspektiv yarımótkizgish materiallardıń qadaǵan etilgen zona keńligi hám erkin zaryad tasıwshılar menshikli konsentraciyası keltirilgen.

3.2.1-keste

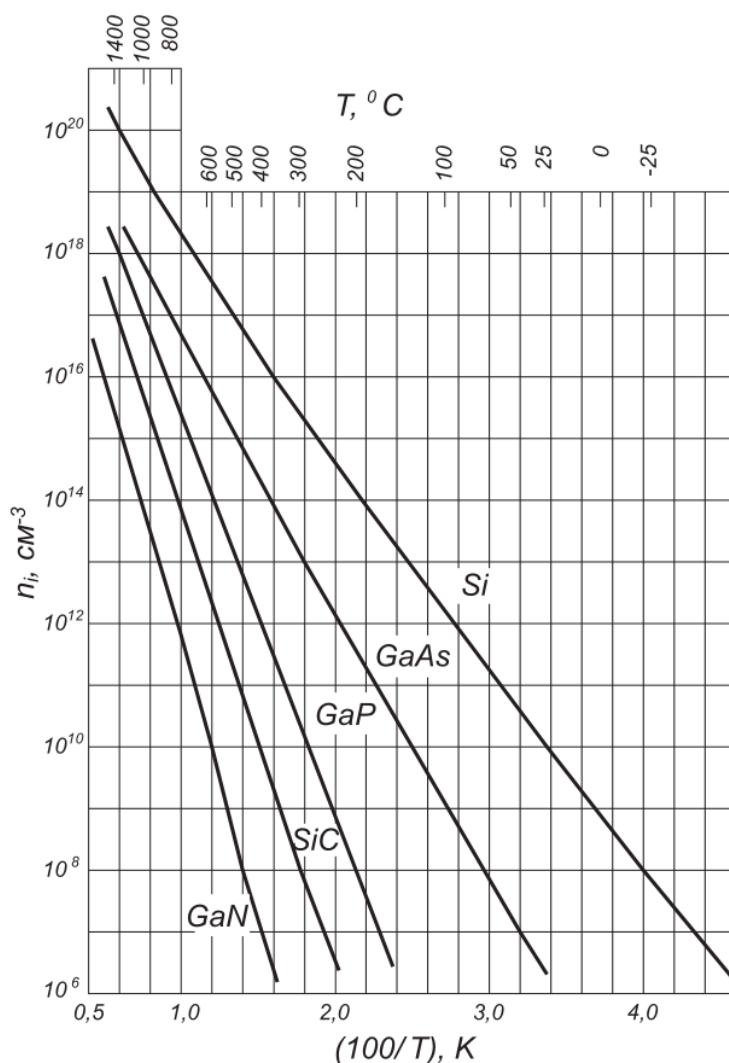
Material	Si	GaAs	GaP	SiC(4H)	GaN
$E_g, eV$	1,1	1,4	2,8	3,0	3,4
$n_i, sm^{-3}$	$1,6 \cdot 10^6$	$1,1 \cdot 10^7$	$1,2 \cdot 10$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$9,2 \cdot 10^{-10}$
$T_{sh}, ^\circ C$	270	470	620	900	1300

3.2.1-súwrette keń zonalı yarımótkizgishler-kremniy, galliyarsenid, galliyfosfid, kremniykarbid galliynitrid ushın erkin zaryad tasıwshılar menshikli konsentraciyasınıń temperaturadan gárezziligi kórsetilgen. Qadaǵan etilgen zona keńliginiń 1,1 eV tan (kremniy ushın) 3,4 eV qa shekem (galliynitrid ushın) ózgeriwinde erkin zaryad tasıwshılar menshikli konsentraciyası  $n_i$  komnata temperaturası  $T = 300 K$  de mánisi  $10^{10} sm^{-3}$  tan  $10^{-10} sm^{-3}$  qa shekem ózgeredi.

Temperatura  $T$  nıń artıwı menen erkin zaryad tasıwshılar menshikli konsentraciyası  $n_i$  artadı. Menshikli konsentraciyanıń mánisi  $n_i$  legirlewshi konsentraciya  $N_D$  menen anıqlanıwshı tiykarǵı tok tasıwshılardıń konsentraciyasına teńlesetuǵın  $T_{sh}$  nı yaǵnıw yarımótkizgishtiń ásbaplarda islewi múmkin bolǵan temperaturalıq shegarasın anıqlayıq.  $E_g$  hám  $N_{C,V}$  temperaturadan

ǵárezli ekenligi belgili. Shegaralıq temperaturanı anıqlaw ushın bul fakttı itibarǵa almaymız. Eger  $n_0 = N_D$  ekenligin esapqa alsaq

$$T_{sh} = \frac{E_g}{2k} \cdot \frac{1}{\ln\left(\frac{\sqrt{N_C N_V}}{N_D}\right)} \quad (3.2.1)$$

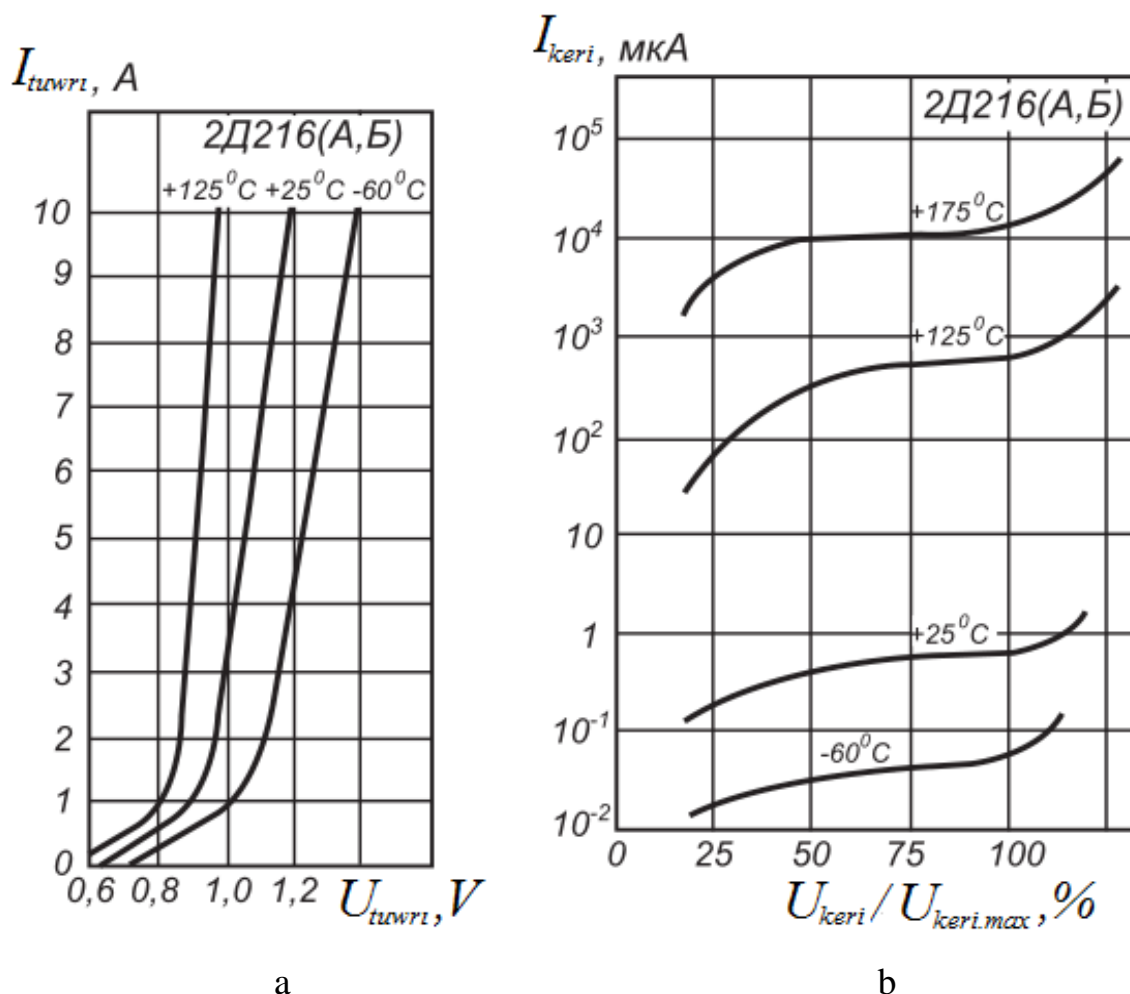


3.2.1-súwret. Keń tarqalǵan yarımótkizgishler – kremniy, germaniy, galliyarsenid hám gallifosfid ushın tiykarǵı zaryad tasıwshılar konsentraciyasınıń temperaturadan ǵárezliligi.

teńlikti alamız. Legirlewshi konsentraciyanıń mánisi ushın standart shamalı alamız  $N_D = 10^{15} \text{sm}^{-3}$ .

