

**ÓZBEKSTAN RESPUBLIKASI JOQARI HÁM ORTA ARNAWLÍ
BILIMLENDIRIW MINISTRLIGI
BERDAQ ATÍNDAGÍ
QARAQALPAQ MÁMLEKETLIK UNIVERSITETI
MAGISTRATURA BÓLIMI**

Qoljazba huquqında

UDK:621.382.2/3

Magistratura bólimi

5A140204 - <<Kondensaciyalanğan ortalıqlar fizikası hám materialtanıw>>

(túrler boyınsha) qánigeligi

2-basqış magistrantı

ASENBAEV MUXAMEDRASUL ADILBAY ULÍ

**KREMNIYLI ÁSBAPLÍ STRUKTURALARDAĞÍ DEGRADACIYALÍQ
MEXANIZMLERDI ÚYRENIW**

Magistr akademiyalıq dárejesin alıw ushın jazılğan

DISSERTACIYA

MAK da jaqlawğa ruxsat berildi

Magistratura bólim başlıgı:

_____ **doc. Gulimov A.B.**

Kafedra başlıgı: _____

prof. Ismaylov.Q.A

Ilmiy basshı: _____

prof. Ismaylov.Q.A

Nókis – 2019

MAZMUMI

KIRISIW	3
----------------------	----------

I.BAP.KREMNIY TIYKARINDAĞI PRIBORLARDIŇ ELEKTROFIZIKALIQ XARAKTERISTIKASI

1.1. Kremniy diodınıń elektrofizikalıq xarakteristikası	7
1.2. Keri differencial qarsılıq hám toktı shnurlaw	20
1.3. Kremniy tiykarında islengen tranzistorlardıń túrleri hám mikroelektronikada qollanılıwı. Lavinli tranzistorlar.....	23
1.4. Quwatlı bipolyar tranzistorlar	25
1.5. p-n ótiwge iye bolğan maydanlı fototranzistor	31

II BAP. EKSPERIMENT METODIKASI

2.1. <<MODUL -2>> modulyaciyalıq differenciýallaw metodikası.....	33
2.2. Degradaciyağa sebepshi parametrlerdı anıqlaw.....	37
2.3. Texnika qáwipsizligi	43

III BAP. EKSPERIMENT NÁTIYJELERI HÁM TÚSINDIRILIWI

3.1. Sırtqı radiaciyalıq tásirlerden keyingi kremniyli priborlardıń elektrofizikalıq xarakteristikalarınıń ózgerisin izertlew	45
3.2. Kremniyli priborlardıń islew waqtında hám sırtqı tásirler nátiyjesinde bolıp ótetuǵın degradaciyalıq processlerdi úyreniw	54
3.3.....	61

JUWMAQLAW.....	70
-----------------------	-----------

PAYDALANÍLGAN ÁDEBIYATLAR.....	72
---------------------------------------	-----------

KIRISIW

Magistrlik dissertaciya temasınıń tiykarları hám onıń aktuallıǵı.

Ilim hám texnikanıń rawajlanǵan bir dáwirinde yarım ótkizgishli materiyallardan islengen ásbaplardıń tutqan ornı óz aldına. Sebebi texnikanıń, qaysı tarawın almayıq derlik barlıq jerde yarımótkizgishler tiykarında islengen ásbaplar bar. Sol sebepli ilimiy hám praktikalıq jaqtan kremniy,germaniy elementinen tayarlanǵan ásbaplardı, ásirese solardıń ishinde kremniy elementinen tayarlanǵan ásbaplardıń elektrofizikalıq qásiyetlerin izertlew, olardıń, ózgesheliklerin anıqlaw úlken aktual máselelerden bolıp esaplanadı. Álbette bul baǵdar boyınsha úlken jumıslar islengen. Dúnyanıń belgili usı tarawǵa baǵıshlanǵan jurnallarında dáwirli túrde ilimiy maqlalar basılıp shıqpaqta. Biraq bul jumıslardıń kópshiligi ásbap strukturaların izertlewge qaratılǵan. Al tayar ásbaplardı buzbaǵan halda sol ásbaplardıń, elektrofizikalıq xarakteristikaların izertlew múmkinshiligi hámme metodlar menen ámelge asırıla bermeydi. Sonlıqtan bul magistrlik dissertaciya Ukraina milliy ilimler akademiyasına qaralıq yarımótkizgishler fizikası institutında islenip shıǵılǵan hám bizıń, Universitetimiz tárepinen waqtında satıp alınǵan «MODUL-2» metodikası sol joqarıda ayılǵan máselelerdi sheshiwde óz imkaniyatların berdi¹. Aldımızǵa qoyılǵan maqsetke erisiw ushın izretlenip atırǵan diodlardı buzbaǵan halda joqarıda ayılǵan hám házirgi kúni kafedramızda islep turǵan “MODUL-2” yaǵnıy modulyaciyalıq differenciya law metodınan paydalandıq.

Bul metodtıń islew principi magistrlik dissertaciyanıń 2 – babında qısqasha jazılǵan hám blok – sxemalarda keltirilip kórsetilgen. Magistrlik dissertaciya temasınıń atınan kórinip turǵanınday bul jumıs tek teoriyalıq

¹ «MODUL-2» - modulyaciyalıq differenciya law áspabı.

jaqtan emes al praktikalıq jaqtanda úlken áhmiyetke iye. Usı isten shıǵıw jagdayın diagnostika qılıwda ásbaplardı buzbaǵan awhalda sol ásbaplardıń fizikalıq xarakteristikaların úyreniw hám isten shıǵıw sebebin anıqlaw hám ilimiy hám praktikalıq áhmiyetke iye. Sonlıqtan bul magistrlik dissertaciya jumısı Ózbekistan Respublikası Ministrler kabineti tárepinen bunday jumıslarǵa qoyılatuǵın talaplarǵa tolıq juwap beredi¹. Magistrlik dissertaciya tiykarınan 3 baptan ibarat bolıp onıń I babı magistrlik dissertaciya temasına baylanıslı ádebiyatlarǵa sholıwǵa baǵıshlanǵan. Al II babı bolsa bul eksperiment metodikasına qaratılǵan. III babı bul original bólimi bolıp bul jerde alınǵan eksperiment nátiyjeleri hám onıń talqılanıwı berilgen.

Izertlewdiń obykti hám predmeti. Biz usı magistrlik dissertaciya jumısımızda karbidkremniyli Shottki barerli diodlıq strukturasınıń elektrofizikalıq qásiyetine asa joqarı jiyilikli nurlanıwınıń tásirin hám sırtqı tásirde aldıńǵı hám keyingi fizikalıq parametrleriniń ózgerisin qarastırdıq. Bul jumısta izertlew obykti sıpatında Si diodlıq strukturası alındı. Diodlı struktura diametri 195 *mkm*. Izertlew predmeti Si diodlıq strukturalardıń elektrofizikalıq xarakteristikasına sırtqı tásirler, sonıń ishinde ásirese mikrotolqın tásiрі nátiyjesinde diodlı strukturalardıń elektrofizikalıq parametrleriniń ózgerisin izertlew¹.

Jumıstıń maqseti hám wazıypaları. Sırtqı tásir nátiyjesinde (Radiaciyanıń) kremniyli diodlı strukturalardıń elektrofizikalıq qásiyetleriniń ózgerisin izertlew hám sol izertlewlerdiń nátiyjeleri boyınsha degradaciyalıq processlerdiń bolıw mexanizmlerin túsindirip beriw².

Joqarıdaǵı qoyılǵan maqsetke erisiw ushın, tómendegi wazıypalar orınlanıwı kerek;

1. Usı magistrlik dissertaciyanıń temasına baylanıslı ilimiy monografiyalar hám belgili fizikalıq jurnallarda járiyalanıp turǵan ilimiy miynetlerge

¹ Исмайлов К.А., Власов С.И. Ярымөткізгішли эсбаплар физикасы. – Нөкіс.: «Билим». - 2008. - 215 б

² Камалов А.Б Физические основы контактов металл-GaAs(GaP, InP), сформированных чистыми металлами и аморфными пленками TiBx. Канд. дис. -Ташкент 2011

ádebiy sholıw jasaw

2.Eksperimentallıq metodika menen jaqınnan tanısıw hám sol metodikanı basqarıwdı úyreniw.

3.Eksperimentallıq usıl menen alınğan nátiyjelerdi fizikalıq kóz qarastan usı waqıtqa shekemgi bar fizikalıq modeller járdeminde interpretaciya (túsindiriw) qılıw.

Jumıstıń ilimiy jańalıǵı.

1.Mikro tolqınlı tásiiri nátiyjesinde kremniyli diodlıq strukturalardıń parametrleriniń ózgeriwi.

2.Mikro tolqınlı nurlanıw tásirinen keyingi kremniyli diodlı strukturalardaǵı degradaciyalıq processler.

3.Kremniyli diodlı strukturalardaǵı degradaciyalıq processlerdiń sol diodlı strukturanıń parametrleri arasındaqı baylanıstı anıqlaw.

Izertlewdiń tiykarǵı máseleleri hám boljawları.

Bul jumısta yarımótkizgishli priborlarǵa radiaciya tásiiri nátiyjesinde ondaqı bolıp ótetuǵın procesler úyrenildi. Ásbaptaǵı ishki mexanikalıq kernewler hám sırtqı basqada tásirler nátiyjesinde onıń islew jaǵdaylarınıń ózgeriwin tekseriwleri ámelge asırıldı. Hám usı tiykarda olardaǵı ásbap sapasına keri tásirde kelip shıǵaratuǵın mashqalalardı saplastırıw ilajları ámelge asırıldı.

Degradaciyalıq qubılıslardı úyreniw barısında olardıń keltirip shıǵarǵan mashqalalrın,ásbap sapasın tómewlewine sebepshi bolǵan faktorlardıń aldın alıw boyınsha metodlar islep shıǵıldı. Hám bulardı esapqa alıp islengen jumıs tiykarında jańa texnologiya ashılıwına tiykar bolıwı múmkin.

Izertlew temasına baylanıslı ádebiyatlarǵa sholıw.

Biz ilimiy jumıstı islew barısında bizlerden aldın usı jumıs penen shuǵıllanǵan ilimpazlardıń miynetlerin úyrenip shıqtıq hám olardıń itibar bermegen táreplerine dıqqatımızdı qaratıwǵa háreket ettik. Olardıń islegen jumıslarınan ayırmashılıǵı sonnan ibarat, bizler úyrenen ásbaplardıń sapasın jaqsılaw olardan qaytadan paydalanıw múmkinshiligine iye ekenligin kórsetpekshi boldıq. Bizler bul jumıs boyınsha jumıs islegen

alımlar tiykarınan Kanokova Raisa Ivanovna hám Zezin Anatoliy Ivanovishtıń hám basqada ilimpazlardıń miynetlerin úyrendik.

Izertlewde qollanılğan metodikanıń klasifikaciyası.

Jumıstı islew barısında dedukciya, indukciya hám basqada ilimiy metodlardan paydalanıldı. Eksperiment «Modul-2» differenciallıq metodikası tiykarında ámelge asırıldı.

Izertlew nátiyjeleriniń teoriyalıq hám ámeliy áhmiyeti.

Alınğan eksperiment nátiyjeleri tiykarınan yarımótkizgishler elektronikasında tayar priborlardıń fizikalıq xarakteristikaların jaqsılaw ushın texnologiyalıq metod sıpatında qollanıladı. Alınğan tiykargı eksperiment nátiyjelerge sırtqı mikrotoqınlı tásirlerden keyingi priborlardıń strukturalardıń málim bir waqıtlarda jaqsılanıwı hám degradaciyalanıwı kiredi.

Jumıstıń dúzilisi hám quramı. Jumıs kirisiw bólimi, 3 bap, juwmaq hám paydalanılğan ádebiyatlar diziminen turadı. Dissertaciya jumısınıń kólemi 76 betten ibarat bolıp, dissertaciyaǵa 18 súwret hám 7 keste jaylastırılğan.

I BAP. Kremniy tiykarındaǵı priborlardıń elektrofizikalıq xarakteristikası

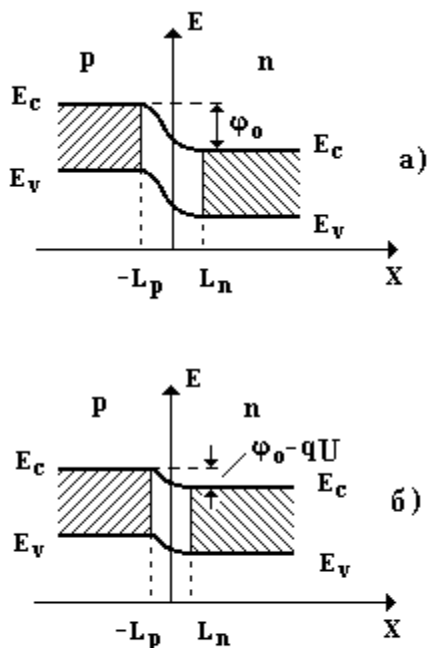
1.1. Kremniy diodınıń elektrofizikalıq xarakteristikası

Tómende 1.1.1- kestede kremniy elementiniń, fizikalıq hám ximiyalıq qásiyetleri haqqında maǵlıwmat keltirilgen. Si atom nomeri 14.

1.1.1 -keste

• Kórinisi	Amorf awhalda qońır poroshok Kristall awhalda — tok kúl reń , jaltıraq
• Molyarlıq massası	28,0855 m.a.b. (g/mol)
Atom radiusı	132 pm
Ionlanıw energiyası (birinshi elektron)	786,0(8.15) kDj/mol (eV)
Tıǵızlıǵı	2,33 g/sm ³
Salıstırmalı jıllılıq sıyımlıǵı	19,8 Dj/ (K/mol)
Jıllılıq ótkizgishlik	149 W/ (m k)
Eriw temperaturası	1688 K
Eriw jıllılıǵı	50,6 kDj/mol
Qaynaw temperaturası	2623 K
Qaynaw jıllılıǵı	383 kDj/mol
Molyarlıq kólemi	12,1 sm ³ /mol
Kristallıq pánjere dúzilisi	Geksagonal
Debay temperaturası	625,00 K
Kristallıq strukturası	D
Qadaǵan zona keńligi	• 300 K ----- 1,12 eV 0 K _ _ _ _ 1,17 eV
Bólme temperaturasındaǵı (300 K)	• Elektron ----- 1500 sm ² /V*s

tok tasıwshılar qozǵalıwshılıǵı	Gewekshe (dıрка) — $450 \text{ sm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$
Effektiv massası m^*/m_0	- Elektron -----0,98 0,19 - Gewekshe (dıрка) ----0,16 - — 0,49
Bólme temperaturasındaǵı salıstırmaı ótkiziwshiligi	$\sigma = 3,7 \cdot 10^{-4} (\Omega \cdot \text{sm})^{-1}$
Válentligi	$3s^2 3p^2$



1.1.1-súwret.Potenciallıq tosıq biyikliginiń p-n ótiwine tuwrı kernew bergendegi ózgerisi

zaryad tasıwshılar koncentraciyası p_p hám n_n ler p oblastaǵıda, n oblastaǵıda menshikli zaryad tasıwshılar koncentraciyası n_i den ádewir dárejede kóp. Bul

Tuwrılaǵısh diodlardıń elektrofizikalıq qásiyeti haqqındaǵı kóplegen informaciyalardı volt-amperlik xarakteristikasınan alıwǵa boladı. Zamanagóy yarımótkizgishli diodlardıń tiykarı bolıp p – n ótkeli, yaǵnıy hár qıylı tiptegi ótkizgishlikke iye eki yarımótkizgishli materiallardıń kontakti esaplanadı¹. Sırttan p-n ótkeline kernew bergen waqıtta onnan tok ótedi. Rekombinaciya bolmaytuǵın p-n ótkelinen toktıń ótiwin qarastırayıq. Aytayıq, p hám n oblastlar qalınlıǵı úlken emes, al tiykarǵı

¹ Абдигалиев С.К., Кудрик Я.Я. Электрофизические свойства диодов Шоттки под воздействием микроволнового излучения//Петербургский журнал электроники, 2004, №2, с.48-52.

jağdayda p hám n oblastlardıń, ótkelge jaqın fizikalıq shegalarında, Omliq qarsılıǵı júdá kishi, sonlıqtan esapqa almasaқта boladı.

Jıllılıq teńsalmaqlıq halında, sırttan kernew joqta, p-n ótkeliniń eki tárepinde elektronlar hám gewekler aǵısı teń boladı. Sırttan kernew berilgende bul teńlesiw buzıladı. Eger, p-n ótkeli eni L ($L = |L_p| + |L_n|$) erkin júgiriw jolı l uzınlıǵınan kishi boladı. l – súwrette p-n ótkeliniń zonalıq diagramması keltirilgen. 1.1.1 – súwrten kórinip turǵanıday p – n ótkeline tuwrı hám kerı kernew berilgendegi barer biyikliginiń ózgeriwi kórsetilgen.