(3.2.1) qatnastan anıqlanǵan shegaralıq temperaturanıń mánisi kremniy ushın  $270^{\circ}\text{C}$ , galliynitrid ushın  $1300^{\circ}\text{C}$  qa teń. 3.2.1-kestede hár qıylı yarımótkizgish ushın (3.2.1) qatnastan esaplangan shegaralıq temperaturanıń mánisi keltirilgen.

Joqarıda táriplengen kriteriyalar fizikalıq sheklewler menen baylanıslı joqarǵı temeraturalıq shegara bolıp tabıladı. yarımótkizgish ásbaplarında elektron-gewekli ótiw qollanılganda sheklew sıpatında  $p-n$  ótiwdiń kerı tokı shıǵadı.



3.2.2-súwret. Kremniyli diodtıń hár qıylı temperaturada volt-ampere xarakteristikası. a) tuwrı jalǵaw b) kerı jalǵaw

Diod tokınıń kerı ótiwi tiykarǵı emes zaryad tasıwshılardıń dreyflik komponentası menen baylanıslı. Simmetriyalıq emes  $p-n^+$  ótiw ushın ( $N_A \ll N_D$ )  $n$ -oblastqa qaraǵanda ( $n_{p0} \gg p_{n0}$ ) tiykarǵı emes zaryad tasıwshılardıń konsentraciyası sezileri dárejede joqarı.  $p-n$  ótiwde kerı tok bul jaǵdayda tiykarǵı emes tok tasıwshılar konsentraciyası  $n_{p0}$  menen anıqlanıwshı dreyflik elektron komponentası menen baylanıslı. Tiykarǵı emes tok tasıwshılardıń konsentaciyası shaması  $n_{p0} = \frac{n_i^2}{n_{n0}} \sim e^{-\frac{E_g}{kT}}$ , demek  $n_i = \sqrt{N_C N_V} e^{-\frac{E_g}{2kT}}$ .  $p-n$  ótiwdiń kerı tokı bul jaǵdayda temeraturadan kúshli gárezli bolıp, eksponencial xarakterge iye  $I_0 \approx$



$const \cdot e^{-\frac{E_g}{kT}}$ . Real jaǵdayda toktıń ǵárezziligine diffuzion uzınlıq  $L_n$  hám jasaw waqtı  $\tau_n$  niń temperaturadan ǵárezziligi de tásir etedi.

*p-n* ótiwdiń tuwrı tokı ushın toktıń temperaturaǵa ǵárezziligi júda kúshsiz.

3.2.2-súwrette kremniyli diod ushın tuwrı hám kerı toktıń temperaturadan ǵárezziligi keltirilgen. Súwretten kórinedi  $T = 175^\circ\text{C}$  temperaturada xarakteristikalar qanaatlandırarlı, biraq  $T = 200^\circ\text{C}$  temperaturada kremniyli diodtıń kerı toki tuwrı tok penen teńlesedi.

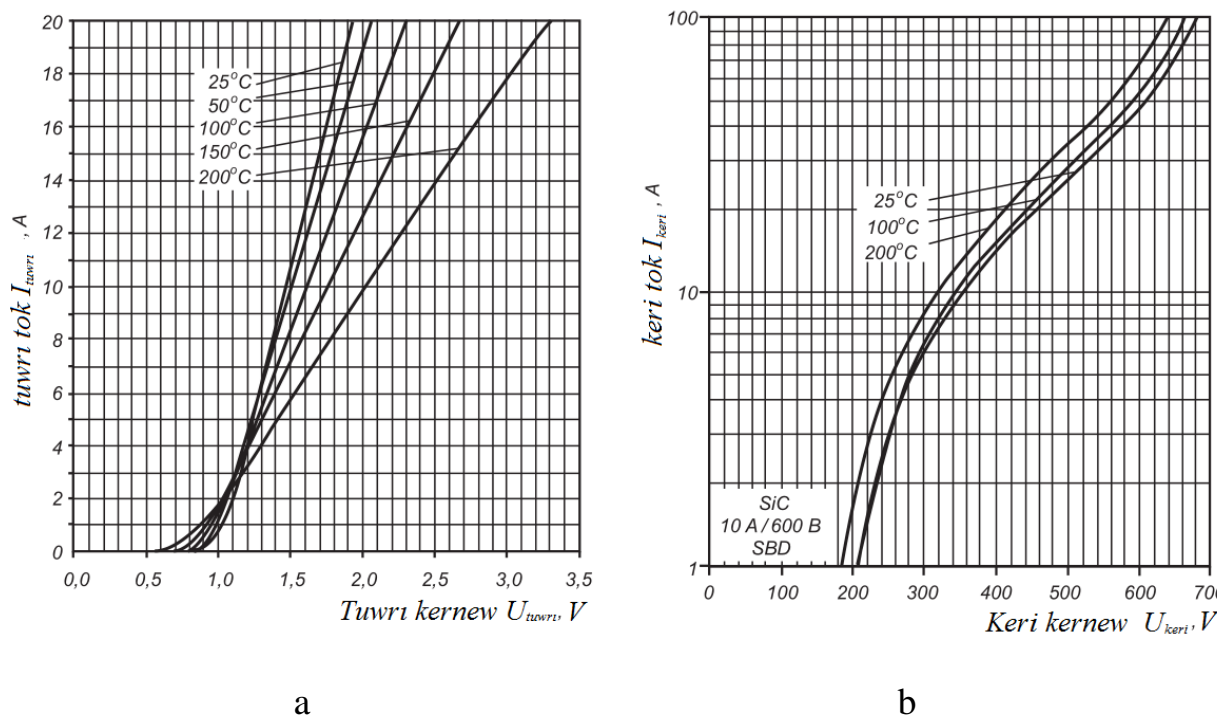
Qattı deneli elektronika ásbaplarınıń jumısshı temperaturasın shekleytuǵın basqa parametrleri: materialdıń termodinamikalıq xarakteristikaları hám usı qurılmadan jumısh waqtında ajıralıp shıǵatuǵın djoul quwatlılıǵınıń otvod shárti bolıp esaplanadı. Temperatura  $T$  niń ósiwi menen elektron-gewek ótiwde payda bolatuǵın akceptorlıq hám donorlıq kiritpelerdiń diffuziya koefficienti artadı.  $T = 800^\circ\text{C}$  temperaturada yarımótkizgishitiń *p*- hám *n*-oblastında yarımótkizgish ásbaplarıń bekkemlik hám islew múddetin shekleytuǵın kiritpelerdiń ózara diffuziyası baslanadı. Biraq bunıń menen jıllılıq otvodı bolatuǵın maydan kishireyedi hám mıslı jıllılıqotvodlarınıń ornına almazlını isletiw zárúr boladı. Soǵan qaramastan, joqarıtemperaturalı elektronika ushın kremniykarbid hám galliynitrid, jánede olar tiykarındaǵı geterostrukturalar tipindegi keńzonalı yarımótkizgishler perspektivalı esaplanadı.

SiC tiykarındaǵı qattı deneli ásbaplar. Kremniykarbid – qadaǵan etilgen zona keńligi úlken (modifikaciyasına baylanıslı túrde 2,8-3,1 eV qa shekem ózgeredi) bolǵan binarlı yarımótkizgishli birikpe. Kremniykarbid modifikaciyası 170 in óz ishine aladı, biraq olardan 4H-SiC hám 6H-SiC ekewi yarımótkizgish ásbaplar islep shıǵarıwda qollanıladı. Kremniykarbid qattı zatlar ishinde almazdan keyin úshinshi esaplanadı. Material 1400 °C temperaturaǵa shekem oksidleniwge shıdamlı. Komnata temperaturasında SiC heshqanday kislota menen tásirlespeydi. Bul qásiyeti onıń tiykarındaǵı qattı deneli elektronikada ásbaplar jasawda texnologiyalıq jaqtan qıyınlasıwına alıp keledi.

Kremniykarbid tiykarındaǵı ásbaplar 600°C qa shekemgi joqarı temperaturalarda isley aladı, temperatura hám waqıttıń tásirinde elektrlik xarakteristikaları ornıqlı boladı. SiC jıllılıq ótkizishligi Si ge qaraǵanda 3 márte kóp, GaAs ke salıstırǵanda 10 márte kóp, radiaciya tásirine shıdamlı. Bul sıpatlar qattı deneli elektronika ushın bul materialdıń perspektivasın anıqlaydı.

Házirgi kúnde kremniykarbid tiykarında joqarıvıltlı quwatlı Shottki diodlar, quwatlı joqarı jiyilikli hám asajoqarı jiyilikli tranzistorlar hám joqarı svetodiodlar (повышенной светоотдачи) islep shıǵarılmaqta. Bul ásbaplardıń barlıǵı ekstremal temperaturalarda xarakteristikaları ornıqlı boladı.

3.2.3-súwrette hár qıylı temperaturada 4H-SiC kremniykarbid tiykarındaǵı quwatlı Shottki diodları ushın tipik volt-amper xarakteristika kórsetilgen. Shottki diodı ushın tuwrı tok 10 A hám keri kernew 600 V boldı.

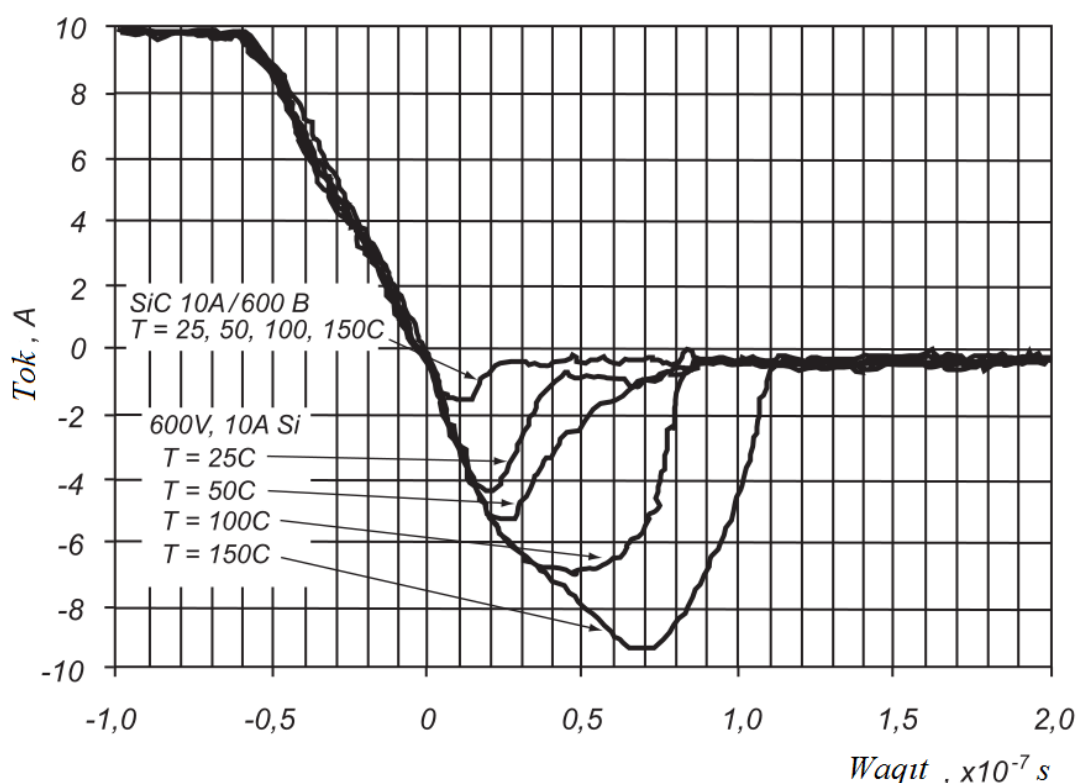


3.2.3-súwret Hár qıylı temperaturada kremniykarbid tiykarındaǵı Shottki diodlarınıń volt-amper xarakteristikası. a) tuwrı jalǵaw b) keri jalǵaw

Komnata temperaturasında diod tuwrı tokı 10 A bolǵanda kernew 1,5 V boldı. Temperaturanıń artıwı menen tuwrı kernew mánisne tok kemeyedi. Bul temperatura artıwı menen elektronlardıń qozǵalıwshańlıǵı azayıwı menen

baylanıslı. 200 °C temperaturada diod tokı 10 A bolǵanda kernew túsiwi 2,0 V boldı. Tuwrı toktıń teris temperaturalıq koefficienti diodlardı parallel jalǵaw imknın beredi, bunda toktıń tegis emes bólistiriliwi payda bolmaydı.

Kremniykarbid tiykarındaǵı Shottki diodlarınıń volt-amper xarakteristikası kerı tarmaqları temperaturaǵa kúshsiz baylanısqan. 600 V kernewde komnata temperaturasında kerı tok 50 mkA ge teń, al temperatura 200°C qa shekem kóterilgende tok 70 mkA ge ǵana kóteriledi. Shottki diodlarınıń bunday xarakteristikası 275°C temperaturaǵa shekem saqlanadı.



3.2.4-súwret hár qıylı temperaturada kremniykarbid tiykarındaǵı hám kremniyli pin-diodlardıń dinamikalıq volt-amper xarakteristikası.

Kremniykarbid tiykarındaǵı Shottki diodlarınıń dinamikalıq xarakteristikasında temperaturaǵa kúshsiz baylanısqan. 3.2.4-súwrette hár qıylı temperaturalarda kremniykarbid tiykarındaǵı Shottki diodı hám kremniyli pin-diodtıń salıstırıw ushın dinamikalıq volt-amper xarakteristikası keltirilgen. Kremniykarbid tiykarındaǵı Shottki diodı, tiykarǵı zaryad tasıwshı tok ótkiziwshi diod sıpatında maksvellik relaksaciya waqtında tiklenedi. Shottki diodtıń

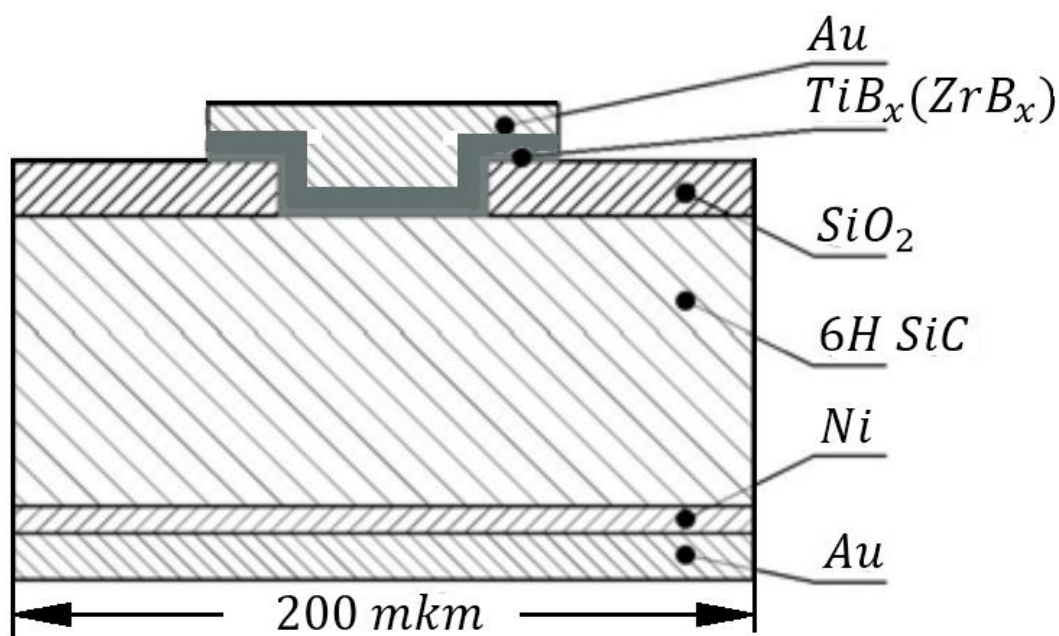
úziliwinde toktıń keri komponentasında tiykarǵı emes zaryad tasıwshılar tokı bolmaydı, tek metall- yarımótkizgish ótiwinde barer sıyımlılıqtıń qayta zaryadlanıwı ushın zárúr bolǵan hám temperaturaǵa baylanıslı bolmaǵan kishi jıljıw tokı boladı.