Tuwrı baǵıtta kernew U qoyılǵanda, p hám n oblastlar arasındaqı potencial tosıqtıń biyikligi $\varphi_0 - qU$ shamaǵa shekem kemeyedi (tómenleydi). Elektronlar n oblasttan p oblastqa ótedi, al gewekler p oblastan n oblastqa ótedi. Sáykes oblastlardaqı tiykarǵı emes zaryad tasıwshılar koncentraciyası artadı. Artıqsha zaryad tasıwshılar p - n ótkelinen oblastlar ishine qaray tarqaladı hám sol jaqta rekombinaciyalanadı. Al, kernewdiń teris mánislerinde tok sezilerli kem, ol baǵıtın ózgerterdi hám kernewdiń mánisine baylanıslı bolmay qaladı. Kernewdiń oń mánisleri tuwrı toklarǵa, al teris mánislerine p-n ótkeli arqalı ótetuǵın kerı toklarǵa, yaǵnıy tiykarǵı emes zaryad tasıwshılar toqlarına sáykes keledi. Ideal p-n ótkeliniń voltamper xarakteristikası

$$I = I_s \left(\exp \frac{qU}{kT} - 1 \right) \quad (1.1.1)$$

ańlatpa járdeminde esaplangan. Aytıp ótiw kerek, ańlatpanı keltirip shıǵarıwda ideal p-n ótkeli qaraldı hám yarımótkizgish materialdıń p hám n oblastlardıń shegarasına jaqın kóleminde túsken kernew esapqa alınbadı¹. Bir qatar

¹ . 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

jaǵdaylarda, ásiresi p-n ótkelinen aǵatúǵın úlken toqlarda, yarımótkizgishtiń kólemine túsken kernewdi esapqa alıw kerek¹. Usı túsken kernewdi esapqa alsaq, diodtıń voltamperlik xarakteristikası tómendegi kórinisti aladı:

$$I = I_s \left(\exp \frac{qU}{kT} - \exp \frac{q}{kT} IR - 1 \right) \quad (1.1.2)$$

Bul jerde U – diodqa qoyılǵan sırtqı kernew, R - yarımótkizgish materialı kólemineń qarsılıǵı. Kórinip turǵanıday, p-n ótkeline qoyılǵan kernewdıń tek bir bólegi ǵana túsedi hám ol mınaǵan teń

$$U_{p-n} = U - IR \quad (1.1.3)$$

P-n ótkeli qarsılıǵına qarsılıq R izbe-iz jalǵanǵanlıqtan, onı izbe-iz qarsılıq, yamasa baza qarsılıǵı depte ataydı. Izbe-iz qarsılıqtıń diodınıń voltamperlik xarakteristikasına tási nátıyjesinde úlken toklarda xarakteristikanıń tuwrı shaqası eksponenciallıq nızam menen emes, al sıızıqlı baylanısqa jaqın nızam menen súwretlenedi. Bul xarakteristikanıń sıızıqlı bóleginen iz-be iz qarsılıqtıń R shamasın bahalawǵa múmkinshilik beredi.

Tuwırlaǵısh diodlardıń tiykargı xarakteristikaları bolıp: diodqa beriw múmkin bolǵan teris kernew - $U_{keri.max}$ – diodqa túsiriwge múmkin bolǵan turaqlı kernew; maksimal jiberiw múmkin bolǵan tuwrı tok – $I_{tuwrı.max}$; maksimal jiberiw múmkin bolǵan keri toq – $I_{keri.max}$; maksimal shıdaw múmkin bolǵan quwatlılıq - P_{max} ; diod isley alatuǵın shegeralıq chastota (jiylik) – ν_{max} ; diod isley alatuǵın temperaturalıq diapazon.

¹ Исмайлов 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

Ayırım jaǵdaylarda, tuwırlaǵısh diodlardıń sıpatın bahalaw ushın tuwırlaw koefficienti degen parametr paydalanıladı. Tuwırlaw koefficienti birdey shamadaǵı kernewde ólshengen tuwrı hám kerı toklardıń qatnası menen anıqlanadı:

$$K = \frac{I_{tuwrı}}{I_{kerı}} \quad (1.1.4)$$

Mısalı: tuwrı baǵıtta qoyılǵan kernew 0,5V, diodtan ótip atırǵan tuwrı toq 20 mA teń, al 0,5 V kerı kernew qoyılǵanda, diodtıń kerı toǵı 2 mkA quraydı. Bul toqlardıń qatnası tuwırlaw koefficienti bolıp, ol 1000 ǵa teń boldı.

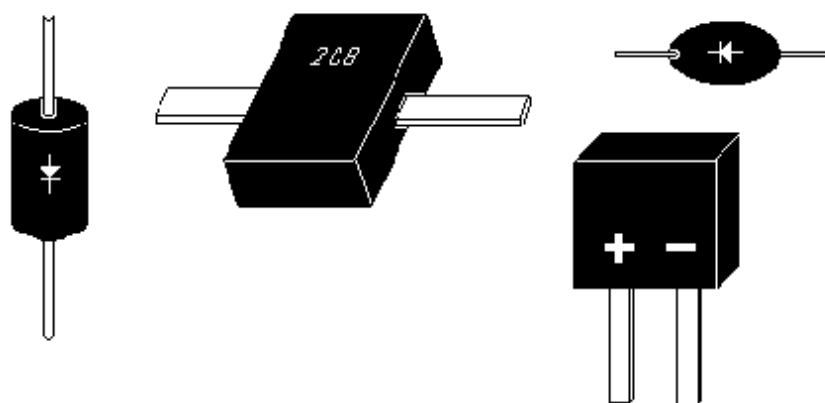
Tuwırlanǵan toktıń jiberiw múmkin bolǵan maksimal mánisi boyınsha diodlar shártli ráwishte úsh topǵa bólinedi: kishi quwatlıq taǵı diodlar ($I_{tuwrı} < 0.3 \text{ A}$), orta quwatlıqtaǵı diodlar ($0.3 \text{ A} < I_{tuwrı} < 10 \text{ A}$) hám úlken quwatlıqtaǵı diodlar ($I_{tuwrı} > 10 \text{ A}$). 1-kestede bir qatar tuwırlaǵısh diodlardıń tiykarǵı parametrleri keltirilgen, al 1.1.2-súwrette olardıń sırtqı kórinisi kórsetilgen¹.

1.1.1-keste

Diodlar	U_{pr.max.} V.	I_{pr.max.} mA	U_{obr.} V	I_{obr.} mkA	ν_{pr.} mGc
D219 A	0,6	50	70	1	40
D220 A	1,5	50	60	1	40

¹ 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.

D311A	0,4	40	30	100	40
2D401B	1,5	30	75	5	0,15
KD409A	2	50	24	0,5	1000
KD410A	2	50	1000	3000	0,02
KD411BM	1,4	200	750	1000	0,03
KD423B	3	200	800	1500	0,05
KD503B	1,2	30	30	4	50
2D921B	1	35	21	0,5	1000
3A350A	1	30	10	5	600
3A530A	1	5	30	5	700



1.1.2-súwret.Bir qatar kishi quwatlıqtaǵı tuwrılaǵısh diodlardıń sırtqı kórinisi

p-n ótiwdegi zaryad tasıwshılardıń qayta bólistiriliwi menen hám p-n ótiwde potencial barerdıń tómenlewi menen baylanıslı bolǵan tuwrı kernew,

temperaturanın ósiwi menen azayadı. Kremniyli diodtıń proboyı lavinli xarakterge iye. Sonlıqtan proboylı kernew temperaturanın artıwı menen artadı¹.

Diodtıń volt-ampereklik xarakteristikasınıń tuwrı shaqasına bir qatar sırtqı faktorlardıń tásirin kóreyik. Diodtıń temperaturasınıń artıwı menen potencial barerdıń biyikligi azayadı hám energiya artıwı menen potencial barerdıń biyikligi azayadı hám energiya boyınsha zaryad tasıwshılardıń bólistiriliwi ózgeredi. Kernewdıń ózgermegen waqtındaǵı usı eki jaǵdayda temperaturanın ósiwi menen diodtaǵı tuwrı tok artadı².

Fizikada yarımótkizgishlerdi izertlewde qollanılatuǵın modulyaciyalıq metod eksperiment nátiyjelerin anıq hám ápiwayılastırıp beredi. Bizge belgili yarımótkizgishlerdiń qásiyetin izertlewde sıyımlılıqlıq metod eki qızıǵıwshılıqtı payda etedi:

1) elektr hám jıllılıq signalı menen basqarılatuǵın yarımótkizgishli kondensatorlardı islep shıǵarıwda (varikap hám fotovarikap);

2) yarımótkizgishtiń betin, kólemin, sonday aq p-n ótiwde parametr qatarın anıqlawda.

Ádebiyatlardan bizge belgili bolǵanıday barer sıyımlılıǵı hám onıń kernewge ǵárezziligin ólshew p-n otiwsheńligin hám ondaǵı primes koncentraciyasınıń bólistiriliwin anıqlawda qollanılmaqta, yaǵnıy sıyımlılıqlıq metodtı qollarıw oblastı yarımótkizgishlerdiń qásiyetin izertlew barısında bir qansha keńeyedi. házirgi waqıtta bul metod yarımótkizgishli diodtıń ekvivalent sxemasındaǵı parametrin anıqlawda hám t.b. qollanıladı hám bul metod joqarı Omlı yarımótkizgishlerdi úyreniwde perspektivalı metod bolıp tabıladı.

¹ Иванов П.А., Челноков В.Е.. Полупроводниковый карбид кремния технология и приборы. //ФТП, 1995 том 29, №11, с 1921-1943

² Мамонтов А.П., Чернов И.И. Эффект малых доз ионизирующего излучения. -М.: Энергоатомиздат, 2001, 250 с

Yarımótkizgish diodlardıń parametrlerin ólshewdıń VAX ın ólshew eń bir qolay metodikanıń biri bolıp tabıladı, sebebi VAX ın ólshey otırıp yarımótkizgish pribordıń pútkilley tiykargı parametrleri haqqında maǵlıwmat alıwǵa boladı.

Bizge belgili $V > \frac{3kT}{e}$ jaǵdayında termoelektron emissiya tiykarında tuwrı volt amperlik xarakteristika tómendegishe teńlik penen anıqlandı.

$$I = I_s \exp \frac{eV}{nkT} \quad (1.1.5)$$

bul jerde

$$I_s = A \cdot T^2 S \exp \left[-\frac{\varphi_B}{kT} \right] \quad (1.1.6)$$

S-kontakt maydanı.

(1.1.5) ni logarifmley otırıp tómendegige iye bolamız.

$$l_n I = l_n I_s + \frac{e}{nkT} V \quad (1.1.7)$$

(1.1.6) dan volt-amperlik xarakteristika $l_n I, V$ masshtabında tuwrı sıızıq penen súwretlenedi, sonlıqtanda I_s usı tuwrı sıızıqtıń iziniń dawamınıń koordinata kósheri menen kesilisiw tochkası menen anıqlanadı, onda I_s ti usı usıl menen anıqlay otırıp (1.1.6) formuladan

barer biyikligi φ_B nı anıqlawǵa múmkinshilik boladı¹. Onda φ_B tómendegishe anıqlanadı.

¹ 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

$$\varphi_B = \frac{kT}{e} \ln \left(\frac{A \cdot T^2 \cdot S}{I_S} \right) \quad (1.1.8)$$

Volt – amperlik xarakteristika metodi jánede yarımótkizgish diodlardıń sıpat faktorın n di de anıqlawǵa múmkinshilik beredi.

$$120 A \cdot sm^2 K^{-2} \quad (1.1.9)$$

n shaması shegara bólimi oblastında rekombinaciya processı haqqında maǵlıwmat beredi. Solay etip VAX metodi menen yarımótkizgishli diodlar haqqında informaciya alıwǵa boladı. VAX metodi izertley otırıp yarımótkizgish diodlardıń sapasın onıń degradaciya qubılısına alıp keliwshi ayırım sebeplerdide anıqlawǵa boladı. Egerde keri tok túsip turǵan diodqa kernewdi belgili bir mánisine jetkende proboy kernewi kernew shamasına jetkende diod arqalı qosımsha tok impulslar arqalı aǵıp óte baslaydı nátiyjede, impulslardıń dawam etiwshiligi hám olar arasındaqı úzilis qálegen mániske iye boladı hám olar eksponential bólistiriwge baǵınadı. Komnata temperaturasında baqlanatuǵın impulslardıń ortasha jiyiligi ádette 10^4 - 10^5 Hz shamasında boladı. Túsirilgen kernewdiń artıwı menen impulslar amplitudasınıń ósiwi sezilerliktey bolmaydı, al impulslardıń dawam etiwshiligi keskin artadı hám olar arasındaqı úzilisler qısqaradı¹.

Impulslardıń dawam etiwshiligi sonsha artıwı menen, úzilisler sonsha qısqaradı, nátiyjede diod arqalı derlik turaqlı tok ótedi. Proboy oblasti baslanǵanda diod arqalı toktıń usınday ótiwi diodtıń volt-amperlik xarakteristikasına úzilislerdiń hám sonıń sıızıqlardıń payda bolıwına alıp keledi. Eger volt-amperlik xarakteristikasınıń dáslepki uchastkasın kúsheytilgen halda qarastırsaq mikroplazma payda bolǵan jerde úzilisler

¹ 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

payda boladı, al tok stabillengennen keyin kernew artıwı menen sızıqlı uchastkalar payda boladı.

Mikroplazma arqalı ótiwshi toktıń turaqsızlıq oblastı $0,1 \div 1$ V aralığında boladı. Mikroplazma arqalı ótiwshi tok stabillengende hám kernewdıń jánede ósiwinde jańa mikroplazma payda boladı.

Tok impulsiniń payda bolıwı, VAX da sınıq sızıqlardıń payda bolıwı, klassikalıq mikroplazmalardıń belgileri bolıp tabıladı¹.

Sonıda aytıp ótiw kerek barlıq waqıtta mikroplazmalar bul belgilerdiń jıynaǵına iye boladı.

Tiykarınan yarımótkizgishtiń zonalıq strukturasınıń ayırmashılıqları Om nızamınıń buzılıwına hám volt-amperlik xarakteristikada sızıqlı emesliklerdi úyreniw yarımótkizgishtiń zonalıq strukturası hám tok tasıwshılardıń qozǵalańlıǵı haqqında bahalı informaciya alıwǵa múmkinshilik beredi.

Usıǵan uqsaǵan izertlewlerde tiykarınan hár qıylı metodlar qollanıladı. Bul metodlardıń barlıǵı VAX nı diformaciyalawǵa alıp keledi.

Ayırım jaǵdayda ólshenetuǵın yarımótkizgishli diodtıń xarakteristikaları quramalı, sızıqlı emes bolıp esaplanadı, taǵıda bir waqıttıń ózinde bir neshe mexanizmler qatnasıwı múmkin. Sonlıqtanda qandayda bir unamlı nátiyje alıw ushın bir mexanizm qatnasqan uchastkanıń xarakteristikasın alıw bolıp esaplanadı.

Elektronlı geweksheli ótiw (p-n)-bul diffuziyalıq elektr maydanǵa iye hár qıylı elektrótkiziwshenlik yarımótkizgishtiń eki oblastı arasındaqı ótiw qatlamı. Sol sebepli eektron-gewekli ótiw házirgi zaman diodlarınıń hám tranzistorlarınıń tiykarǵı elementi bolıp sanaladı. Ol yarımótkizgishte eki oblastı arasında ótiw qatlamin bolıp tabıladı. Olardıń birewi n-tiptegi, al ekinshisi p-tiptegi

¹ 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.

elektrótkizgishlik bolıp yarımótkizgishli kristall donorlı hám akceptorlı qosımta menen legirlengen p-n ótiwge iye boladı. Sonday aq p-n ótiw sonday qásiyetke iye, yaǵnıy p-n ótiw tiykarında hár qıylı yarımótkizgishli ásbaplardı shıǵarıwǵa múmkinshilik beredi¹.

Meyli bir jaǵı elektron menen, al ekinshi jaǵı gewek penen legirlengen kristall berilsin. Bular shegara arqalı ótiw uqıbına iye. Shegaranıń shep jaǵındaǵı bólimde elektronlardıń sanı oń jaǵındaǵınan az, sonlıqtan elektronlar p-oblastın diffuziyalawǵa umtıladı. Usı waqıtta p oblastqa túsken elektronlar geweksheler menen rekombinaciyalanadı hám olardıń koncentraciyası tereńlegen sayın azayadı. Keri jaǵdayda geweksheler de usı qubılıs boladı.