Kremniyli pin-diod ushın temperaturanıń ósiwi menen óshiwdegi tok sezilerli artadı hám 150°C temperaturada tuwrı toktıń mánisi menen teńlesedi.

Galliynitrid *GaN* kremniykarbid SiC ge salıstırǵanda onnanda úlken qadaǵan etilgen zonaǵa iye. Sonıń ushın GaN tiykarında tayarlangan qattıdeneli qurılımalardıń joqarı jumısshı temperaturaǵa iye ekenligi bul materialdıń ústinlik tárepi bolıp tabıladı. Kremniykarbid tiykarında tayarlangan ásbaplardıńda ústinlik tárepi sonda[4].

### 3.3. $Au - TiB_x - n - SiC$ 6H Shottki diodlarının VAX sına mikrotolqınlı nurlardıń tásiri

Keyingi jılları kremniy karbid strukturasını alıw texnologiyası qıyın bolıwına qaramastan usı material tiykarında tayarlangan yarımótkizgishli ásbaplardı izertlewge bolǵan qızıǵıwshılıq ádewir ósti. Bunıń sebebi karbid kremniy yarımótkizgishiniń ájayıp qásiyeti bolıp tabıladı. Karbid kremniy tiykarındaǵı diodlı strukturalardıń ajırılıp turatuǵın ózgesheligi olardıń joqarı termik hám radiaciyalıq ornıqlılıǵı. Termoqayta islew tásiri hám olardıń joqarı energetikalıq ionlandırıwshı radiaciya tásirinde kelip shıǵatuǵın effektler jaqsı úyrenildi hám tiyisli kremniy karbidli ásbaplardıń texnologiyasında esapqa alındı. Biraq, az dozadaǵı radiaciyalıq tásirden keyingi kremniy karbid ásbaplı strukturalardıń radiaciyalıq effektleri tómen úyrenildi. Si hám GaAs texnologiyasında tómen dozadaǵı radiaciyalıq qayta islew metodları ótken ásirdeń 80-jıllarında qollanılǵan. Bir qatar avtorlar az dozadaǵı tásir sıpatında óziniń effekti boyınsha tómen dozadaǵı ionlastırıwshı qayta islewge ( $\gamma$  – radiaciya, tez elektronlar) uqsas mikrotolqınlı qayta islewdi qolladı.



$TiB_x(ZrB_x) - n - SiC$  6H Shootki barerli diodlı strukturaniń ápiwayı kórinisi[36]

Sol waqıtları kremniy karbid ásbaplardıń strukturasına mikrotolqınlı nurlanıw tásirini boyınsha jumıslar bar edi, biraq bunday jumıslar Shottki barerli diodlar ushın azshılıq edi. Al olardı asa joqarı jiyilikli (AJJ) elektronikadağı aktiv elementler sıpatında paydalanıw ayrıqsha qızıǵıwshılıq oyatadı.

Diodlı strukturalar Leli metodu menen ósirilgen n tipli (6H politip) massiv monokristall kremniy karbidte tayarlandı.

Qatlam qalınlıǵı  $TiB_x$  ushın 80 nm,  $Au$  – 100 nm. Diodlı strukturaniń diametri  $\sim 200$  mkm.

Nurlanıw rejimi bos keńislikte tolqın shıǵıwınan nurlanıwshı úlgige deyin ózgermes aralıqta ámelge asırıldı. Nurlanıw jiyiligi 2,45 GHz, salıstırmalı quwatlılıq  $\sim 1,5$   $Vt/sm^2$ . Mikrotolqınlı tásiriniń intensivligi ekspoziciya waqtınıń ózgeriwi menen túrlendirildi. Úlginiń berilgen tipte hám qayta islew dawamında qızıw temperaturası xana temperaturasınan artpadı. Mikrotolqınlı qayta islew waqtında kontaktlerdiń qızıwın baqlap bardıq.

$TiB_2$  –  $Au$  metalizaciya skin qatlamı  $\delta$  qalınlıǵı:

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \mu_0 \sigma}}$$

bul jerde  $f = 2,45$  GGts jiyilik

$\mu$  – metalizaciyanıń magnit sińirgishligi

$\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-8} Gn/sm = 1,26 \cdot 10^{-8} V \cdot s/(A \cdot sm)$  – magnit turaqlısı

$\sigma \approx 5 \cdot 10^7 Om^{-1} sm^{-1}$  – metallizaciya ótkizgishligi

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{3,14 \cdot 2,45 \cdot 10^9 \cdot 1,26 \cdot 10^{-8} \cdot 5 \cdot 10^7}} \approx 0,14 mkm$$

Biziń jaǵdayımızda metallizaciyanıń ulıwma qalınlıǵı 0,18 mkm. Aytayıq, AJJ quwatlılıq  $\underline{P}$  maydanı  $\approx 3 \cdot 10^{-4} sm^2$  (diametr  $\sim 200$  mkm) Shottki diodınıń metalizaciya qatlamında jutıladı.

$$\underline{P} = P \cdot S = 1,5 Vt/sm^2 \cdot 3 \cdot 10^{-4} sm^2 \approx 4,5 \cdot 10^{-4} Vt$$

Qızıw temperaturası tómendegishe anıqlanadı

$$\Delta T = R_T \cdot P$$

Bul jerde  $R_T$  – diametri 200 mkm  $SiC$  qalınlıǵınıń jıllılıq qarsılıǵı

$$R_T = \frac{1}{2d\aleph}$$

bul jerde  $d$  – diodlı strukturaniń diametri  $\aleph$  – SiC tiń jıllılıq ótkiziwsheńlik koefficienti (taza SiC ushin  $\aleph=4,9$  Vt/sm·grad, legirlengenı ushin  $\aleph=3$  Vt/sm·grad)