Solay etip p-n ótiwde diffuziyalı tok payda boladı

$$I_{\text{dif}} = I_{\text{pdif}} + I_{\text{ndif}} \quad (1.1.10)$$

Qozǵalıstaǵı zaryad tasıwshılar kristallıq reshetka menen baylanısqa qosımtalı atomǵa iye kompensaciyalanbaǵan zaryadtı basqa oblastqa ótkende taslap ketedi. Elektronlar n-oblasttan diffuziyalansa, onda sol oblastta donorlar ionlangan oń zaryad qaldıradı. Solay etip p hám n oblasttı beriwshi shegaranıń dógeresinde qarama-qarsı zaryadlar keńisliginen turıwshı ótiw qatlamı payda boladı. Onıń qalınlıǵı onlaǵan mikrometrden aspaydı. Keńislikli zaryadlar ótiw waqtında elektrlik maydan payda etedi. Eger Shottki qosqınına túsirilgen kernewdi úlkeytsek, onda lavinlik toktıń ósiwi menen volt-amperlik xarakteristika bir qansha parıqlanadı. Tok kernewdiń artıwı menen aytarlıqtay áste ósedı. Ádette toktıń sheksiz ósiwiniń ornına oń diferencial qarsılıq penen turaqlı ǵárezlilik baqlanadı. Bunıń sebebi keńislikli zaryad oblastındaǵı (KZO) maydanınıń bir tekli emes bólistiriliwi bolıp esaplanadı. Urıwshı ionizaciya ádette tek keńislikli zaryad oblastınıń úlken bolmaǵan bóleginde maydanniń

¹ Лебедев А.А., Челноков В.Е. Широкозонные полупроводники для силовой электроники //Физика и техника полупроводников. - 1999. - Т. 33, Вып. 9. - С. 1096-1099.

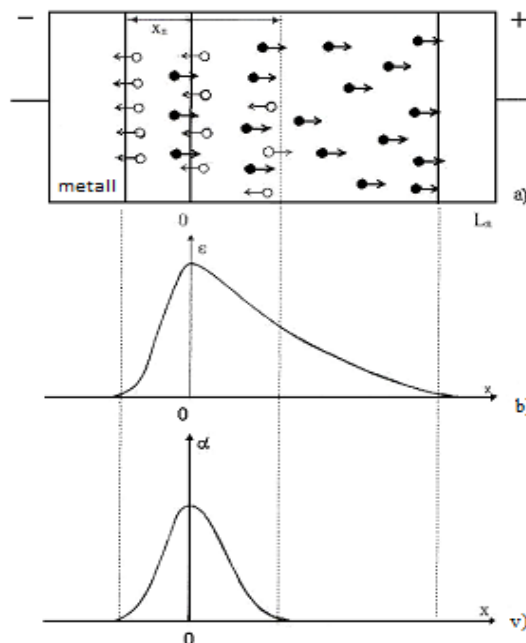
maksimal mánisine iye bolǵan tegislik janında payda boladı. Bul kóbeyiw oblastı dep ataladı. Keńislikli zaryad oblastınıń qalǵan bóleklerinde ionizaciya koefficientiniń maydannan tik ǵárezliligi sebepli urıwshı ionizaciya praktikalıq jaqtan bolmaydı. Bul oblastlarda tek kóbeyiw qabatında generaciyalangan elektronlardıń (n-oblastı tárepinde) hám tesikshelerdiń (p-oblastı tárepinde) aǵısı baqlanadı. Bul oblastlar proetlıq (aralıq) oblastlar dep ataladı 1.1.4-súwret). Olar toktıń ósiwin sheklewshi ballastlıq (teń salmaqlılıqta uslap turıwshı) qarsılıq rolin atqaradı¹.

Eger lavinlik tok az bolsa, onda proetlık oblasttaǵı háreketleniwshi tok tasıwshılardıń keńislikli zaryadı kompensaciyalanbaǵan ionlardıń keńislikli zaryadınıń tıǵızlıǵınan aytarlıqtay az boladı. Bul jaǵdayda elektr maydanınıń kernewliligi, demek ionizaciya intensivliligi, aǵıp ótip atırǵan toktan ǵárezsiz boladı, yaǵnıy qozǵatıwshı tok tasıwshılardıń keńisli zaryadı nátiyjesinde payda bolǵan qarsılıq az boladı. Eger qozǵatıwshı tok tasıwshılardıń kólemlik zaryadınıń tıǵızlıǵı ionlardıń zaryadınıń kólemlik tıǵızlıǵına salıstırarlıqtay bolsa, onda proetlıq oblasttaǵı háreketleniwshi tok tasıwshılardıń zaryadınıń qos maydangá bólistiriliwi (1.1.4-(a)súwret,) kóbeytiw oblastındaǵı elektr maydanınıń hálsizleniwine alıp keledi.

(Kóbeyiw oblastında qozǵalıwshı elektronlar hám geweksheler zaryadları bir-birin kompensaciyalaydı). Keńislikli zaryadtıń usınday hálsiretiwshi háreketi toktıń ósiwin sheklewshi keńislikli zaryadtıń qarsılıǵı sıpatında kórinedi.

¹ . 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

Keńislikli zaryadtıń tásiiri keńislikli zaryad oblastındaǵı maydannıń qayta bólistiriliwine alıp keledi. Sebebi proetlıq oblasttaǵı keńislikli zaryadtıń aqırǵı tıǵızlıǵı lavinlik toktıń ósiwi menen azayadı, al keńislikli zaryad oblastınıń eni ósedi.



1.1.4-súwret. Lavinlik proboyda keńislikte zaryad shegarasında tok tasıwshılardıń (a), elektr maydanınıń (b) hám ionizaciya koefficientleriniń (v) bólistiriliwi. ●-elektronlar; ○-gewekler

Barlıq izertlengen yarım ótkizgishlerge elektronlar hám tesikshelerdiń dreyflik tezlikleri bir dárejege iye bolǵanlaqtan, differencial qarsılıq barlıq waqıtta oń bolıwı kerek. Bul nárseler bir tegis perexodqa da tiyisli bolıp esaplanadı¹.

Eger keńislikli zaryad oblastınıń keńeyiwi (toktıń) artıwı menen kúshli legirlengen oblast arqalı sheklense, onda kórinis ózgeredi. Mısal retinde p^+-n-n^+ strukturasınıń proboy oblısındaǵı volt-amperlik xarakteristikasını qarastırayıq. Bunday strukturada proboy kernewi berilgende tesiliw bolmaydı. Ol tek proboy oblastında keńislikli zaryad oblastı ekenin keńeytiwinde payda boladı. 3 -

¹ . 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

súwrette proboy oblastındaǵı volt-amperlik xarakteristika hám maydannıń bólistiriliwi kórsetilgen.

1.2. Keri differential qarsılıq hám toktı shnurlaw

$$1 - \frac{1}{M_n} = \int_0^L \alpha \left[\exp\left(-\int_0^z (\alpha - \beta) dz'\right) dz \right] \quad (1.2.1)$$

hám

$$1 - \frac{1}{M_p} = \int_0^L \beta \left[\exp\left(-\int_z^L (\alpha - \beta) dz'\right) dz \right] \quad (1.2.2)$$

ańlatpaları, erkin zaryadı tasıwshılardıń keńislikli zaryadı hám p-n ótiwiniń qızıwı elektr maydanınıń bólistiriliwine hám zaryad tasıwshılardıń ionizaciya koefficientine tásir jasalǵan jaǵdayda, p-n ótiwiniń anıq emes kórinistegi volt–amperlik xarakteristikası (VAX) ańlatadı.

Sonlıqtanda bul eki ańlatpa júdá kishkene tok mánislerinde durıs bolıp esaplanadı. Real p-n ótiwlerde, á sirese lavinli proboyǵa tiykarlangan yarımótkizgishli priborlarda tok mánisi sonday shamaǵa jetedi, qozǵalıwshı zaryad tasıwshılardıń keńislikli zaryadınıń hám p-n ótiwiniń qızıwınıń tá siri anaǵurlım dárejesi úlken mániske iye boladı. Bir tekli p-n ótiwindegi, qızıw joq waqıttaǵı proboy processin qarrap óteyik. Egerde p-n ótiwge berilgen kernewdiń mánisin arttırsaq, onda lavinli tok mánisiniń artıwı menen, volt-amperlik xarakteristika (10) hám (1.2.1)-ańlatpalardıń sheshiminen alınǵan mániske salıstırǵanda bir qansha ayırmashılıqqa iye boladı¹.

¹ Исмайлов 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

Kernewdın artıwı menen tok júdá ástelik penen artadı. Tok mánisiniń sheksiz stacionar gárezlik bayqaladı. Bunday qubılıstın bolıwınıń sebebi, keńislikli zaryad oblastında bir tekli emes maydannın bólistiriliwinde bolıp esaplanadı. Soqqılıq ionizaciya ádette keńislikli zaryad oblastınıń úlken emes bóleginde artadı. Bul oblast kóbeyiw oblastı dep ataladı.

Al keńislikli zaryad oblastınıń qalğan bólimlerinde bolsa, ionizaciya koefficienti maydanğa gárezli bolğanlıqtan, soqqılıq ionizaciya mániske iye bolmaydı. Bul oblastlarda tek ғана kóbeyiw oblastında generaciyalangan elektronlardın (n-oblastı tárepinde) hám geweklerdın (p-oblastı tárepinde) dreyfi bayqaladı. Bul oblastlar proletlı oblastlar dep ataladı. Bul proletlı oblastlar, toktnń ósiwin shegaralawshı oblast qarsılıǵı rolin atqaradı.

Egerde lavinli tok az bolsa, onda proletlı oblastlarda zaryad tasıwshalardıń keńisli zaryad shıǵarılǵannan anaǵurlım kishi boldı. Bul jaǵdayda elektr maydanınıń kernewlılıǵı, aǵıp turǵan tokqa gárezli bolmaydı, yaǵnıy qozǵalıwshı tasıwshılardıń keńislikli zaryadına tiykarlangan qarsılıq júdá az bolıp qaladı.

Egerde qozǵalıwshı tasıwshılardıń kólemlik zaryadınıń tıǵızlıǵı, ionlardın kólemlik zaryadınıń tıǵızlıǵı menen teńlesse, onda proletlı oblastlardaǵı qozǵalıwshı zaryad tasıwshılardıń zaryadınıń dipol tárizli bólistiriliwi, kóbeyiw oblastında elektr maydanınıń ázzileniwine alıp keledi. Keńislikli zaryadtın bul ázziletiwshi tási, toktnń ósiwin shegaralawshı, keńislikli zaryadtın qarsılıǵı kórinisinde payda boladı¹.

¹ Исмайлов 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

Keńislikli zaryad tási, keńislikli zaryad oblastında elektr maydanınıń bólistiriliwine alıp keledi. Yaǵnıy, proletlı oblastlarda lavinli toktıń ósiwi menen kólemlik zaryad tıǵızlıǵınıń juwmaqlawshı mánisi azayadı, al keńislikli zaryad oblastınıń eni artadı.

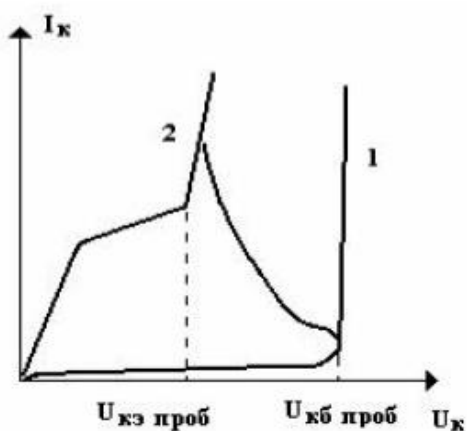
Egerde kernewdiń artıwı menen keńislikli zaryad oblastınıń keńeyiwi kúshli legirlengen oblast penen shegaralansa, onda bul kartina ózgeriske ushraydı.

Proletlı oblastta tok tıǵızlıǵınıń artıwı menen elektronlar koncentraciyası, primesli ionlardıń koncentraciyası menen teńlesedi hám diferencial qarsılıq anaǵurlım dárejede artadı.

Tok hám kernewdiń bul diapazonında struktura prokolına erisiledi hám proletlı oblastta maydan birden artıp ketedi. Qozǵalıwshı zaryadlardıń koncentraciyası, primesli ionlardıń koncentraciyasına shama menen teńlesken jaǵdayda, keńislikli zaryad oblastında, $n-n^+$ shegarasındaǵı maydan udarlıq ionizaciyanı baqlaw ushın jetkilikli bolıp esaplanadı hám kerı differential ótkiziwsheńlikke iye uchastka payda boladı.

Toktıń keyingi ósiwlerinde maydan eki ionizaciya oblastında «ajraladı», yaǵnıy n -bazasınıń oraylıq oblastında udarlıq ionizaciya, usı oblastta maydan kernewliliginiń páseyiwi saldarınan azayadı. Kerı differential qarsılıqlı S -tárezli g uchastkasınıń payda bolıwı, shártli túrde toktıń shıńırlanıwına alıp keliwi kerek, yaǵnıy, barlıq lavinli toklar bir tochkada koncentracıyalanadı. Legirlengen p^+-n-n^+ tipli srukturalarda, kerı differential qarsılıq, úlken tıǵızlıqqa iye boladı.

1.3. Kremniy tiykarında islengen tranzistorlardıń túrleri hám mikroelektronikada qollanılıwı. Lavinli tranzistorlar



1.3.1-súwret. Lavinli tranzistordıń volt-ampere xarakteristikası

Lavinli tranzistorlar óziniń strukturası boyınsha ádettegi bipolyar tranzistorlardan hesh ajıralmaydı. Biraq, lavinli tranzistorlardıń volt-ampere xarakteristikası ádettegi tranzistorlardıń volt-ampere xarakteristikalarından parq qıladı, sebebi lavinli tranzistordıń kollektor ótiwi lavinli proboyǵa sáykes

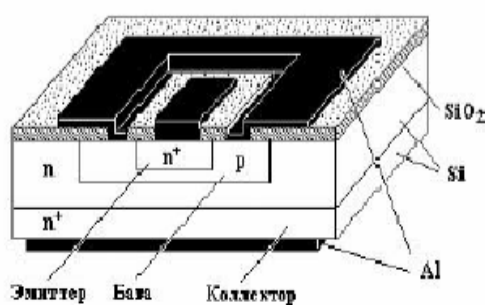
keliwshi kernewlerde isleydi. Joqarıda kórsetilgenindey p-n ótiwde úlken keri kernewler bolǵanda tok tasıwshılar kristall reshıyotka atomların urıp ionizaciyaǵa (udarnaya ionizaciya) jetetuǵın energiyaǵa iye boladı. Usı menen birge generaciyalanǵan tok tasıwshılar kollektor toktı kóbeytedi. Bul tok bazadan kollektorga baǵıtlanǵan gewekshelerdiń togı hám kollektordan bazaǵa ótiwshi elektronlar aǵımınan ibarat boladı. Bazadan gewekshelerdiń ketiwi hám oǵan elektronlardıń keliwi baza oblastında teris zaryadtıń payda bolıwına alıp keledi. Bul emitter ótiwdiń potencial barerdıń, kemeyiwine alıp keledi. Sonıń menen birge baza-emitter otiw togınıń ósiwine hám kollektor toktıń kóbeyiwine ákeledi. Óshirilgen emitter jaǵdayda barlıq kollektorlıq tok keri kernew tási astında turǵan kollektordıń p-n otiw hám baza arqalı ótedi. Keri kernew tási astında turǵan otiwdiń, qarsılıǵı úlken boladı, sonlıqtan lavinli tranzistordıń, volt – ampere xarakteristikası keri kernew tási astında turǵan otiwdiń xarakteristikasına uqsas boladı (1.3.1-súwret 1-ǵárezlilik, baslanǵısh stadiya). Kollektorlik kernewdi $0 < U_K < U_{KБпр}$ diapazonda kóbeytkende, tranzistor arqalı ótiwshi tok kóp emes ósedı. U_K kollektorlik kernewdi U_K shekem kóbeytkende kollektorlıq ótiwdiń, lavinli proboy qubılısı hám toktıń tez pát penen ósiwi

baslanadi (1.1.3- súwret, gárezlilik 1 – vertikal uchastka). Toktıń ósiwi menen emitter ótiwdiń qarsılıǵı azayadı hám tranzistordıń volt - amper xarakteristikası 1.1.3-súwrette keltirilgen iymek túrin aladı. Óshirilgen baza jaǵdayda barlıq tok emitter ótiw arqalı ótedi. Lavinli proboy uchastkada kollektor toktıń ósiwi emitter toktıń ósiwinen keń boladı. Yaǵnıy bazadan kollektorǵa gewekshelerdiń togı hám kollektordan bazaǵa elektronlar toklardıń qosındısı emitterden bazaǵa ótiwshi gewekshelerdiń togınan kóp boladı. Usınday toklardıń qatnastaǵı tranzistordıń bazası teris hám kollektordıń oń zaryadlanıwına ákeledi. Kollektordıń oń zaryadınıń kóbeyiwi kollektorlik kernewdiń azayıwına alıp keledi. Kollektorlik kernewdiń azayıwı toktıń ósiwi menen tranzistordıń volt – amper xarakteristikasında teris diferencial qarsılıq uchastkasına alıp keledi.