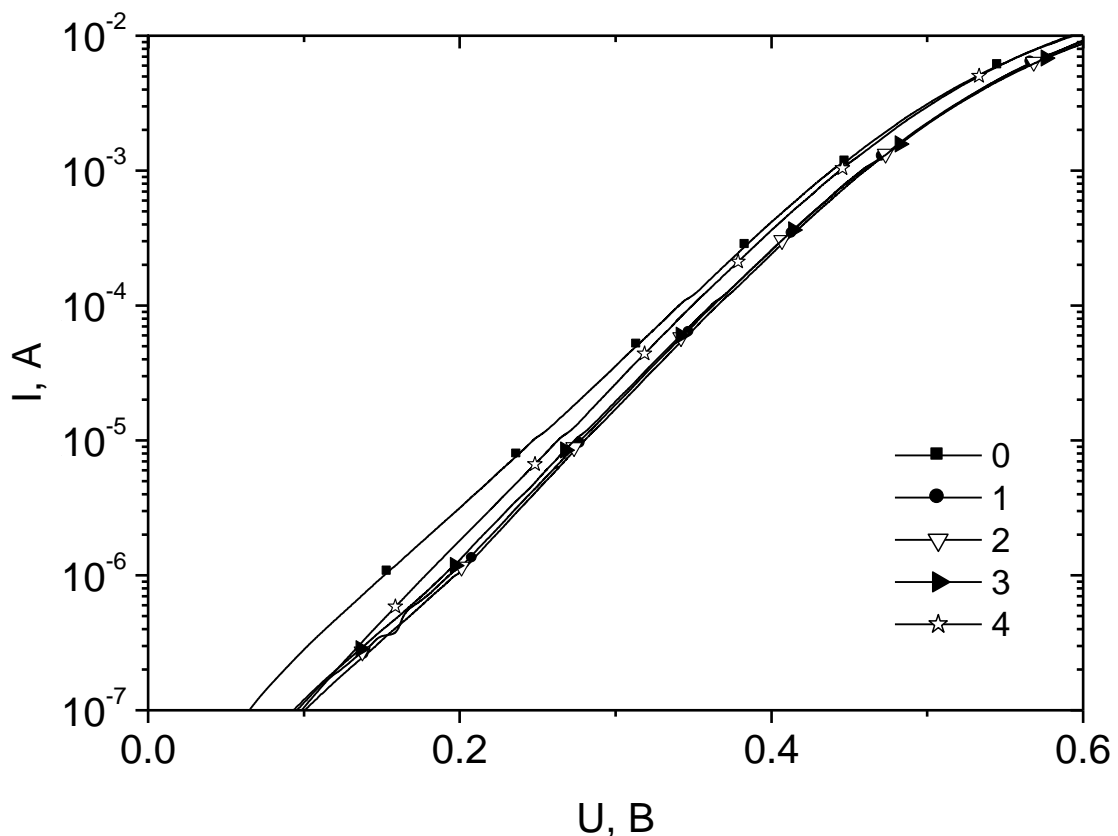
$$R_T = \frac{1}{2 \cdot 200 \cdot 10^{-4} \text{sm} \cdot 3 \text{Vt} \cdot \text{sm}^{-1} \text{grad}^{-1}} \approx 8 \text{grad/Vt}$$

bunı  $\Delta T$  nı tapsaq:

$$\Delta T = 8 \text{grad/Vt} \cdot 4,5 \cdot 10^{-4} \text{Vt} \approx 3,6 \cdot 10^{-3} \text{grad}$$

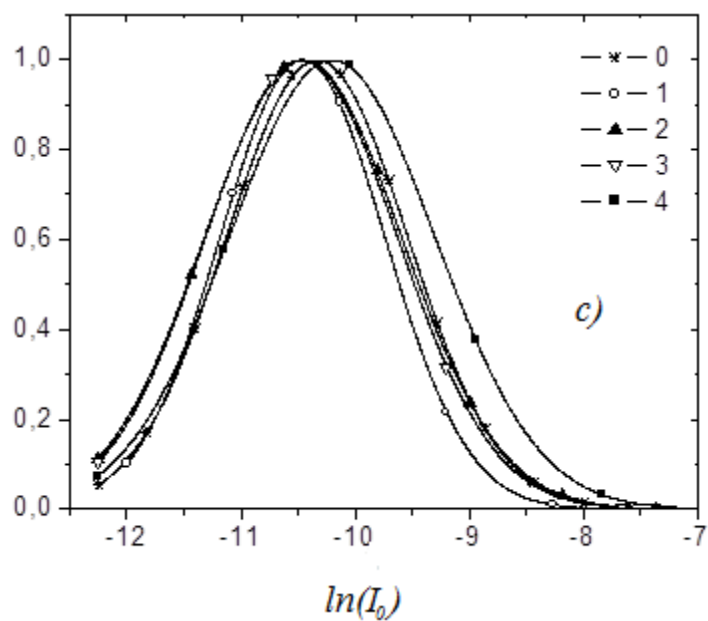
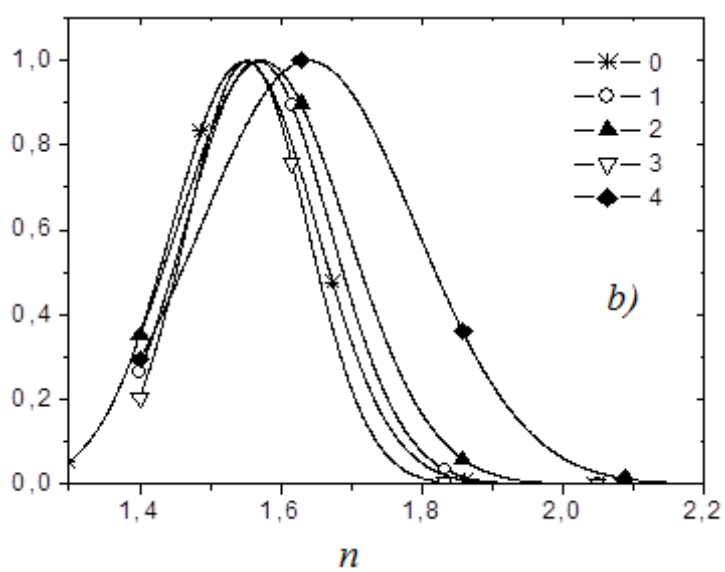
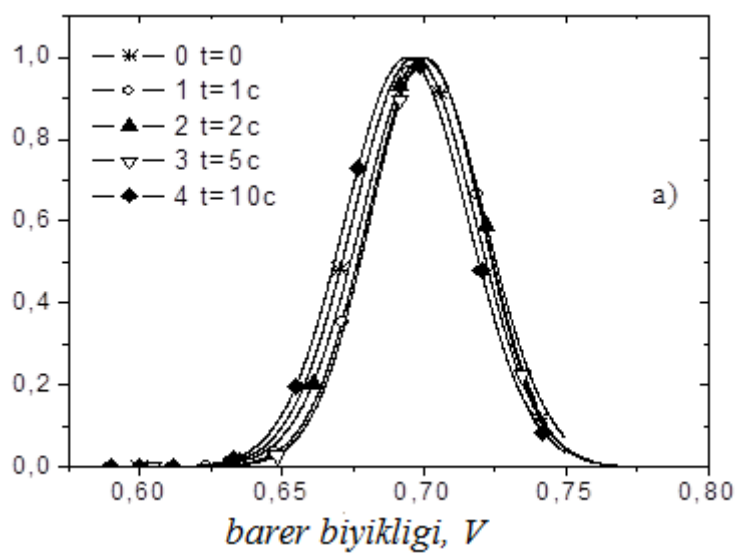
qa teń boladı, yaǵnıy qızıw júda kishi.

AJJ nurlanıwdan aldın hám keyin diodlı strukturaniń VAX s1 ólshendi. Onnan barer biyikligi  $\varphi_B$  hám ideallıq faktorı  $n$  tabıldı.



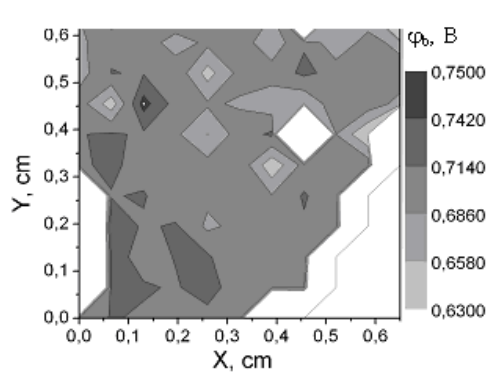
3.3.1-súwret. AJJ nurlanıwdıń hár qıylı waqtında Shottki barerli diodlardıń volt-amper xarakteristikaları: 0-dáslepki úlgi, 1-4 sáykes túrde 1,2,5 hám 10 s waqt dawaóımdaǵı AJJ nurlanıwdan keyingi

3.3.1-súwrette AJJ nurlanıwdan aldınǵı hám keyingi Shottki diodtıń VAX sınıń tuwrı tarmaqları kórsetilgen. VAX

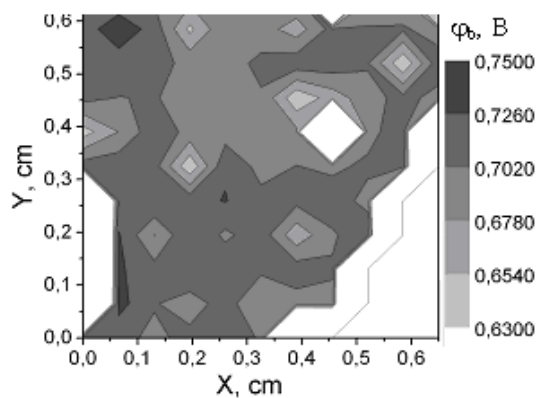


3.3.2-súwret. AJJ nurlanıwdan aldın hám keyin Au – TiB<sub>x</sub> – SiC 6H diodlı struktura barer biyikligi (a), idealıq faktoru (b) hám toyınıw tokı (c) nıń bólistiriliw gistogramması.

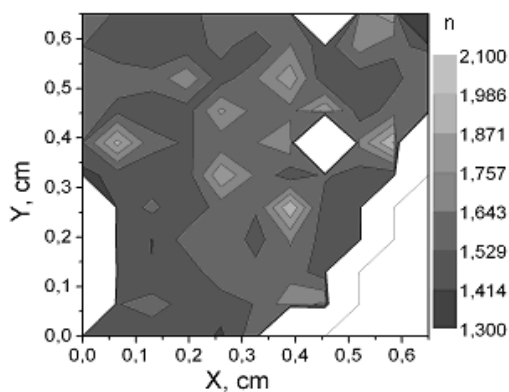




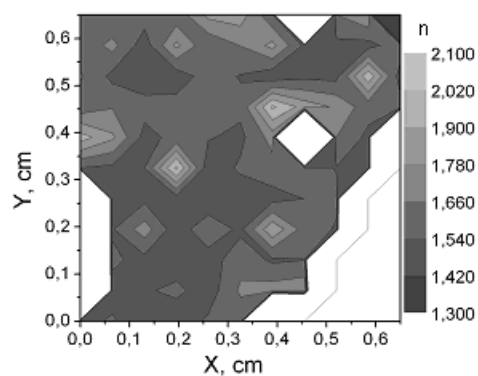
a



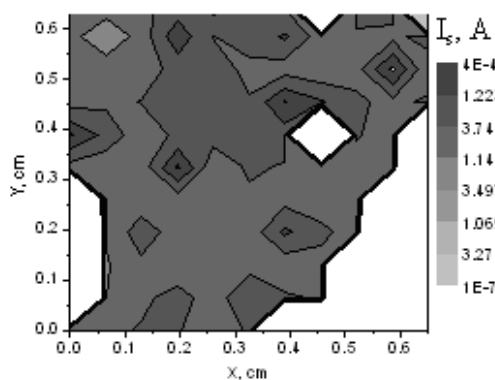
b



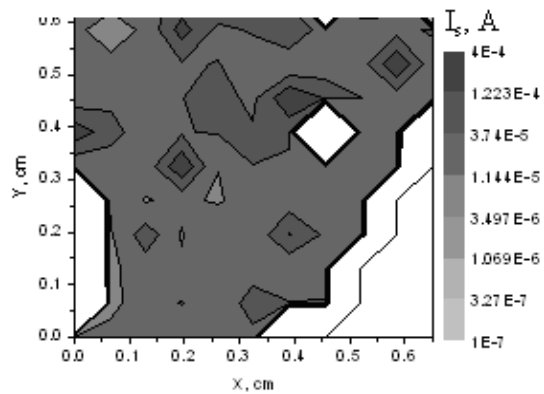
c



d



e



f

3.3.3-súwret. Hár qıylı nurlanıw waqtında diodlı struktura plastına maydanı boyınsha a, b-barer biyikliginiń, c, d-idealıq faktorınıń, e, f-toyınw tokınıń bólistiriliwi

$$I = I_0 \exp\left(\frac{eU}{nkT} - 1\right)$$

$$I_0 = AST^2 \exp\left(-\frac{e\phi_B}{kT}\right)$$

baylanısta ekenligi kórinedi. Bul teńlemelerden esaplangan, mikrotolqınlı qayta islewden aldınǵı hám keyingi barer biyikligi  $\varphi_B$  hám ideallıq faktori  $n$  3.3.2-súwrette kórsetilgen.

Hár qanday saylap alıw  $3,14 \cdot 10^{-4} \text{ sm}^2$  jumıs maydanlı 100 mikrodiodtan quralǵan. 3.3.2-a súwrette kórsetilgenindey 5 s qa shekemgi mikrotolqınlı qayta islew waqtında  $\varphi_B$  nıń eń úlken itimallı shaması baqlaw shamasına salıstırǵanda ósip atır. 3.3.2-b súwretke muwapıq diodlı strukturadaǵı ideallıq faktori  $n$ , 5 sekundqa shekemgi nurlanıwda óziniń mánisin ózgertpeydi, biraq Gauss iymekliginiń yarım keńligi kemeyedi. Bul elede bir tekli bólistiriliwden derek beredi. Ideallıq faktori qayta islew waqtı 10 s qa deyin arttırǵanda sezilerli dárejede artadı.

Toyınıw tokı (3.3.2-súwret) 5 s qa deyin nurlandıırıwda kishireyedi, bul Shottki diodları parametrleriniń jaqsılanıp atırǵanan derek beredi.

3-a-f súwrette mikrotolqınlı qayta islewden aldınǵı hám keyingi barer biyikliginiń, ideallıq faktorınıń hám toyınıw tokınıń plastına maydanı boylap bólistiriliwi kórsetilgen. 3-a,b súwretten 5 s waqtılı AJJ nurlanıw ushın barer biyikliginiń artıwına sáykes keliwshi qarańǵıraq oblastlardıń artıwı kórinedi. Keyingi AJJ qayta islew ashıq tonlardıń kóbeyiwınw alıp keledi, yaǵnıy barer biyikliginiń tómenleniwine. 3-c,d dan kórinedi qarańǵı ashıq oblastlarınıń maydalarınıń qatnası ózgerissiz qaladı. Bul fakt 5 s aralığında AJJ qayta islewden soń ideallıq faktorınıń ózgermeytuǵınlığı haqqında derek beredi.

Joqarıda berilgen maǵlıwmatlar Shottki diodlarınıń parametrlerin jaqsılaytuǵın AJJ nurlanıw waqtınıń aralığın ajratıwǵa bolatuǵınlığı haqqında derek beredi. Tolqın uzınlıqtıń mm hám sm diapazonındaǵı mikrotolqınlı qayta islewde joqarıdaǵıǵa uqsas effektlerdi bir qatar avtorlar belgilep ótti. Olardıń jumıslarında hám bizlerdiń eksperimentimizde úlginiń qızıwı bayqalmadı.

Házirgi kúnde yarımótkizgishli struktura parametrleriniń ózgeriwı bayqalıwın, sonıń ishinde jaqsılanıwın túsindiretuǵın birlesken model joq. Biraq ádebiyatta dodalangán kóbirek múmkinshilikke iye gipoteza zaryadlangán jaǵadayların hám serpimli kernewdiń statcionar bolmaǵan maydanın ózgertiw nátiyjesinde

metastabillı oraylardıń strukturasını qayta qurıw bolıp tabıladı. Bul mexanizmler massivli  $GaAs$ , epitaksiallıq  $n - n^+ - GaAs$  strukturalarda hám metallızaciyalanǵan  $Au - Ti - n - n^+ - GaAs$  strukturalarda bayqalǵan uzaq waqıtlı relaksaciyanı názerde tutadı. Biraq bizlerdiń jaǵdayımızda diodlı strukturanıń parametrleriniń uzaq waqıtlı relaksaciyası bayqalmadı. Kórinip turǵanıday buǵan ishki mexanikalıq kernewdiń bir tárepleme salıstırmalı bir tekli diskretli bólistirilgen plastinadaǵı diodlı strukturanıń texnologiyası sebepshi boldı.