1.4. Quwatlı bipolyar tranzistorlar

Quwatlı tranzistorlar dep shashırawdıń sheklengen quwatlıǵı 10Vt dan kop bolǵan tranzistorlarǵa aytamız. Bul jerde 1 den 10 Vt ka shekem tranzistorlar ortasha quwatlıqtaǵı tranzistorlar dep ataladı, al bulardan kóbirek shamaǵa iye bolǵan tranzistorlar úlken quwatlıqtaǵı tranzistorlar dep ataladı. Quwatlı tranzistorlar da shashıratıwshı quwatlıqtıń ósiwi menen p-n ótiwlerdiń temperaturası ósedı. Úlken temperaturalarda tranzistor buzıladı. Sonlıqtan quwatlı

tranzistorlardı konstrukciyalaǵanda tranzistordıń kristallınan jıllılıq qashıwınıń jaqsılawına baǵıtlangan hár qıylı ámeller qollanıladı. Zamanagóy quwatlı bipolyar tranzistorlar - Bul tiykarınan elektronlı tiptegi kremniy tiykarında islengen n-p-n tranzistorlar. Quwatlı tranzistorlar vertikal shólkemlestiriwge iye boladı, yaǵnıy emitter hám baza vıvodlar plastinaniń joqaǵı bóleginde jaylasadı, al kollektordıń vıvodı onıń tómengi bóleginde jaylasadı. Quwatlı bipolyar tranzistordıń tipikalıq strukturası 1.4.1-súwrette kórsetilgen.

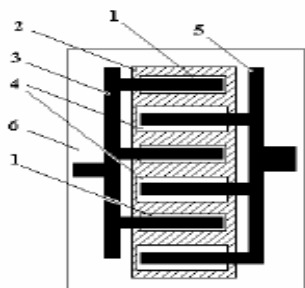


1.4.1-súwret. Quwatlı bipolyar tranzistordıń vertikal kórinisi

Usınday struktura baza oblastı kishi qalınlıqta isleniwi múmkin. Bul tranzistordıń jumısshı xarakteristikaları bazanıń tok ótkeriw koefficientiniń kóteriliwi sıyaqlı boladı. Jáne, kollektor dıń vertikal jaylasıwı jaqsı jıllılıq qashırtıwdı támiyinlep beredi hám bul jıllılıq processti jaqsılaydı. Emitter toktıń úlken tıǵızlıqlarında quwatlı tranzistorlarda baza togı hám kóbeyedi.

Baza toktın, kóbeyiwi baza qarsılıqtaǵı kernewdın túsiwiniń ósiwine alıp keledi. Payda bolǵan elektr maydan emitterdın oraylıq bóleginen onıń periferiyalarına baǵıtlanǵan boladı. Bul maydan kollektor da qozǵalıp atırǵan tiykarǵı emes tok tasıwshılardıń aǵımın emitterdın sırtına qısıp shıǵaradı. Úlken tok tıǵızlıqarda qısıp shıǵarıw effekti sıyaqlı, effektiv túrde tek emitterdın sırtqı oblastı isleydi. Bul sırtqı oblastınıń maydanı emitterdın haqıyqıy maydanınan anaǵurlım az boladı.

Qısıp shıǵarıw effekti sıyaqlı quwatlı tranzistorlardın jumıs xarakteristikaların jaqsılaw ushın berilgen emitter maydan ushın emitterlewshi oblastınıń qalay bolsa da kóp maydaniń alıw zárúr. Jánede, emitterden baza elektrodqa shekemgi qashıqlıqtı azaytıw kerek boladı. Bul shártler tranzistorlardın arnawlı konstrukciyalarında orınlanadı. Usıǵan mısıl retinde kekilli strukturaǵa iye bolǵan tranzistorlar bola aladı. Usınday tranzistorlarda emitter hám baza bir neshe uchastkalar túrinde islenedi. Bul uchastkalar bir birinen bazı bir qashıqlıqta jaylasadı hám ulıwma kontakt



1.4.2-súwret. Kekilli strukturaǵa iye bolǵan tranzistorlar

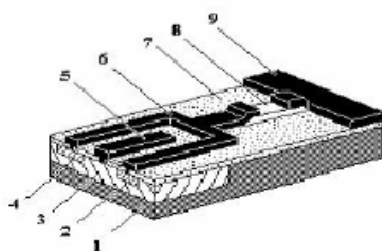
podlojka.

Kekilli strukturaǵa iye bolǵan tranzistorlarda emitterdın bólek oblastlar arasındǵı toktıń bólistiriliwi bir teksiz bolıwımúkin. Bul tómendegishe túsindiriledi. Eger emitterlerdın biri basqa emitterlerge salıstırǵanda kóbirek toktı injekciyalasa, onda arımótkizgishli kristall usı emitterdın kasında kúshlierek ısıp baslaydı. Temperaturanıń kóbeyiwi tok tasıwshılardıń kóbirekinjekciyasına alıp keledi hám bul usı emitterli ótiwdın volt-amperli xarakteristikasına tásir jasaydı. Bunnan qutılıw ushın tranzistor strukturasına

benen biriktiriledi.

1.4.2-súwrette kekilli strukturaǵa iye bolǵan bipolyar tranzistordın konfiguraciyası kórsetilgen. Bul jerde 1- bazalıq oblastlar, 2- kollektordın ulıwma qatlamı, 3- baza oblastınıń alyumiyniy metallizaciyasınıń ulıwma shınası, 4- emitter oblastlar, 6- yarımótkizgishli

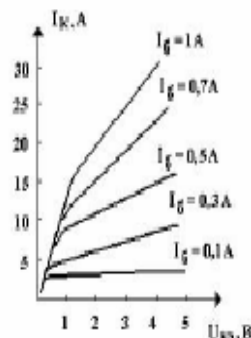
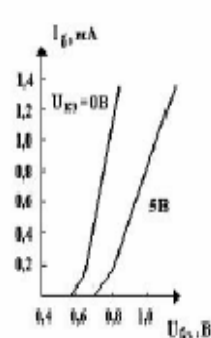
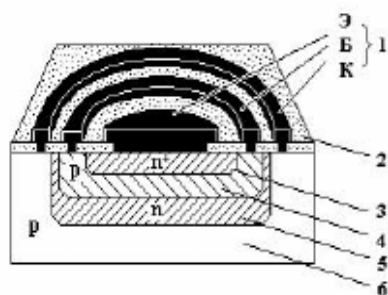
hár bir emitter menen izbe-iz jaylasqan stabilizaciya qılıwshı rezistorlar kiritiledi. Eger qálegen emitteR arqlı tok ósetuǵın bolsa, onda usı emitterge izbe-iz jaylasqan rezistorda kernewdın túsiwi ósedı. Usınday ósiw emitterli ótiwdegi tuwrı kernewdın azayıwına hám onnan ótiwshi toktın shekleniwine alıp keledi.



1.4.3.-súwret.Stabilizaciya qılıwshı metall rezistorǵa iye bolǵan bipolyar tranzistor.

1.4.3-súwrette metall stabilizaciyaǵa iye bolǵan tranzistor strukturasınıń elementi kórsetilgen.1-podliyka,2,4-emitterdiń bólek oblastları,e-baza oblastı 5-bazanıń metall (alyumiyniy) vivodı,emitterdiń vivodı,dielektrikli qorawshı tósek (keń qollanılatuǵın

SiO_2), 8-stabilizaciya qılıwshı rezistor ,9 – ulıwma emitterlik shına,quwatlı tranzistorlardın bazalıq hám emitterlik qatlamlarınıń,bir-birine qarata óz- ara jaylasıwınıń hár qıylı variantları bar. Barlıq bul konstrukciyalarda eń úlken shashıratıwshı quwatlılıqtı alıw ushın emitter perimetriniń onıń maydanińa qatnası hám usı perimetrdiń baza maydanına qatnası maksimal keń bolıwı kerek.1.4.4-súwrette mısıl retinde deńgelek elektrodlarǵa iye bolǵan quwatlı tranzistordıń konstrukciyası berilgen. Bul jerde 1- EmitteRdın (E), bazanıń (B) hám kollektordın (K) alyumiyniyden islengen elektrodları, 2- emitterdiń emitterlıq oblastı, 4- bazalıq p- oblast,5- emitterlıq n oblast, 6 - p tipli podlojka. Bazı bir jaǵdaylarda quwatlı tranzistorlardı islegende p tipli yarımótkizgishli podlojkalarda qollanıladı. 1.4.5-súwrette KT935A quwatlı bipolyar tranzistordın kiris hám shıǵıs volt - amper xarakteristikaları hám onıń tiykarǵı maksimal sheklengen ekspluataciyalıq parametrleri kórsetilgen .



1.4.4-súwret.Dóngelek elektrodlarğa iye 1.4.5-KT935 tranzistordın kiris hám bolğan bipolyar tranzistordın kórinisi shıǵıs volt-amper xarakteristikası

KT935A tranzistordın maksimal sheklengen parametrleri.

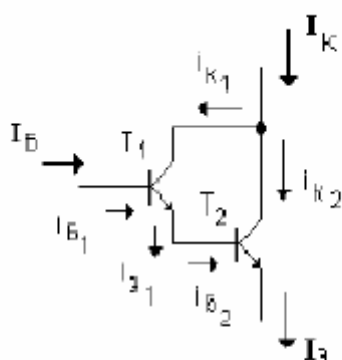
1.4.1-keste.

Kollektordın turaqlı togı	25 A
Bazanıń turaqlı togı	10 A
Kollektordın impuls togı	30 A
Bazanıń impuls togı	15 A
Emitter-baza turaqlı kernewi	5 V
Emitter-baza impuls kernewi	6 V
Kollektor-emitter turaqlı kernewi	80 V
Kollektor-emitter impuls kernewi	100 V
Kollektordın turaqlı quwatlıǵı	60 Vt
Ótiwlerdın maksimal temperaturası	150°S

1.4.1-keste hár qıylı mámleketler tárepinen islenip shıǵarılıp atırǵan quwatlı bipolyar tranzistorlardın salıstırmalı parametrleri kórsetilgen.

Tip	Analog	$P_{max} (V_t)$	$U_{max} (V)$	$I_k \text{ max post. (A)}$	$I_k \text{ max imp. (A)}$	h_{21}
KT8259	MJE3008	70	700	8	15	60
KT8260	MJE3009	90	600	12	24	65

quwatlı, joqarı voltlı tranzistorlardıń kemshiligi - bul olardıń kishi tok ótkeriw koefficienti bolıp esaplanadı. Bul kemshilikten qutılıw ushın quwatlı, joqarı voltlı tranzistorlardı konstrukciyalaǵanda Darlington



1.4.6-súwret. Darlington sxemasında tranzistorlardıń qosılıwı.

sxemada qosılǵan tranzistorlar qollanıladı.

Usınday ozgeshelıqke iye bolǵan tranzistordı qarastıramız 1.4.6-súwret. WE sxemada qosılǵan tranzistordıń tok boyınsha kúsheyiwiniń koefficienti tómendegishe anıqlanıwı múmkin Sáykes túrde Darlington sxemaǵa kırıwshi hár bir tranzistor ushın kollektorlik toklar boladı:

$$I_{K1} = B_1 \cdot I_{B1} \quad (1.4.1)$$

$$I_{K2} = B_2 \cdot I_{B2} \quad (1.4.2)$$

barlıq sxemalıń tolıq kollektorlıq toǵı hár bir tranzistorlardıń kollektorlıq toklarınıń qosındısına teń bolǵanlıqtan

$$I_K = I_{K1} + I_{K2} \quad (1.4.3)$$

hám birinshi tranzistorlıq emitterlik toǵı shaması ekinshi tranzistordıń bazalıq togına teń bolatugının esapqa alıp, yaǵnıy

$$I_{B2} = I_{E1} \quad (1.4.4)$$

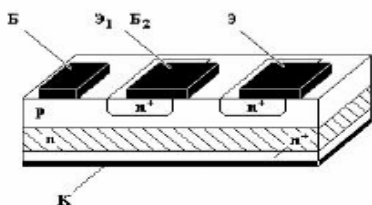
tranzistordıń kúsheyiw koefficientinen kóp boladı. 1.4.6-súwrette bir kollektordıń tolıq togı tómendegishe boladı

$$I_K = B_1 \cdot I_B + B_2 (B + 1) I_E \quad (1.4.5)$$

Endi, tok boyınsha kúsheyiwiniń koefficienti túsiniǵın qollanıp tabamız

$$B = B_1 + B_2 + B_1 B_2 \quad (1.4.6)$$

Bul keltirilgen ańlatpadan kórinip turǵanıńday, Darlington sxemada qosılǵan tranzistorlardıń tok boyınsha kúsheyiwiniń koefficienti hár bir yarımótkizgishli podlojkada tayarlangan Darlington sxemada qosılǵan tranzistorlardıń strukturası berilgen. Quwatlı bipolyar tranzistorlardıń jıyılıqlı xarakteristikaların jaqsılaw ushın kollektor-baza p-n ótiwdiń maydaniń azaytıw kerek, al jıllılıq rejimdi jaqsılaw ushın onı kóbeytiw kerek. Usı eki bir birine qarama qarsı máselelerdi sheshiw ushın bir kristallda islengen izbe-iz qosılǵan kishi quwatlı tranzistorlar jıyındısı quwatlı tranzistorlardı beredi. Mısal retinde, bir zamanogóy quwatlı tranzistor ushın joqarıdaǵı texnologiya boyınsha qollanıw nátiyjesinde 4,5 ke 6,65 mm ólshemlerge

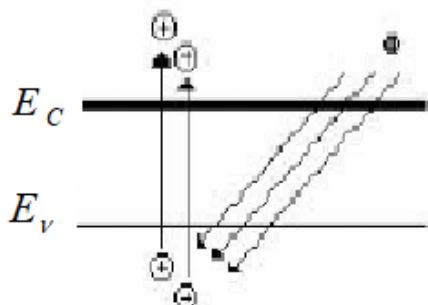


1.4.7-súwret. Bir podlojkada Darlington sxemada tayarlangan tranzistorlardıń konstrukciyası

ıye bolǵan kremniy kristalları qollanıldı. Bul kristallda ólshemleri 1,25 ge 0,24 mm bolǵan 24 bazalıq oblastlar jaylasadı. Hár bir usınday oblastqa keńligi 12 mkm hám uzınlıǵı 220

mkm bolǵan 40 Emitterler jaylasadı. Eki końsılas emitter arasındaqı qashıqlıq 18 mkm teń. Kristalldıń ulıwma maydanı 30 mm² tórt ese kollektorlıq ótiwlerdiń summar maydanınan kóp boladı (7,2 mm²), bul kristalldıń kishi jıllılıq qarsılıǵın hám jaqsı jıllılıq alıp qashıwdı támiyinlep beredi. Usınday tranzistordıń sheklengen kollektorlik kernewi 100V teń, kollektorlik maksimal tok 50A hám maksimal shashıratıwshı quwatlıq boladı 200Vt.

1.5. p-n ótiwge iye bolǵan maydanlı fototranzistor

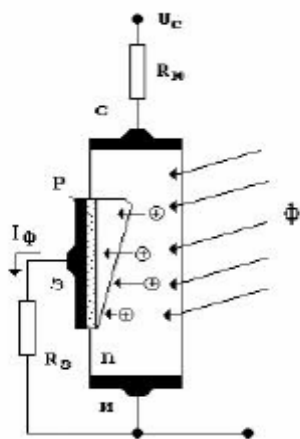


1.5.1-súwret.Yarımótkizgishtegi tok tasıwshılardıń fotogeneraciyası.

p-n ótiwge iye bolǵan maydanlı tranzistor úlken sezgirlikke iye bolǵan jaqtılıq qabıllaǵısh sıpatında qollanılıwı múmkin.Usı jaǵdaydı qaraştıramız.Yarımótkizgishtke fotonlarenergiyası qadaǵan etilgen zonaeniń en keń bolǵan jaqtılıq penen tásir etkende,yarımótkizgishte elektron-geweksheli jubaylardıń generaciyası payda boladı (1.5.1-súwret). Jaqtılıq penen qozǵan elektronlar válent zonadan ótkizgishlilik zonaǵa ótkeriledi hám bul erkin elektronlar sanın kóbeytedi- Δn . Válent zonada erkin geweksheler kóbeyedi $-\Delta p$. Erkin tok tasıwshılardıń sanińnń ózgeriwi yarımótkizgishtnń tolıq elektrótkizgishliligin σ kebeytedi.

$$\sigma = q(n + \Delta n)\mu_n + q(p + \Delta p)\mu_p \quad (1.5.1)$$

Bul jerde n , p - jaqtılıq joq bolǵandaǵı elektron hám gewekshelerdiń konsentraciýaları.Eger yarımótkizgishte elektr maydan bar bolsa,onda fotogeneraciyalangan tok tasıwshılar ayırıladı hám usınday maydanda qarama



1.5.2-súwret.Maydanlı fototranzistor

qarsı táreplerge dreyfleydi.Jaqtılıq qabıllaǵısh retinde maydan tranzistordıń qollanılıwı 1.5.1-súwrette kórsetilgen. Tok ótkiziwshi kanaldı jaqtılıq penen tásir etkende elektron- gewekshe jubaylardıń generaciyası payda boladı. Keri kernew tásir astında turǵan zatvor p-n ótiwdiń elektr maydanı generaciyalangan tok tasıwshılardı ayıradı. Geweksheler yarımótkizgishtnń p

oblastına ótedi hám zatvor shınjırda dI fototoktı payda etedi. Elektronlar tranzistordıń stok tamanına ketedi. Eske salıp ótsek, tranzistor kanal arqalı tok etkende, zatvordıń p-n ótiwi zatvor hám istok arasında kernew túsirilmegende hám keri kernew tásiri astında boladı. Fototok zatvordıń sırtqı qarsılıǵı R_3 arqalı tkende usı zatvorda $dU_3 = dIR_3$ kernew túsiwin payda etedi. Zatvordagı kernewdıń túsiwi kanal arqalı ótiwshi toktıń ózgeriwine alıp keledi. Demek, tranzistordıń stok togı $dI_c = SdI_c R_3$ teń bolǵan shamaǵa ózgeredi. Usı menen birge fototok SR_3 ret kóbeyedi. Sonday ese maydan fototranzistordıń sezgirliǵı fotodiodtıń sezgirliǵinen keń boladı. Sırtqı kernewdi kóterip maydan fototranzistordıń sezgirliǵın kóteriwge boladı. Biraq, usı menen birge zatvordıń waqıt turaqlısı $t = R_3 C_{3H}$ kóbeyedi, yaǵnıy bul tranzistordıń tez islewi azayadı. 1.5.2-súwrette maydan fototranzistorlardıń sırtqı kórinisi berilgen.