## JUWMAQ

Kópshilik ilimiy ádebiyatlarga hám dáwirli ilimiy jurnallardaǵı arawlı maqalalardı analiz qıla otırıp, sırtqı aktiv tásirlerdiń (temperatura, radiaciya, kúshli elektr maydanı, lazer nurları h.t.b) málim bir optimal dozasında, bazı bir waqıt intervalında yarımótkizgishli ásbaplı strukturalardıń elektrofizikalıq, mexanikalıq qásiyetleriniń jaqsılanıwın, yaǵnıy hár qıylı texnologiyalıq jol menen alınǵan yarımótkizgishli ásbaplı strukturalardıń dáslepki elektrofizikalıq parametrleriniń jaman xarakteristikaların joqarıda atı atalǵan sırtqı aktiv tásirlerdiń nátiyjesinde jaqsılawǵa bolatuǵınlıǵı kórsetilip berilgen edi. Biziń bul magistrlik dissertatsiya jumısımızda  $Au - TiB_x - n - SiC 6H$  Shottki barerli karbidkremniyli diodlı strukturalardıń voltamper xarakteristikalarına mikrotołqınlı nurlanıwdıń tásirin izertlep hám alınǵan eksperiment nátiyjelerine hám de ádebiy sholıwdıń analizine tiykarlangan halda tómendegidey juwmaq jasadıq, yaǵnıy:

1. Shottki barerli diodlıq strukturanı mikrotołqınlı qayta islew beriw nátiyjesinde usı diodlıq strukturanıń mikrotołqınlı nurlanıwǵa shıdamlılıq shegi anıqlandı. Yaǵnıy ekspozitciya waqtınıń 10 s qa shekem artıwı menen  $Au - TiB_x - n - n^+ - GaAs$  hám  $Au - TiB_x - n - SiC 6H$  struktura parametrleri jaqsılanıp baradı.

2. 10 s tan artıq nurlandıruw strukturanıń voltamper xarakteristikası tuwrı tarmaqlarınıń degradaciyasına, eksponencial uchastka kemeyiwine, qiyalıǵınıń ózgerisine alıp keledi -  $\varphi_B$  - kemeyedi,  $n$  artadı. Bunday degradaciyaǵa ushırawın fizikalıq kóz qarastan analiz qılǵanımda birinshi náwbette strukturalıq defektlerdiń generatsiyası arqalı ishki mexanikalıq kernewdiń asa joqarı jiyiliktegi qayta islew nátiyjesindegi relaksaciya qubılısı menen túsindiriledi.

3.  $Au - TiB_x - n - SiC 6H$  betlik barer strukturalardıń bazı bir waqıt aralında ǵana asajoqarı jiyilikli qayta islew menen sol izertlep atırǵan diodlıq strukturalardıń parametrleriniń jaqsılanatuǵınlıǵı anıqlandı.

4. Bizin jaǵdayımızda bul waqıt 5 s bolıp, bul waqıt dawamındaǵı nurlandırıw nátiyjesindegi ózgerisler uzaq waqıt dawamında ornıqlı boladı. Xana temperaturasında olardıń parametrleri ( $\varphi_B, n, I_0$ ) jıllar dawamında ózgerissiz qaladı.

5. Alınǵan nátiyjeler hám ámeliy, hám fundamentallıq tárepten áhmiyetke iye. Fundamentallıq tárepi alınǵan eksperiment nátiyjelerin ádebiyatlarda bar bolǵan fizikalıq mexanizmler hám modeller menen túsindiriw imkaniyatına iye bolsa, al ámeliy tárepi tek eksperiment nátiyjelerin túsindirip qoymastan bunday islew beriwdi texnologiyalıq metod sıpatında paydalanıwǵa boladı. Joqarıdaǵı ayılǵanlardan kelip shıǵıp ulıwma juwmaqlastırıp aytatuǵın bolsaq, bunday mikrotolqınlı nurlanıw basqada jaman xarakteristikaga iye bolǵan diodlı strukturalarǵa texnologiyalıq usıl sıpatında keńnen paydalanıwǵa usınıs etiwge boladı degen pikirdemiz.

## **PAYDALANILGAN ÁDEBIYATLAR**

### **I. Normativ hujjetler ham bosh adbiyatlar**

1. O'zbekiston Respublikasining Konstitutsiyasi. -Toshkent. 2014
2. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида” ги ПФ-4947-сонли Фармони. Ўзбекистон Республикаси қонун ҳужжатлари тўплами, 2017 й., 6-сон, 70-модда
3. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 20 апрелдаги “Олий таълим тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги №2909-сонли Қарори
4. Ўзбекистон Республикаси «Билимлендириш ҳаққиндағы нызам». – Ташкент. 1997
5. Ўзбекистон Республикаси Кадрлар тайарлаш миллий дестури. – Ташкент. 1997
6. Мирзиёев Ш.М. Эркин ва фаровон демократик Ўзбекистон давлатини биргаликда барпо этамиз. Тошкент, “Ўзбекистон” НМИУ, 2017. – 29 б.
7. Мирзиёев Ш.М. Қонун устуворлиги ва инсон манфаатларини таъминлаш юрт тараққиёти ва халқ фаровонлигининг гарови. “Ўзбекистон” НМИУ, 2017. – 47 б.
8. Мирзиёев Ш.М. Буюк келажакимизни мард ва олижаноб халқимиз билан бирга қурамиз. “Ўзбекистон” НМИУ, 2017. – 485 б.
9. Магистратура тўғрисидаги низом. .Ўзбекистон Республикаси Вазирлар маҳкамасининг 2015 йил 2 мартдаги 36-сон қарори.

### **II. Tiykargı adbiyatlar**

1. Лебедев А.А., Сбруев С.. SiC-электроника. Прошлое, настоящее, будущее//Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2006, №5, с.23-41.
2. Алексадр Полищук. Высоковольтные диоды Шоттки из карбида кремния в источниках электропитания с преобразованием частоты// Компоненты и технологии, №5 2004

3. В. Лучинин, П. Мальцев, Е. Маляков. Техника и технология карбид кремния стратегический материал электроники будущего// Электроника: Наука, Технология, Бизнес 3-4/97 с 61-64
4. Гуртов В.. Твердотельная электроника. М.:Техносфера, 2005, 408 с.
5. О.А. Агеев, А.Е. Беляев, Н.С. Болтовец, В.Н. Иванов, Р.В. Конакова, Я.Я. Кудрик, П.М. Литвин, В.В. Миленин, А.В. Саченко. Диоды с барьером Шоттки Au-TiVx-n-6H-SiC:особенности токопереноса в выпрямляющих и невыпрямляющих контактах. //Физика и техника полупроводников, 2009, том 43, вып. 7, с 897-903
6. О.А. Агеев, А.Е. Беляев, Н.С. Болтовец, В.С. Киселов , Р.В. Конакова, А.А. Лебедев, В.В. Миленин, О.Б. Охрименко, В.В. Поляков, А.М. Светличный, Д.И. Чередниченко. Карбид кремния: технология, свойства, применение. – Харьков: «ИСМА». 2010. -532 с.
7. П.А. Иванов, И.В. Грехов, О.И. Коньков, А.С. Потапов, Т.П. Самсонова, Т.В. Семенов Вольт-амперные характеристики высоковольтных 4H-SiC-диодов с барьером Шоттки высотой 1.1эВ// Физика и техника полупроводников, 2011, том 45, вып. 10, с 1427-1430
8. Е.В. Калинина Влияние облучения на свойства SiC и приборы на его основе. //Физика и техника полупроводников, 2007, том 41, вып. 7 с 769-805
9. Я.Я. Кудрик, В.В. Шинкаренко, В.С. Слепокуров, Р.И. Бигун1, Р.Я. Кудрик. Методы определения высоты барьера Шоттки из вольт-амперных характеристик (обзор)// Оптоэлектроника и полупроводниковая техника, 2014, вып. 49, с 21-30
10. Ю.Ю. Бачериков, Р.В. Конакова, А.Н. Кочеров, П.М. Литвин, О.С. Литвин, О.Б. Охрименко, А.М. Светличный Влияние сверхвысокочастотного отжига на структуры двуокись кремния–карбид кремния// Журнал технической физики, 2003, том 73, вып. 5, с 75-78
11. Ю.Ю. Бачериков, Р.В. Конакова, В.В. Миленин, О.Б. Охрименко, А.М. Светличный, В.В. Поляков. Изменение характеристик оксидных пленок