II BAP.Eksperiment metodikasi

2.1. <<MODUL -2>> modulyaciyalıq differenciyalaw metodikasi

Yarım ótkizgishtıń zonalıq strukturasınıń ayırıqshalıǵı volt- amperlik xarakteristikadaǵı sıızıqlı emesliklerdi úyreniw yarım ótkizgishtıń, zonalıq strukturası hám zaryad tasıwshılardıń tásirindegi qızıw processleri haqqında bahalı maǵlıwmatlardı alıwǵa múmkinshilik beredi. Biraq hátte salıstırmalı joqarı maydanlarda volt-amperlik xarakteristikasınıń kórsetilgen sıızıqlı emeslikleri hásiz ajıraladı. Bunnan tısqarı, bunday sıızıqlı emeslikler parametrlerin jıyılıqlı ǵárezlılıqleri úlken qızıǵıwshilik tuwdıradı. Bunday izertlew ushın tiykarınan hár qıylı modulyaciyalıq metodlar, mısalı ekinshi, úshinshi garmonikalı ólshew, garmonikanıń awısıwı, sinxronlı detektorlaw qollanıladı. Bul metodlardıń biriniń mazmunında volt-amperlik xarakteristikasını differenciyalawǵa alıp keldi. Kópshilik jaǵdaylarda yarımótkizgishlerdi izertlewde eksponenciyal uchastkalar parametrlerin anıqlaw zárúr. Bul eksponentanıń kórsetkishine proporcional bolǵan xarakteristikaları boyınsha modulyaciyalıq differenciyalaw metodı arqalı ańsat ámelge asırıladı.

$$(I' / I(Y)) : (I' / I(Y)) \quad (2.1)$$

xarakteristikaları ulıwmalıq túrge iye, onıń yarımótkizgishler fizikasında ushrasatuǵın bólegi:

$$I = U^n \exp(U' / U_0) \quad (2.2)$$

funkciyasın izertlew járdeminde analizleniwi múmkin. Bul izertlewler modulyaciya- alıq metodlar járdeminde ámelge asırıladı.

Modulyaciyalıq differenciyalaw metodı qadaǵan etilgen zonadaǵı qáddilerdi,

xarakterlik jogaltıwlar hám sol boyınsha betliq qatlamdaǵı qosımtalar bolıwın hám yarımótkizgishtıń zonalıq strukturasınıń ayırıqshalıqların anıqlawǵa múmkinshilik beredi.

Yarım ótkizgishli diodlardıń kishi lokal sıızıqlı emesliklerin anıqlawdıń

hám sezgir metodı modulyaciyalıq differenciyalaw bolıp tabıladı. Volt-ampereklik xarakteristikada bunday sıızıqlı emesliklerdiń bolıwı tok otıw mexanizmleriniń almasıwı, lokal tok ótiwshi uchastkalarınıń qosılıwı (MP), tok ótiwdiń, bir tekiliginin buzılıwın bildiriwi múmkin. Sonlıqtan volt – amperlik xarakteristikaniń sıızıqlı emesliklerin esapqa alıw degradaciya processlerdiń múmkinshilikleri hám tezligi haqqında juwmaq shıǵarıwǵa, yaǵnıy volt-ampereklik xarakteristikaniń proboy uchastkasında isleytuǵın diodlardıń isenimliligin anıqlawǵa múmkinshilik beredi.

Metod ideyası diod arqalı ótiwshi toǵı garmonikasın diodqa Y_0 awısıw kernewi menen birlikte izbe-iz modulyaciyalawshı jargı tis tárizli signal berilgende anıqlawdan ibarat. Eger $U_{\infty} \ll Y_0$ bolsa, onda $I_0(Y_0)$ birinshi garmonika amplitwdası $\partial I(\partial y/Y_0)$ birinshi tuwındıǵa proporcional, ekinshi amplitudası I_{27} volt-ampereklik xarakteristikaniń ekinshi tuwındısına proporcional. Bul tuwındılar modulyaciyasız ólshengen tuwrı volt-ampereklik xarakteristikadan alınıwı da múmkin edi. Biraq lavinli proboydı úyreniwde bul hár bir mikroplazmanıń qosılıwında joqarıláp baratuǵın shawqımnıń hádden tis joqarı qáddide bolıwı sebepli qıyın másele bolıp tabıladı hám tek ǵana modulyaciyalıq metod bul máseleni sheshiwge múmkinshilik beredi. Mikroplazmalıq proboydı modulyaciyalıq izertlew ushın qollanılatuǵın elektrnoliq sxema 2.1.1-súwrette kórsetilgen. Ol izbe-iz tutastırılǵan, barlıǵı birge signal deregi blogin payda etetuǵın razvertka generatorı $(Y_0(+)-1)$ turaqlı awısıw deregi Y_{0-2} is jiyiliginiń modulyaciyasınıń generatorı 3 ten turadı Y_0 mánisi Y_v proboy kernewine jakın ornatılıwı múmkin hám sońınan mikroplazmalardıń diferencial iymekliklerin hám volt-ampereklik Xarakteristikası alıw ushın Y_0 kishi intervalda tolqınlı túrde jayıladı. Bunda ΔY eki kordinatalı «Samopisec»-8 diń, X kordinatasın basqarıw ushın qollanıladı.

Tok úlğisi jer menen signal dereginin shıǵıwı arasında ólshenetuǵın úlğidegi kernewde minimal qátelikke iye bolatuǵın 4 – operacion kórsetkish

penen ólshenedi. operacion kórsetkishtin shıǵıw signalı statikalıq volt-ampereklik xarakteristikani dúziw ushın qollanıw múmkin yamasa sinxronlı detektor -5 járdeminde qayta islewden soń, diferencial gárezlilik dúziw ushın qollanıladı. Birinshi tuwındı ólshenetuǵın jaǵdayda awısıw kernewi jiyilikti kóbeytkishte 6 túrlendirilgen eki eselengen jiyiliktegi Y_2 signal menen modulyaciyalanadı $U_{2\infty}$ eki jaǵdayda da signal sıpatında qollanıladı.

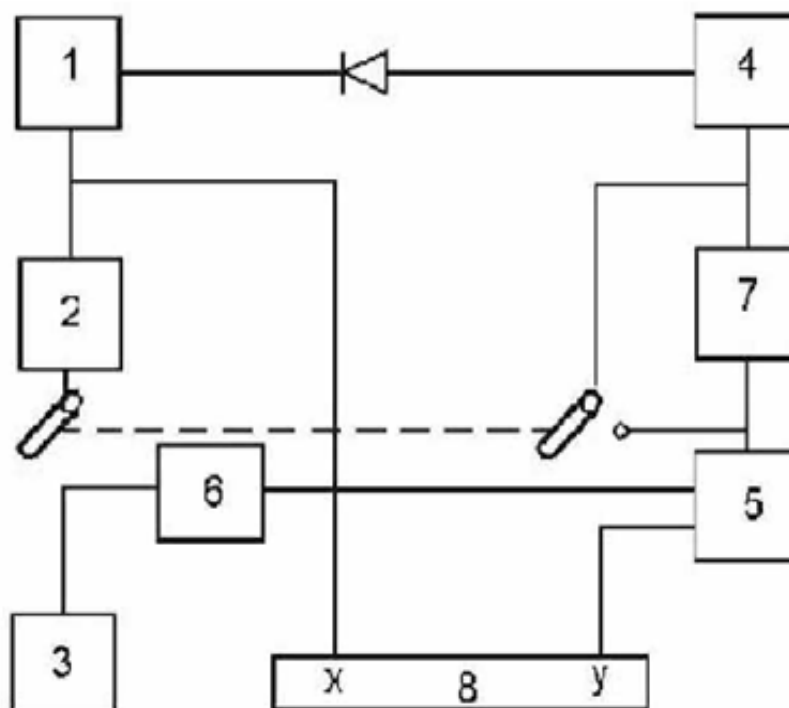
Razvertka kernewi X samopisec kernewine baradı. Kernewdin kishi modulyaciyalıq mánisi mikroplazmalıq shawqımnın statistikalıq qásiyetlerine kúshli tásir etedi.

Volt-ampereklik xarakteristikaniń ekinshi tuwındısının grafigi hár bir jańa mikroplazmanıń qosılıwına sáykes keletuǵın ushqır piklerden turadı. Bul piklerdin sanın úlgedeǵı mikroplazmalardıń tolıq jıynaǵı anıqlaydı. I_{27} shıǵıw signalı diodtin mikroplazma menen baylanıspagan diferencial qarsılıǵı bolıw sebebinen qosımsha jargı tis tárizli signaldan turadı. Bul signal 16 funkciyası bolıp ol mikroplazmalıq piklerdin ánsat ajıratlıǵan bolıwı múmkin.

Solay etip modulyaciyalıq metod mikroplazmalardıń qosılıwında kernewdi hám olardıń sanın anıqlawǵa hám hár bir bólek mikroplazmaǵa sáykes keletuǵın tok basqışları hám ótkizgishliligin anıqlawǵa múmkinshilik beredi. Mikroplazmalıq proboy diodtin biraz defektli tochkalarında bolatuǵınlıǵı sebepli mikroplazmalar sanı hám proboydin differenciya iymeklikleriniń ulıwma forması diodtin jumıs oblastınıń defektililigin xarakterleydi. Bul tiykarda biraz qızǵan mikroplazmalardı bólip shıǵarıwǵa, olardıń temperaturasını hám degradaciya intensivliligin bahalaw múmkin bolǵanlıqtan bul maǵlıwmatlardı diod isenimliligin hám sapasını boljaw ushın qollanıwǵa boladı. Tuwındı volt-ampereklik xarakteristikalardı anıqlaw metodı diodta proboydin hár qıylı kernewine iye oblastlardı anıqlawǵa múmkinshilik beredi. Hár bir bunday oblastqa $\partial I / \partial y^2(Y_0)$

gárezlilikindeǵı maksimumlar hám gárezlilikindeǵı basqışlar sáykes. Usı xarakteristikaları boyınsha proboy bir tekli emesligin jumıs rejimindeǵı eń

qızıǵın oblasttıń temperaturasın bahalawǵa boladı hám potencial isenimli emes bolǵan diodlardı ajratıwǵa múmkinshilik beredi.



2.1.1-súwret. Mikroplazmalı pıroboydı modulyaciyalıq izertlew ushın qollanılatuǵın sxema

2.2. Degradaciyağa sebepshi parametrlardi anıqlaw

Biz bul bólimde elektrlik xarakteristikasınıń differenciyalaw metodınıń jańa ilimiy informaciya alıwǵa múmkinshilik beretuǵını haqqında qısqasha toqtap etemiz.

Yarımótkizgishli diodlardıń xarakteristikaları Om nızamınıń buzılıwına hám volt-amperlik xarakteristikada sızıqlı emesliklerdiń payda bolıwına alıp keledi. Usı sızıqlı emesliklerdi úyreniw yarımótkizgishtiń zonalıq strukturası hám tok tasıwshılardıń qızdırıw processı haqqında bahalı informaciya alıwǵa múmkinshilik beredi. Biraq salıstırma joqarı maydanlarda volt-amperlik xarakteristikasınıń korsetilgen sızıqlı emes oblastları hálsiz ayırılıp turadı.

Usıǵan uqsas izertlewlerde tiykarınan hár qıylı modulyaciyalıq metodlar qollanıladı (ekinshi hám úshinshi garmonik, garmonik aralasıwı, sinxronlı detektorlaw). Bul metodlardıń barlıǵı volt- amperlik xarakteristikanı differenciyalawǵa alıp keledi .

Ilimiy izertlew júrgizgende ólshenetuǵın xarakteristikalar quramalı, sızıqlı emes bolıp esaplanadı, jáne de bunda bir waqıttań ózinde bir neshe mexanizmler birlikte qatnasadı. Sonlıqtan nátiyjede alıwdıń bir Etapı-bul qandayda bolmasın bir mexanizmin qatnasıwı bolıp etken uchastka xarakteristikasını alıw bolıp esaplanadı. Bunday analiz júdá keń miynet talap etedi. Ádette ol hár qıylı sızıqlı emes masshtablarda grafikler dúziwge alıp keledi (yarım logarifmliq, ekiliq logarifmlik hám taǵı basqalar).

Yarımótkizgishlerdi izertlegende jiyi-jiyi Eksponențial uchastkalardıń parametrlerin ólshewge tuwra keledi. Bunı $(I' / I); (I'' / I)(U)$ hám $I(U)$ xarakteristikaların mwdwlyaciyalıq differenciyalaw metodı járdeminde ańsat Ámelge asırıwǵa boladı (Bul xarakteristikalar óz gózeginde eksponenta kórsetkishine proporcional boladı). Bul izertlewler modulyaciyalıq metodlar

járdeminde Ámelge asırıladı. Bular eksperimenttiń nátiyjeleriniń analizin ádewir ápiwayılastıradı hám ádewir dálirek etedi.

Tunnelli spektraskopiya hám elektro shaǵılısıw uqsaǵan yarımótkizgish fizikasınıń hár qıylı eksperimental bólimleriniń bir-biri menen baylanısı sonda, olardaǵı izertlenip atırǵan xarakteristikalar sıızıqlı emes, jáne de ulıwma sıızıqlı emesliklerden tıskarı úlken emes lokallı iyiliwlerge hám xarakteristikalarında úzilislerge uchastkalardı bayqawımız mómkin.

Bul lokaddıq sıızıqlı emeslikler uchastkası fizikalıq tábiyatqa iye. Tunellik spektroskopiyada olar qadaǵan zonada ruxsat etilgen qáddilerdiń bar bolıwı menen hám usı qáddilerdiń qatnasıwında qosımsha tok tasıwshı kanallardıń payda bolıwı menen baylanısqa.

Oje hám Rentgenlıq spektraskopiyada bul sıızıqlı emeslikler qozdırıwshı elektronlardıń energiyası shıǵınıń bolıwı menen baylanıslı hám emittirlengen hám shaǵılısqan elektronlardıń energetikalıq bólistiriliwinde kórinedi.

Barlıq korsetilgen jaǵdaylarda xarakteristikalarda bir tekli emesliklerdiń bar bolıwı modulyaciyalıq metodlar járdeminde anıqlanadı. Bul ólshenip atırǵan xarakteristikalardıń joqarı tártipli tuwındıların anıqlawǵa alıp keledi.

Solay etip, modulyaciyalıq differenciya law metodları qadaǵan zonadaǵı qáddilerdi izertlewge mómkinshilik beredi. Sonday-ak; xarakterli shıǵınlardı hám olar boyınsha betlik qatlamdaǵı qosımtalardıń bar ekenligin hám yarımotkizgishlerdiń zonalıq strukturalarınıń ayırıqshalıqların anıqlawǵa mómkinshilik jaratıp beredi.

Sońǵı jıllardaǵı izertlewlerdiń korsetiwinshe úlken geometriyalıq ólshemlerdegi SHotki tosqınıń volt-amperlik xarakteristikasınıń keri shaqasın tiykarınan mikroplazmalar dep atalıwshı kishi proboy oblastları anıqlaydı. Ádette bul erte proboy (jumsaq proboy) kopshilik ilimpaz izertlewshilerdiń, pikiri boyınsha kristallıq reshetkadaǵı defektler menen baylanıslı boladı .

Kópshilik izertlewlerdin, nátiyjesinde mikroplazmalar SHottki tosqınında úlken toklardın, ótip ketiwine sebepshi boladı, sonday-aq ulıwma SHottki tosqınınıń, proboylıq kernewinen kop kishi kernewlerde ayırım-ayırım mikroplazmalar payda bolıwı múmkin . SHottki tosqınınıń, proboylıq kernewine jaqınlağan sayın joqarıda aytıp etilgen mikroplazmalar arqalı belgili bir shamadağı tok ótedi. Bul tok SHottki tosqınında qosımtalardıń, diffuziyası bolıp ótetuǵın hám sáykes esabattıń, elektrlik xarakteristikaların, ózgeriwine alıp keletuǵın temperaturaǵı shekem hámde lokallıq qızıwın payda etedi. SHottki tosqınınıń, sapasın xarakterlew ushın birinshi mikroplazmanı payda etiwshi kernew shamasın, sonday-aq mikroplazmanın, baskada parametrlerin anıqlawımız kerek boladı.

Sońǵı waqıtları mikroplazmalıq qubılısılardıń, ayırıqsha maqsette qollanıwları úyrenilmekte. Usılarga baylanıslı mikroplazmanıń, parametrlerin anıqlaw óz aldına fundamentallıq hám praktikalıq jaqtan ilimpazlarda qızıǵıwshilik tuwdırmaqta.

Aytıp ótilgen máselelerdi orınlaw ushın mikroplazmalıq xarakterigraf dep atalıwshı mikroplazmanıń, fizikalıq qásiyetlerdi anıqlaytuǵın arnawlı qurılmanıń, eksperimental nátiyjelerniń analizlewimiz kerek. Bul mikroplazmalıq metodtıń, islew principi hám blok sxeması aldınǵı paragrafta qısqasha aytııp ótilgen edi. Mikroplazmalıq xarakterigraf tiykarınan toklardıń, pulsaciyalanıwın hám sekiriwlerin payda etetuǵın mikroplazmanıń, qásiyetlerin, sonday - aq volt-amperlik xarakteristikaniń, tikligin ólsheydi. Volt-amperlik xarakteristikadağı korpusqa ornatılǵan yarımótkizgishlilerde, yaǵnıy tayar yarımótkizgishli ásbaplarda baqlaw múmkin.

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 ápiwayılastırılıwına alıp keletuǵın tiykarǵı faktorlar

tómendegilerden ibarat:

1. Shottki diodlarınıń volt-amperlik xarakteristikası oscillograf ekranında gradiurovkalánan kordinatalıq kósherlerde sıızıladı, bul volt-amperlik xarakteristikasınıń berilgen uchastkasınıń shamasın bahalawǵa múmkinshilik beredi.

2. Baslanǵısh utechka toǵınıń volt-amperlik xarakteristikaǵa tásir etiwın kompensaciyalaw múmkinshiligin beredi, sonday-aq aldın, tómén kernewlerde payda bolǵan mikroplazma arqalı ótiwshi toktı kompensaciyalawǵa múmkinshilik beredi. Bular SHottki tosqınıń basqa mikroplazmalarınıń tasirin 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 toǵınıń sekiriw shamasın, mikroplazma qarsılıǵın) izertlewdiń qolaylı ilajları kórilgen. Sonday-aq parametrlerdı anıqlawdıń bir bólegi turaqlı tokta alıp barıladı, al bul ólshewlerdiń dáligin arttıradı.

Mikroplazmalıq xakteriograf mikroplazmalardıń jeke xarakteristikaların (differencial qarsılıǵın- R_s , jumıstı islew rejimindegi mikroplazma arqalı ótetuǵın toktı - ΔI) anıqlawǵa múmkinshilik beredi. i-shi mikroplazmanıń differencial qarsılıǵı volt-amperlik xarakteristikasınıń sıızıqlı uchastkasınıń iymeyiwi boyınsha anıqlanadı. Egerde $R_{s1}, R_{s2}, \dots, R_{si}$

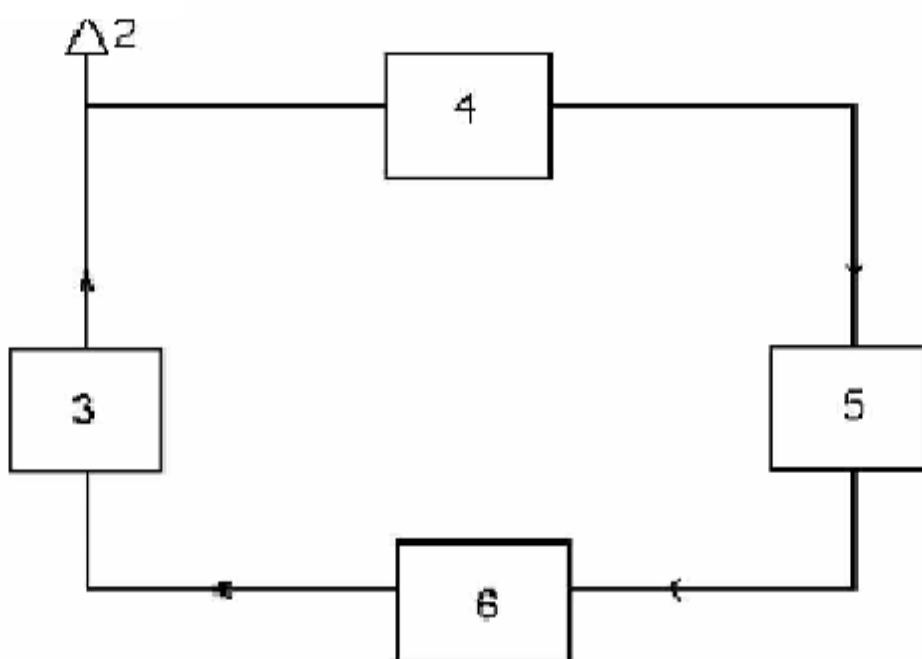
volt-amperlikxarakteristikasınıń izbe-iz uchastkalarınıń qarsılıqları bolsa, onda sáykes mikroplazmalardıń qarsılıqları tómendegidey boladı:

$$R_{MP} = R_{si} / (R_{si} - R_{si}) \quad (2.2.1)$$

Jumıs islew rejiminde mikroplazma arqalı ótiwshi toktı volt- amperlik xarakteristikasınıń sáykes uchastkasın jumıs islew kernewine U_j shekem ekstrapolyaciyalaw jolı menen anıqlawǵa boladı:

Xarakteriograftıń blok-sxeması 2.2.1-súwrette kórsetilgen. Ol

tómendegishe isleydi: turaqlı kernew deregi 1-den 2-ge kernew beriledi. Sonday-ak diodqa jargı tis tárizli tok generatorı 3-den jiyligi f_{qayt} bolğan jargı tis tárizli tok impulsleri beriledi, ol oscillograftıń shıǵıw tochkası menen sinxronlanğan boladı. Diodtaǵı kernew shıǵıw qarsılıǵı joqarı bolğan hám az sıyımlılıqqa iye bolğan keń polosalı kúsheytkish 4 járdeminde kúsheytiledi. Sonı usı signal $f_{qayt} > 20$ jiylikte amplitudalı jiylikli xarakteristikasını kúsheytetuǵın



2.2.1-súwret. Mikroplazmalı xarakteriograftıń blok sxeması. 1-turaqlı kernew deregi; 2-diod; 3-jargı tis tárizli tok generatorı; 4-kúsheytkish; 5-amplitudalı-jiyilikli xarakteristikanı kúsheytkish 6-osciolograf

kúsheytkish 5-ge baradı. Usı waqıtta oscillograf 6 ekranda R_{si} volt-

amperlík xarakteristikasınıń uchastkaları súwretlenedi: waqıt kósheri (abscissa) úlgi 2 arqalı ótetuǵın tokka sáykes keledi, al kordinata úlgi-degi kernewge sáykes keledi. Amplitudalı jiyilikli xarakteristikasınıń jiyiginde

joqarılawı volt-amperlik xarakteristikağa tásir etpeydi, biraq joqarı jiylikli kernew qurawshıları bar jerlerde, yaǵnıy mikroplazmalardıń qosılıw orınlarında volt-amperlik xarakteristikada jayılawlardıń payda bolıwına alıp keledi.

Joqarıda aytıp ótilgen xarakteroigraf tek ǵana mikroplazma xarakteristikaların ólshep qoymastan mikroplazmalardıń bar ekenligin hám diodlardıń volt-amperlik xarakteristikasını operativ qadaǵalap baradı, al mikroplazmalardıń xarakteristikaları arasındaǵı korrelyaciyanı esapqa ala otırıp, úlgiardıń sapası, isenimlilikin hám de proboy uchastkasında islewshi, mısalı, lavinli-proletlı diodlardıń uzaq islewshiliginde boljap bere aladı.

Sonday ak bul metodtıń basqa metodlardan jáne bir utımlı tárepi, yaǵnıy eger biz oscillografta kergen mikroplazmalarımız sol pribordıń aktiv oblastındaǵı defektler menen baylanıslı dep esaplasaq, onda sırtqı tásirlerdiń nátiyjesinde anıǵıraǵı bazı bir optimal rejimlerde (Radiaciyanıń dozası, kúshli maydanlardıń uslap turǵan waqıtı h.,t.b) mikroplazmalar sanı azayadı. Al Bul oz náwbetinde logikalıq jaqtan analiz júrgizgenimizde mikropalazmalar sanınıń, azayawı sol pribordıń, aktiv oblastında defektlerdin, qozǵalısqı kelip sol aktiv oblasttan shıǵarılıp ketiwi degen pikirge alıp keledi. Sebebi kopshilik ilimpaz izertelewshilerdiń, (usı tarawda kóp miynetleri bar) pikiri boyınsha eger biz termogeneracion toktıń, úlken bolıwın proboy uchastkasındaǵı jumsaq proboydıń (mikroplazmanıń) payda bolıwı menen baylaıstıraq onda mikroplazmanıń sanınıń azayawı hámde toktıń sezilerli dárejede ádewir tomen túsiwi bir birine tikkeley baylanıslı process. Egerde onday jaǵdayda biz hár bir mikroplazmağa bir defekten sáykes keledi desek onda mikroplazmanıń azayıwı bul sol pribordıń jumısshı oblastınan defektlerdiń zıyansız oblastqa ketiwi dep túsinemiz.

2.3. Texnikalıq qáwipsizlikti saklaw qaǵıydaları.

Sırtqı faktorlardıń tásirinen saqlanıw

Radiaciya, Lazer, SVCH nurın shıǵaratuǵın úskeneler menen isleskende tómendegidey qáwipler ushırawı múmkin: Elektr hám jarılıw, órt alıw qáwipleri.

Bulardan elektr tárepinen qáwipi joqarı kernewliklerdegi (Vollı) azıqlandıırıw sisteması, lampa nakalivaniya azıqlandıırıw shınjırı hám registraciyalawshı fotoelektron kóbeytkishtiń joqarı kernewli shınjırları mısal bola aladı.

Elektr qáwipsizligi

a. Kernewdi hám jarıtqısh elektr tarmaqların qoyılǵan shártlerge muwapıq ornadıw.

b. Elektr toǵınan jarakatlanıwdan qorǵanıw zatları menen támiynlew. Qorǵanıw zatların kórsetilgen waqıtlarda sınaqtan ótkeriw.

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

g. Hár bir meyli ol professor ooqıtıwshıma , texnik -laborantpa yamasa magistrme texnika qáwipsizliginiń talapların biliw boyınsha jıllıq attestaciyaadan ótkeriw.

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

Radiaciya qáwipsizligi

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

- Radiaciya qáwipsizligi xızmetin dúziw haqqında buyırıq.

Tájiriybe ótkiziwde qáwipsizliktiń saqlanıwı

Biz tájiriybe ótkizgen úskenelerdiń basım kópshiliginde hár qıylı kernewde isleytuǵın elektr úskeneleri paydalanıldı. Sonlıqtan birinshi gezekte elektr qáwipsizligin saqlawǵa kereginshe itibar berildi. Barlıq elektr úskeneleri sáykes ótkizgishler arqalı jer menen tutastırıldı. Jumıs orınlanatuǵın úskeneler janińda edenge rezina yamasa taxtadan islengen tósek tóseldi. Tájiriybelerdi orınlawǵa instrukciyadan ótken, al joqarı kernewdegi úskenelerde 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 materiyyallar menen tosıladı (jawıp qoyıladı).

III BAP. Eksperiment nátiyjeleri túsindiriliwi

3.1.Sırtqı radiaciyalıq tásir ettiriwden keyingi kremniyli ásbaplardıń elektrofizikalıq xarakteristikalarınıń ózgerisin izertlew

Sırtqı radiaciyalıq tásirlerden keyingi kremniyli priborlardıq fizikalıq xarakteristikalarınıq ózgerisin izertlew. Birinshi ádebiy sholıw bóliminde aytıp ótilgenindey lavinnoproletniy diodlardıń sonsha dárejede keń izertleniwine qaramastan, lavinalıq proboylıq rejimde islewshi yarım ótkizgishli ásbaplardıń degradaciyağa alıp keliwshi qubılısılardıń fizikalıq sebeplerin elege deyin tolıq anıqlanılmağan. Sonlıqtanda mikroplazmanıń payda bolıwı, mikroplazmanıń qatnasıwında volt-amperlik xarakteristikanıń ayırıqsha ózgesheliklerin izertlew elege shekem ózinıń ayırıqsha ózgeshelikleri menen hám fundamentallıq hám prikladnoy tárepten áhmiyetliligin joǵaltkan joq. Usı ayılǵanlardı esapqa ala otırıp qániygelik dissertaciya jumısımızda tiykarǵı másele etip usı mashqalalardı qarastırıwdı maqset etip qoydıq. Ásirese texnologiya menen baylanıslı bolǵan dislokaciya hám onıń dinamikası haqqında elege shekem tolıq maǵlıwmat joq.. Radiaciyalıq getterirovaniya bir qansha dárejede alǵa ilgerlewine qaramastan elege deyin defektsiz kremniydi alıw máselesi tolıq sheshilmegen. Sonlıqtanda kremniyli yamasa galliy arsenidli yarım ótkizgishli materiýallardı izertlegenimizde olardıń elektrofizikalıq parametrlerin sapasınıń tómenlep ketiwin sol texnologiya menen baylaıstıramız hám sebeplerin izertleybiz. Demek hár qıylı defektler menen baylanıslı yarım ótkizgishli ásbaplardıń sapasınıń tómenlep ketiwin yaǵnıy degradaciyanıw processı izertlew hám onıń mexanizmlerin túsindiriw yarım ótkizgishler elektronikasında hám mikroelektronikasında úlken áhmiyetke iye máselelerdiń biri bolıp tabıladı. Bizıń jumısımızdıń maqsetide usı máselelerdi analizlep onıń fizikalıq mánisin túsindiriwden ibarat bolıp esaplanadı.

Izertlenilgen obektimiz kremniyli p^+-n-n^+ diodlı struktura bolıp tabıladı.

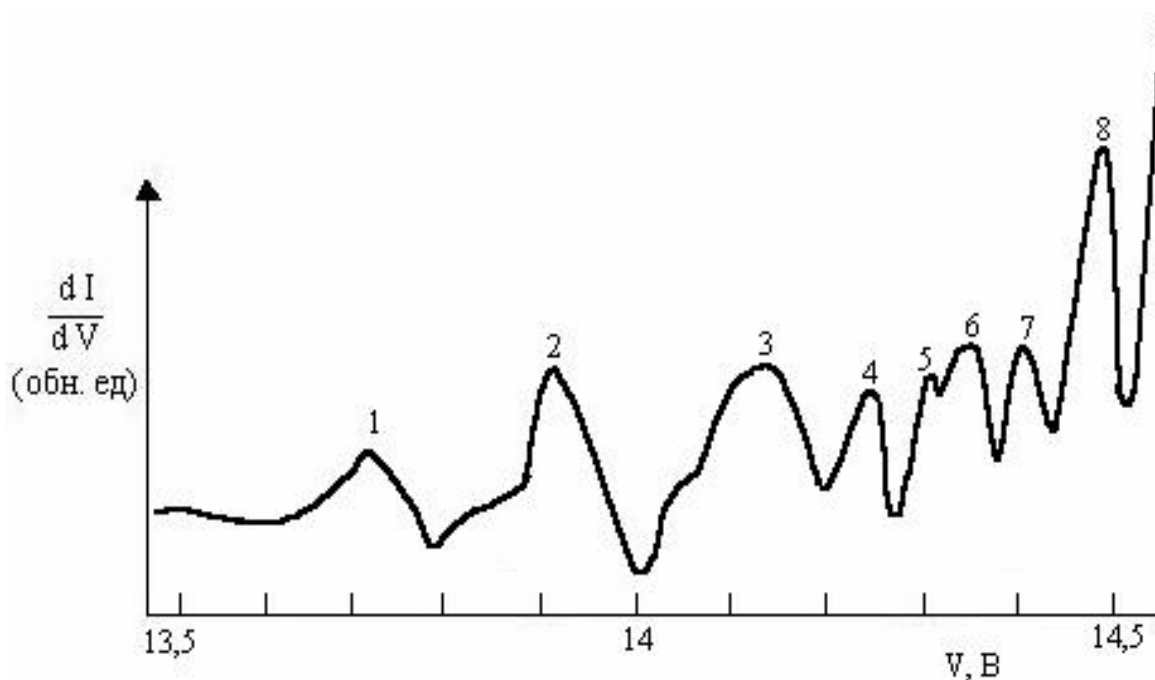
Bunday diodlı strukturanı izertlegenimizde bizlerge kobirek qızıqlı oblastı kishi legirlengen oblast n - oblastı bolıp esaplanadı, konsentraciyası shama menen $2 \cdot 10^{16} \text{sm}^{-3}$. Biz pitiriw jumısımızdıń ekinshi bolimde ayılğan metodika járdeminde kremniyli diodlı strukturanın keri bağıttağı volt-ampereklik xarakteristikasını olshedik, keyin mikroplazmalı uchastkaların bólek ayırıp kórsetiw maqsetinde keri bağıttağı volt-ampereklik xarakteristikasınıń proboy uchastkası aldın ekinshi belimde kórsetilgen metodqa - mikroplazmalı xarakterigraf járdeminde birinshi hám ekinshi tuwındıların ólshedik. Eksperimentte alınğan nátiyje sonı kórsetti splavnoy texnologiya usılı menen alınğan diod hám diodlıq strukturalar menen birge, diffuziya usılı menen alınğan diod hám diodlıq strukturalarda da bir neshe sandağı mikroplazmalardıń bar ekenin eksperimentallıq jaqtan kórsettik.