- гадолиния, титана и эрбия на поверхности n-6H-SiC под воздействием сверхвысокочастотной обработки. //Физика и техника полупроводников, 2008, том 42, вып. 7, с 888-892
12. П.А. Иванов, А.С. Потапов, Т.П. Самсонова Анализ прямых вольт-амперных характеристик неидеальных барьеров Шоттки Ti/4H-SiC// Физика и техника полупроводников, 2009, том 43, вып. 2 с 197-200
  13. Иванов П.А., Челноков В.Е.. Полупроводниковый карбид кремния технология и приборы. //ФТП, 1995 том 29, №11, с 1921-1943
  14. Бланк Т.В., Гольдберг Ю.А. Механизмы протекания тока в омических контактах металл-полупроводник. Обзор //ФТП, 2007, том 41, вып.1. с.1281-1308.
  15. Агеев О.А.. Проблемы технологии контактов к карбиду кремния. Таганрог: Изд-во ТРТУ. 2005. 250 с.
  16. Афанасьев А.В., Ильин В.А., Казарин И.Г., Петров А.А., Исследования термической стабильности и радиационной стойкости диодов Шоттки на основе SiC, ЖТФ, 2001, том 71, вып.5, стр.78-81
  17. Лебедев А.А., Челноков В.Е. Широкозонные полупроводники для силовой электроники //Физика и техника полупроводников. – 1999. – Т. 33, Вып. 9. – С. 1096-1099.
  18. Болтовец Н.С., Зоренко А.В., Иванов В.Н., Власкина С.И., Конакова Р.В., Кудрик Я.Я., Литвин П.М., Литвин О.С., Миленин В.В., Абдижалиев С.К.//Особенность формирования и термостабильность барьерных контактов к высокочувствительным детекторным диодам// Письма в ЖТФ, 2003, т.29, вып.1., с.47-55
  19. Строкан Н.Б., Иванов А.М., Бойко М.Е., Савкина Н.С., Стрельчук А.М., Лебедев А.А., Якимова Р. Карбидкремниевые транзисторные структуры как детекторы слабоионизирующего излучения. //ФТП, 2003, том 37, вып.1, с.65-69
  20. Н.С. Болтовец, А.Б. Камалов, Е.Ю. Колядина, Р.В. Конакова, П.М. Литвин, О.С. Литвин, Л.А. Матвеева, В.В. Миленин, А.Е. Ренгевич



- Релаксация внутренних механических напряжений в арсенидгаллиевых приборных структурах, стимулированная микроволновой обработкой. Письма в ЖТФ, 2002, том 28, вып. 4, с 57-64
21. Boltovets N.S., Ivanov V.N., Abdizhaliev S.K., Konakova R.V., Kudrik Ya.Ya., Lytvyn P.M., Lytvyn O.S., Milenin V.V., Rengevich O.E., Venger E.F., Vlaskina S.I. Interactions between phases and thermal stability of  $TiB_x(ZrB_x)_n-SiC$  6H contacts. ASDAM 2002, The Fourth International Conference on Advanced Semiconductor Devices and Microsystems, - Smolenice Castle, Slovakia, 14-16-October 2002, p.95–98
  22. Вавилов В.С., Горин Б.М., Данилин Н.С., Кив А.Е., Нуров Ю.А., Шаховцев В.И. Радиационные методы в твердотельной электронике. - М.: Радио и связь, 1990, 184с.
  23. Мамонтов А.П., Чернов И.И. Эффект малых доз ионизирующего излучения. –М.: Энергоатомиздат, 2001, 250 с
  24. Belyaev A.E., Venger E.F., Ermolovich I.B., Konakova R.V., Lytvyn P.M., Milenin V.V., Prokopenko I.V., Svechnikov G.S., Soloviev E.A., Fedorenko L.L. Effect of microwave and laser radiations on the parameters of semiconductor structures.-Київ: Интас, 2002, -191 p.
  25. Исмаилов Қ.А., Власов С.И. Ярымөткизгишли эсбаплар физикасы. – Нөкис.: «Билим». – 2008. – 215 б
  26. Камалов А.Б Физические основы контактов металл-GaAs(GaP, InP), сформированных чистыми металлами и аморфными пленками  $TiB_x$ . Канд. дис. –Ташкент 2011.
  27. Джаксимов Е., Исмаилов К.А., Статов В.А. и др. «Влияние переходной области на развитие лавинного пробоя в арсенидгаллиевых диодах Шоттки». //Вестник ККО Ан РУз. -2000. -№1. –С.60-62
  28. Абдижалиев С.К., Кудрик Я.Я. Электрофизические свойства диодов Шоттки под воздействием микроволнового излучения//Петербургский журнал электроники, 2004, №2, с.48-52.

29. Исмаилов К.А., Камалов А.Б., Бижанов Е.К Радиационные изменения электрофизических свойств полупроводниковых гетероструктур// г. Ташкент, Конференция посвященная 80-летию академика М.С. Саидова 2010 с 212-214
30. Абдиджалиев С.К., Кудрик Я.Я. Влияние микроволнового излучения на электрофизические свойства диодов с барьером Шоттки Au-TiB<sub>x</sub>(ZrB<sub>x</sub>)-n-SiC<sub>6</sub>H// XIV Международное совещание «Радиационная физика твердого тела» (Севастополь, Украина, 2004), с.439- 444
31. Абдиджалиев С.К., Исмаилов К.А. Влияние быстрых термических и микроволновых обработок на величину контактного сопротивления в структурах Ni-n-SiC// Материалы Третьей международной конференции посвященной 15-летию Независимости Узбекистана «Фундаментальные и прикладные вопросы физики» (Ташкент, Узбекистан, 2006 г.) с.151-152.
32. Исмаилов К.А., Бижанов Е.К., Аметов Р., Турсынбаев С. Эффекты радиационных воздействий на физические характеристики арсенидгаллиевых диодных структур типа Au-Ti-GaAs. ВЕСТНИК ККО АН РУз. -2012 . № 1-2(14-15). с.12-13
33. Камалов А.Б., Худайбергенов А.К., Бижанов А.К. Радиационные эффекты в барьерных контактах Mo-n-n+-GaAs, стимулированным микроволновым облучением ВЕСТНИК ККО АН РУз. -2012 . № 1-2(14-15). с.12-13
34. К.А.Исмаилов, В.А.Статов, М.Б.Тагаев А.Б.Камалов Радиационные эффекты в арсенидгаллиевых поверхностно барьерных структурах, возникающие под воздействием  $\gamma$ - и  $\beta$ - излучения// Вопросы атомной науки и техники. 2001. №2. Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение (79), с.63-65.
35. Исмаилов К.А., Отениязов Е., Атаджанова Р.Аметов Р.Турсынбаев С. Радиационно-стимулированные геттерирования в полупроводниковых приборных структурах.-ВЕСТНИК ККО АН РУз. -2013 . № 1. с.14-15

36. Sang-Kwon Lee. Processing and Characterization of Silicon Carbide (6H- and 4H-SiC) Contacts for High Power and High Temperature Device Applications. Ph.D Dissertation. Stockholm 2002
37. Исмаилов К.А., Абдреймова Г.Р., Сейтимбетова Г.А., Косбергенов Е.Ж. Влияние внешних воздействий на электрические характеристики карбидокремниевых диодных структур с барьером Шоттки  $TiB_x(ZrB_x) - n-SiC$  6H. ВЕСТНИК КГУ им. Бердаха. -2016. № 4. с.3 – 6
38. Исмаилов К.А., Косбергенов Е. Диагностические методы исследования полупроводниковых приборных структур. – Тезисы докладов 5-ой межд. конф. «Актуальные проблемы молекулярной спектроскопии конденсированных сред». – Самарканд, 22-24 сентября 2016 г.

### **III. Internet resurslari**

1. [www.physics.riew.com](http://www.physics.riew.com)
2. [www.ujp.org](http://www.ujp.org)
3. [www.firstsolar.com](http://www.firstsolar.com)
4. [www.ziyonet.com](http://www.ziyonet.com)
5. [www.karsu.com](http://www.karsu.com)