Jánede sonı aytıp etiwimiz kerek ádebiy sholıw bóliminde kremniyden splavnoy texnologiyada tayarlanğan stabilitraonlardadı degradaciyalıq processlerdi analizledik. Sol alınğan nátiyjelerge tiykarlana otırıp diffuziya usılı menen alınğan diod hám diodlıq strukturalardada sonday fizikalıq processler bayqaladı degen pikirdemiz. Ayırıqsha atap kórsetetuǵın jeri sonnan ibarat eki usılda alınğan diod hám diodlıq strukturalardadı xarakteristikalaradı salıstıratuǵın bolsaq, splavnoy texnologiya usılı menen alınğan stabilitraonlarda mikroplazmalardıń sanı 3 ten 10 ǵa shekem jeti hám mikroplazmalardıń jaylasıw tártibine keletuǵın bolsaq bunday stabilitraonlarda mikroplazmalar bir birine Jaqın tıǵız jaylasqan, al diffuziyalıq usılda alınğan diodlarda splavnoy texnologiyada alınğan diodlarǵa salıstırǵanda mikroplazmalar sanınıń az ekenin eksperimentte kórdik. Al bunday mikroplazmalardıń tıǵız jaylasıwı hámme waqıt yarım otkizgishli ásbaplar ushın qáwipli boladı. Jánede birinshi mikroplazmalıq kernew menen sońǵı mikroplazmalıq kernew arasındadı ayırmashılıq 0,7 V tan 3V kernew aralıǵında boldı. Probaylıq kernewdıń bunday parıq beriwide yarım otkizgishli ásbaplardıń sapasına keri tásin tiygizedi.

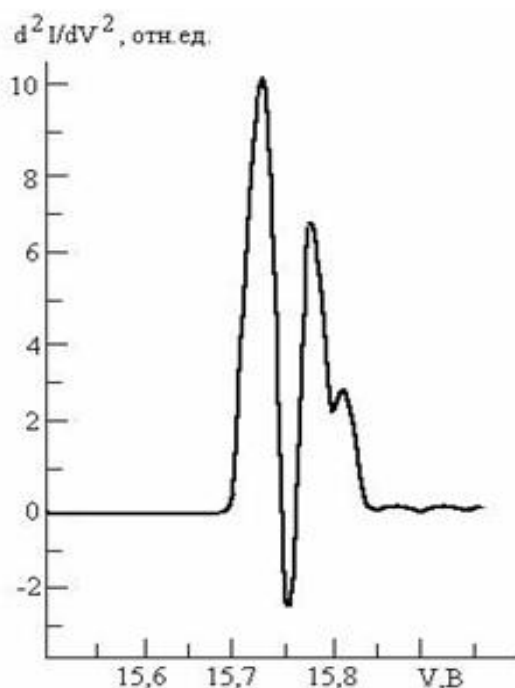
Endi bul alınğan nátiyjelerdi analizleytuǵın bolsaq ádebiyatlardıń

korsetkenindey mikroplazma bar jerde ádette tok tıǵızılıǵı úlken boladı, sáykes temperaturada úlken boladı. Demek tok aǵısınıń bir tegis emessizligin jaratıp sonıń menen birge temperaturalar ayırmashılıǵın payda etedi. Al bul processler óz gózeginde elektrofizikalıq parametrlerdıń ózgeriwine alıp keledi. Atap aytkanda faktor kachestvo - m dep atalıwshı koefficienttiń ózgerisine, tok tasıwshılardıń jasaw waqtınıń - x ózgeriwine, diffuziya uzınlılıǵınıń - L ózgeriwine alıp keledi. Bunday elektrofizikalıq parametrlerdıń ózgerisi kópshilik jaǵdayda yarımótkizgishli diod hám diodlı strukturalardıń sapasınıń tómewine yaǵnıy degradacıyalanıwına alıp keledi. Alınǵan eksperimentallıq nátiyjelerdi analizleytuǵın bolsaq, tómendegi 3.1.1

-súwrette sırtqı tásirdeń nátiyjesinde toktıń hám kernewdıń ózgerisi kórsetilgen.



3.1.1-súwret. Kremniyden tayarlangan stabilitronlardıń probay uchastkası aldınıń birinshi tuwındısı.

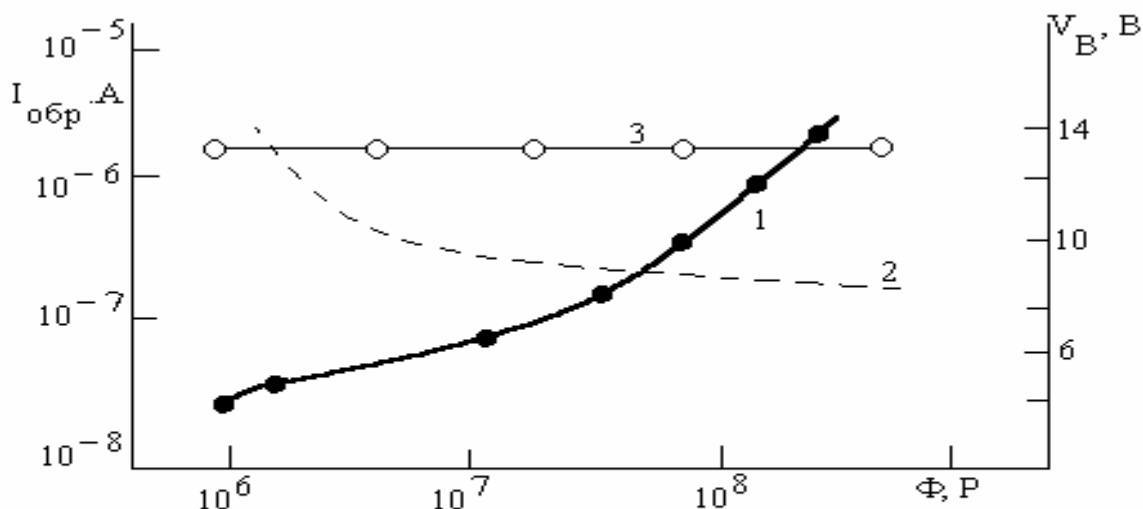


3.1.2-súwret.Kremniyden tayarlangan diffuziyalıq diodlardıń proboy uchastkası aldınan ekinshi tuwındısı

Temperaturanıń birteksizligi termikalıq kernewdıń generaciyasına alıp keledi, al bul óz gózeginde mikroplazma bar jerdegi tereń energetikalıq qáddige iye urovenlerdıń generaciyasın kúsheytedi. Demek joqarıda ayılǵan yaǵnıy ádebiy sholıw bóliminde keltirilgen mexanizm boyınsha diod erterek isten shıǵadı. Kópshilik avtorlar bul kemshiliklerdi saplastırıw maqsetinde hár qıylı sırtqı tásirlerdi úyrengeń. Mısalı avtorlardıń ilimiy jumıslarında ultrases tolqınlarınıń, gamma radiaciyasınıń tásirin hám elektrotrenirovkanıń tásirlerin joqarıda ayılǵan kemshiliklerdi saplastırıw maqsetinde qollanılǵan .

Sırtqı aktiv tásir ótiwshiler: yelektrotrenirovka, gamma radiaciya hám ultrases tolqınlarınıń táhiri eki gruppada diodlardıń volt-ampereklik xarakteristikasına eki túrli tásir etedi, al proboy kernewine barlıq jaǵdaydada birdey tásir etedi

Demek bul jerde kremniyli splavnoy texnologiyada tayarlanğan



3.1.3-súwret.Eki túrli gruppa ushın kerı bağıttağı volt- amperlik hám proboy kernewiniń gamma tásirine baylanıslı ózgerisi kórsetilgen.

stabilitraonlarda, diffuziyalıq usılda tayarlanğan kremniyli p-n ótkellerge salıstırǵanda derlik ózgermegenligi yarım otkizgishli materialdıń ózindegı defektlerdıń bekkem ornasqanlıǵın yamasa anıǵıraq aytqanda defektlerdi shege menen qaǵıp qoyǵanday dep túsınsekte boladı. Al bunday tereńde bekkem jaylasıp úlken baylanıs energiyaǵa iye defektlerdi azaytamız dep sırtqı tásirdiń energiyasın yamasa radiaciyanıń dozasın arttırsaq, onda strukturanıń ózin buzıp alıw itimallıǵı kebirek. Al diffuziya usılı menen alınǵan diod hám diodlıq strukturalarda sırtqı tásirdiń, nátiyjesinde elektrofizikalıq parametrlerdi jaqsılaw ánsatıraq. Sebebi bul usılda alınǵan strukturalardaǵı defektler sırtqı tásirge júdá sezgir boladı.

1.Kremniyli stabilitraonlardın, proboylıq kernewine aktiv tásir aytarlıqtay ózgeris kiritpeydi, sebebi joqarıda twsindirilgenindey.

2.Joqarıda ayılǵanındaǵıday eki turli gruppa diodlardıń birinshisinde kerı bağıttaǵı toktıń mánisi artadı, ekinshi gruppa diodlarda kerı bağıttaǵı toktıń mánisi belgili interval aralıǵında kemiydi. Biziń qarastırǵan jaǵdayımızda kópshilik jaǵdayda mikroplazmalıq strukturanıń ózgermewi bayqaladı. Bunıń sebebi avtordıń pikirinshe mikroplazma menen baylanıslı bolǵan

dislokაციyalar strukturaga bekkem ornasqan yaғniy joqarıda keltirilgenindey defektler kúshli baylanıs energiyasına iye dep túsiniwge boladı.

Kópshilik avtorlardın ilimiy jumıslarında kremniyli p^+-n-n^+ strukturalarğa radiaciyanın tásirin hám onın táhiri nátiyjesinde elektrofizikalıq parametrlerdi jaqsılawğa bolatwǵınlıǵı haqqında erterekte ayılǵan. Yaғniy termikalıq hám termikalıq emes usıllar menen yarım otkizgishli struktura hám onın tiykarında tayarlangan tayar ásbaplardıń elektrofizikalıq parametrlerin jaqsılawğa bolatwǵınlıǵı haqqında bir qansha keń muǵdarda jumıslar bar. Keyingi waqıtları termikalıq (elektrotrenirovka) hám radiaciyalıq usıllar menen birge ózinın ápiwayılıǵı menen, effektiv tásir etiwı menen yarım ótkizgishlerdi qayta islewde (obrabotkilewde) keńnen qollanılatuǵın metodlardın biri bul ultrases tolqınlarının táhiri bolıp tabıladı.

Joqarıda keltirilgen metodika járdeminde p^+-n-n^+ -diodlı strukturanın volt-amperlik xarakteristikasını hám onın proboy oblastı aldının birinshi tuwındısını ólshedik. 18-súwretlerde kórsetilgenindey eksperiment nátiyjesi sonı kórsetti qarastırılıp atırǵan joqarıda kórsetilgenindey p^+-n-n^+ -diodlı strukturanın dáslepki keri baǵıttaǵı volt-amperlik xarakteristikasını ólshegenimizde toktıń muǵdarı 10^{-8} - 10^{-6} A teń ekenin eksperimentte kórdik. Sáykes proboy uchastkası aldın differenciallaganımızda birinshi tuwındısı, bir neshe iymeklerge (piklerge) iye ekenin kórdik. Bulardıń barlıǵıda tiykarǵı emes tok tasıwshılardıń bar bolıwı esabınan volt-amperlik xarakteristikasınıń real jaǵdaylarǵa salıstırǵanda awısıwın kórsetedi, al bul óz gózeginde tochkalıq defektler hám olardıń toplanıwı menen yamasa dislokaciylardıń bar bolıwı menen twsindiriledi. Bunın dálili retinde proboy uchastkası aldın differenciallagan waqtımızda kóriwge boladı - súwrette kórsetilgenindey. Al bunday birteksizliklerdin bar bolıwı hám tiykarǵı tok tasıwshılardıń esabınan toktıń mánisiniń artıp ketiwı óz gózeginde diodlı strukturanın sapasınıń temenlep ketiwine alıp kelip degradaciylanatuǵınlıǵın kórsetedi. Endi bizler jumısımızda bul kemshiliklerdi saplastırıw maqsetinde p^+-n-n^+ -diodlı strukturaǵa ultrases tolqınlarının tásirin úyrendik. Ultrases termikalıq

turlendirgish járdeminde 1-saat dawamında 2V kernewde 160 kGc jiylikte p^+-n-n^+ -diodlı strukturağa beriledi. Solay etip eksperiment nátiyjesi sonı kórsetti proboy oblastı dáslepki xarakteristikağa salıstırğanda bir qanSha dárejede bir tekli boldı yaǵnıy elektrofizikalıq parametrler bir qansha dárejede jaqsılandı dep túsindiriwge boladı.

Bizlerdın pikirimizshe 2V 160 kGc 1-saat rejimde ultrases tolqınlarınıń tásirinde keri baǵıttaǵı toktıń azayıwı hám proboy uchastkası aldın differenciallaǵanımızda piklerdın (mikroplazmalardıń) sanınıń azayıwı, akustikalıq tolqınlarınıń energiyasınıń defekt bar jerde effektiv jutılıp M.K. Sheynkmannıń modeline muwapıq, dislokaciyanıń dógeretine basqada tochkalıq defektler jıynalıp nátiyjede rabochiy oblasttaǵı defektlerde perestroyka (qayta ózgeris) bolıp, bul ózgeris óz gózeginde generacionno-rekombimaciyalıq oraylardın konsentraciyasınıń azayganlıǵınıń nátiyjesi dep túsiniwge boladı.

SHokli teoriyasına muwapıq generacionnıy tok tómendegishe anıqlanadı:

$$I_g = \frac{qn_i s w}{2\tau_p} \quad (3.11)$$

Bul jerde q, n_i, s, w - elektrofizikalıq parametrleri derlik ózgermeydi, demek I_{gev} toktıń kemeyiwın, tiykarǵı emes tok tasıwshılardıń jasaw waqtınıń kóbeyiwi menen baylaıstırıwǵa boladı hám ol tómendegige teń boladı.

$$\tau_p = \frac{1}{\sigma_i N_t \nu_t} \quad (3.1.2)$$

Bul jerde N_t defektler menen baylanıslı bolǵan tok tasıwshı zaryadlardın konsentraciyası, ν_t sechenie zaxvate, jıllıq tezligi. Solay etip Bul jerde defektler menen baylanıslı tok tasıwshılardıń konsentraciyasınıń azayganlıǵın kórsetedi.

Solay etip p^+-n-n^+ - diodlı strukturalarǵa radiaciyanıń, effektivli atermikalıq qayta islew jol menen yaǵnıy temperaturanı arttırmay derlik

komnata temperaturasında tásir etiw nátiyjesinde yarım ótkizgishli ásbaplardıń hám ásbaplıq strukturalardıń sapasın jaqsılawda keńnen qollanıwǵa boladı degen juwmaqqa keldik. Jánede sonı esletip etiw kerek baska sırtqı tásir etiwge salıstırǵanda radiaciyalıq tásir etiw bul arzan, ápiwayı hám effektivli. Al termikalıq tásir etiw bul kópshilik avtorlardıń kórsetkenindey quramalı bolıp esaplanadı, quramalılıǵı sonnan ibarat temperatura úlkeygen sayın keń qatlamlı struktura menen islesiw qıyınlasıp baradı. Solay etip radiaciyanı kremniyli p^+-n-n^+ diodlı strukturalardıń elektrofizikalıq parametrlerin jaqsılawda atermikalıq effektiv tásir ótiwshi retinde qollanıwǵa boladı.

3.1.1-keste. Kremniyli diodlıq struktura parametrlerin gamma kvantlı nurlanıwına baylanıslıǵı.

Doza, R					
	Isx.	10^4	10^5	10^6	10^7
<i>f_v</i> , V	0,77	0,77	0,79	0,80	0,61
<i>n</i>	1,25	1,25	1,16	1,15	1,31
<i>R</i> , Om	7,8	7,8	12	14	6
<i>I</i> A Keri tok	10^{-8}	5×10^{-7}	3×10^{-7}	1×10^{-7}	5×10^{-6}

3.2. Kremniyli priborlardıń islew waqtında hám sırtqı tásirler nátiyjesinde bolıp otótuǵın degradaciyalıq proceslerdi úyreniw

Priborlardıń, elektrofizikalıq xarakteristikaların úyreniw arqalı bul pribor haqqında kóp kerekli maǵlıwmatlarga iye bolıw múmkin. Sonıń ishinde tiykarınan pribordıń sapalılıǵın hám isenimliligin bahalaw múmkin. Sonday-aq, pribordın, xarakteristikaları arqalı bul priborlardı hár tárepleme úyreniw, olardıń, ózgesheliklerin anıqlaw múmkin.

Pribordıń aktiv oblastında qosımta hám defektlerdiń bolıwı qaǵıyda boyınsha onıń degradaciyasına, yaǵnıy saqlanıw processinde tozıwına alıp keledi. Qosımta hám defektlerdiń bolıwı diodtıń islewinde sezilerli dárejede bazıbir elektrofizikalıq qásiyetleriniń tómenlewine tásirin tiygizip sol ábaptıń islew mwddetiniń qısqarıwına alıp keledi.. Bul jaǵday óz nábwetinde degradaciyalıq processlerdiń tezleniwine sebepshi boladı. Ádette degradaciyalıq processlerdiń bolıwına sırtqı faktorlar yaǵnıy temperatura, mexanikalıq kernew, menshikli optikalıq nurlanıwlar kiredi.

Diodlardıń volt-amperlik xarakteristikasını izertlew arqalı biraz maǵlıwmatlar alıwǵa boladı. Mısalı, degradaciyanıń diffuziyalıq mexinizmi ornatılǵan bolsa, onda potenciallıq isenimli emes diodlardı ajratıp alıwda qayta islew múmkin. Bul jaǵdayda ajratıp alıw kriteriyası bolıp belgili waqt dawamında jumıs rejimindegi generacion - rekombinacion tok qáddilerdiniń ózgeriwi xızmet etedi. Eksperiment nátiyjeleriniń kórsetiwinshe jumıs rejimindegi generacion-rekombinacion tok qáddin joqarǵı mániske qaray ózgertsek diod sonshelli isenimsiz boladı. Potenciallıq isenimli bolmaǵan priborlardı ajratıw ushın tunellik toklardıń qadaǵalanıwı da qollanıwı múmkin. Bul priborlar ushın biraz ulıwmalıq effekt degaradaciyalıq processlerdiń intencifikaciyası bolıp tabıladı. Haqıyaqatında da, temperatura hám onıń, gradientin payda etken mexanikalıq kernew toktıń joqarılátılǵan tıǵızlıǵı oblastındaǵı diod maydanı boyınsha ortasha mánislerdi joqarılatađı. Pribordıń isten shıqpay jumıs islewin boljaw ushın degradaciyalıq

processlerdi stimullastıratúǵın faktorlardı biliw kerek hám toktıń birteksiz bólistiriliwin anıqlawǵa múmkinshilik beriwshi metodlardı esapqa alıw júdá áhmiyetli. Bul metodlar hár qıylı yarımótkizgishli diod tipleri ushın ulıwmalıq bolıp tabılatuǵınlıǵı ayrıqsha áhmiyetke iye hám degradaciyanı anıqlaytuǵın mikromexanizmnen ǵárezsiz olardıń isten shıqpay jumıs islewini boljawǵa múmkinshilik beredi. Bunday metodlarǵa: shawqımlı mikroplazmanıń xarakteristikalarındı ólshew metodu, tuwındı volt amperlik xarakteristikalarındı anıqlaw metodu, ótkeldiń jıllılıq xarakteristikaların anıqlaw metodu. Proboy uchastkasında islewshi diodlardıń isenimliligin mikroplazmalardıń xarakteristikaları boyınsha boljawlar mikroplazmalar biraz joqarı temperaturaǵa iye toktıń joqarı tıǵızlıǵı oblastı bolatuǵınlıǵına tiykarlangan. Bunday oblastlarda degradaciyalıq processlerdiń intensiv aǵısı bolıwı itimal. Eń qızǵan mikropalazmalarda temperatura joqarılaǵan sayın degradaciyalıq processler sonsha tezirek bolıp ótedi hám pribor isenimliligi sonday-aq islew múddeti kemeye beredi. Diodtıń shawqımlı xarakteristikasını anıqlaw mikroplazmanı esapqa alıwdıń ápiwayı metodu bolıp esaplanadı.

Diod tipi hám onıń islew rejimine baylanıslı degradaciyaǵa alıp keliwshi bir qansha fizikalıq effektler bizge belgili. Bunday jaǵdaylarda berilgen materiyaldıń qosımtalıq dúzilisin hám yarım ótkizgishli pribordıń aktiv oblastın izertlew júdá áhmiyetli. Bul maqsette bir qansha metodlar elektronlıq mikroskopiya, mass- spektroskopiya, oje analiz metodların qollanıw múmkin. Olar arqalı ayırım ótkizgishtiń, qadaǵan etilgen zonasındaǵı lokal qáddiilerdiń energetik spektri hám konsentraciyasın anıqlaw múmkin. Temperaturanıń keń diapazaondaǵı ásbaptıń volt amperlik xarakteristikasını anıqlaw metodu arqalı degradaciya mexinizmli haqqında kerekli maǵlıwmatlarǵa iye bolıwıńız múmkin.

Statikalıq volt – amperlik xarakteristikasını izertlew jeterli dárejede ápiwayı orınlanadı, jeńil avtomatlastırıw arqalı yarım ótkizgishli diodtıń aktiv oblastınıń (jumısshı uchastkasınıń) qásiyetleri haqqında keń maǵlıwmatlar beredi.

Volt – amperlik xarakteristikanın tuwrı bağıttağı shaqası izbe-iz qarsılıq haqqında maǵlıwmat beredi, al Shottki diodında bolsa, onda ol metall yarım ótkizgish bareriniń biyikligi hám etken qabatınıń xarakteristikaları haqqında da bildiredi. Proboy kernewiniń mánisi boyınsha yarım ótkizgishli diodtıń aktiv oblastı boylap elektr maydanı hám mayda qáddiiler bólistiriliwi haqqında aytıw múmkin. Tunellik keri toktıń bar bolıwı SHottki barerindegi kontaktlı qabattağı parametrlerdi anıqlawǵa múmkinshilik beredi. Statikalıq volt amperlik xarakteristikalaradan alınǵan maǵlıwmatlar hám proboydıń anıq konstrukciyasınıń mánisi hám onıń islew rejimi potencial isenimli diodlardıń ajratıp alıwına kepillik beriwdi islep shıǵıwda keń múmkinshilikler beredi.

Ádebiyatlarda kórsetilgenindey lavınlıq proboyǵa iye diodlardıń kópshiliginde qanday texnologiyada tayarlanıwına qaramastan mikroplazma dep atalıwshı kemshilikler bar boladı.

Bul kemshilikler yarımótkizgishliktiń betin qayta islegende yamasa pribordı korpusqa jıynaǵan waqıtlarda payda bolıwı múmkin. Bizler pitiriw jumısımızdıń barısında kremniyli yarımótkizgishli p-n ótkelli diodınıń voltamperlik xarakteristikasını ólshey otırıp modulyaciyalıq differencial metodikanıń járdeminde eksperimentte tómendegishe nátiyjelerdi aldıq.

2.1.2-súwrette tájriybe ótkeriwdiń metodikası kórsetilgen. Mikroplazmalıq proboydı modulyaciyalıq differenciallaw metodı menen izertlew ushın qollanılatuǵın elektronlıq sxema 2.1.3-súwrette kórsetilgen.

2.1.1 –súwrette kórsetilgenindey izbe-iz tutastırılǵan, barlıǵı birge signal deregi blogin payda etetuǵın razvertka generatorı $U_0(t)$ -1: turaqlı awısıw deregi U_{0-2} : ses jıyliginiń modulyaciyalıq generatorı-3 ten hám mikroplazmalardıń diffrencial iymekliliklerin, volt-amperlik xarakteristikasını alıw ushın ΔU_0 kishi intervalda tolqınlı túrde jayıladı. Bunda ΔU eki koordinatalı “samopisec”-8 diń x koordinatasın basqarıw ushın qollanıladı. Tok úlesi jer menen signal dereginiń

shıǵıwı arasında ólshenetuǵın úlǵidegi kernewde minimal qátelikke iye bolatuǵın 4-operaciya kúsheytkish penen ólshenedi.

7 –sinxronlı detektor diferencial ǵárezliliginiń grafiklerin dúziw ushın qollanıladı. Birinshi tuwındısı ólshenetuǵın jaǵdaylarda awısıw kernewi jiyilikti kóbeytkishte

6-túrlendirilgen eki eselengen jiyiliktegi U_2 signalı menen modulyaciyalanadı. Biziń pitiriw jumısımızda kremniyli p-n-ótkeldiń volt-amperlik xarakteristikasına gamma nurınıń tásiiri úyrenilgen. Súwrette kórsetilgenindey volt-amperlik xarakteristikanıń keri shaqasındaǵı toqtıń mánisinde bir kansha muǵdarda izbitochniy toqtıń bar ekenligin kóriwimizge boladı.

Joqarıda ayılǵanıday bunday tiykarǵı emes tok tasıwıshalrdıń esabınan toqtıń mánisiniń artıp ketiwi pribordıń degradaciyalanıwına alıp keledi. Sonlıqtanda bunday muǵdardaǵı izbitochniy toqtıń muǵdarın sırtqı tásirdeń nátiyjesinde kemeytiw áhmiyetli máselelerdiń biri bolıp tabıladı.

Al bunday tok aǵısınıń bir tegis emesligin sırtqı aktiv tásirlerdiń nátiyjesinde saplastırıw házirgi waqıtta yarımótkizgishler elektronikasınıń tiykarǵı máseleleriniń biri bolıp esaplanadı.

Dál usılar mikroplazmalardıń payda bolıwına sebebshi boladı.

Biziń bul pitiriw qánigelik jumısımızda sırtqı aktiv tásir sıpatında sol gamma nurınıń málim bir optimal dozası tásiiri nátiyjesinde VAX tıń keri togınıń kemeygenligin eksperiment arqalı kórsetip berdik.

3.2.1-3.2.2 - súwretlerde kórsetilgenindey mikroplazmalıq xakteriograf járdeminde kremniyli p-n-ótkeldiń keri baǵıttaǵı volt-amperlik xarakteristikası hám onıń tuwındısı ólshendi. 3.2.2-súwrette kórsetilgen birinshi iymeklik sáykes dáslepki xarakteristikası hám bul túrdegi xarakteristika Shokli teoriyasına muwapıq tómendegishe túrde jazıladı.

$$I=I_0 (\exp (ev/nkT)-1) \quad (3.2.2)$$

Bul jerde I_0 -toyınıw toǵı dep ataladı. Ol tómendegige teń boladı

$$I_0 = Dn/Ln N_p + Dp/Lp P_n \quad (3.2.3)$$

Sáykes Dn, Dp -lar elektron hám dırkalar ushın diffuziya koefficientleri Ln , Lp -elektron hám dırkalardıń diffuziya uzınlıqları, N_p -p-oblasttaǵı elektronlardıń konsentraciyası, P_n -n-oblasttaǵı geweklerdiń konsentraciyası.

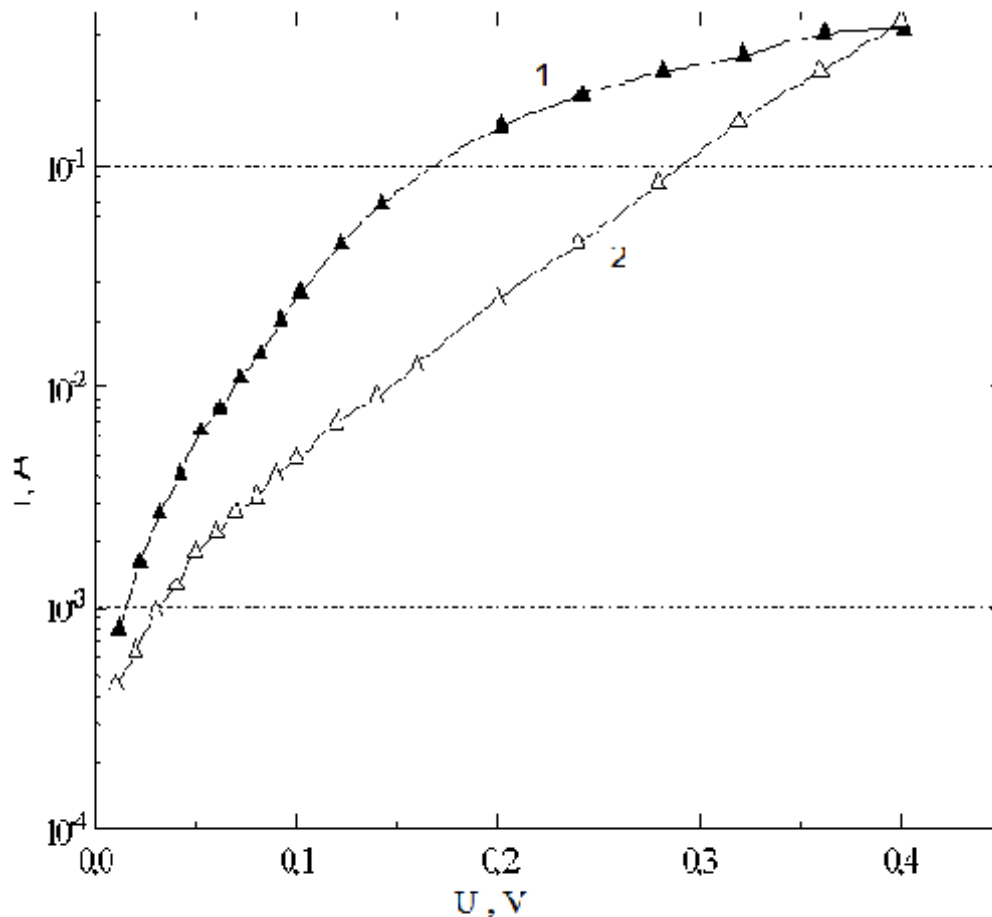
e-elektronnıń zaryadı, v -diodtqa túsirilgen kernew, n -sipat faktori, k -Bolcman turaqlısı, T -temperatura. VAX tıń dáslepki nátiyjelerine muwapıq n -faktor nedalnosti dep atalıwshı koefficienti- 1,68 ge teń boldı, al real jaǵdayda ol $n=1$ teń bolıwı kerek.

3.2.2-súwrette kórsetilgenindey ekinshi iymeklikke sáykes gamma nurı tásir etken soń (10^8 P interval aralıǵında). Bul koefficient gamma nurı tásir etken soń $n=1,07$ ge teń boldı yaǵnıy birge jaqınlastı. Bul sonı ańlatadı diodtıń voltamperlik xarakteristikasınıń belgili bir muǵdarda jaqsılانanlıǵın kórsetedi.

Alınan nátiyjege uqsas jumısta kórsetilgendegidei ultrases tolqınlarınń tásiri nátiyjesinde kremniyden tayarlanǵan p-n ótkeli diodlardıń elektrofizikalıq parametrlerin jaqsılawdıń usılları kórsetilgen.

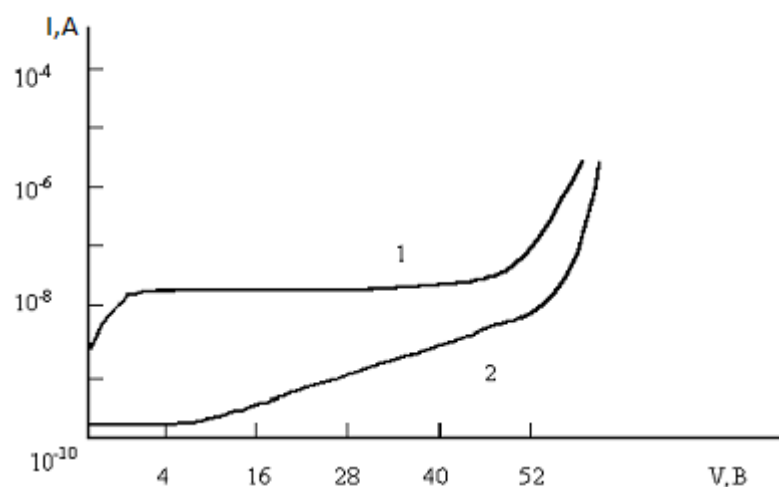
Demek gamma nurı tásir etkensoń keri baǵıttaǵı voltamperlik xarakteristikasınıń bir dárejege kemigenligin bayqadıq. 3.2.1-súwrettiń ekinshi iymekliginde kórsetilgenindey. Demek bul jerde termogeneracionnıy tok ústinen diffuzionnıy toktıń ústemlilik etetuǵınlıǵın kóriwimizge boladı degen pikirdi aytsaq boladı.

Demek gamma nurın 10^4 - 10^8 R interval aralıǵında paydalana otırıp kremniyden tayarlanǵan lavinno-proletnıy diodlardıń parametrlerin jaqsılawǵa boladı degen juwmaqqa keldik. Endi joqarıda kórsetilgenindey toktıń mánisin 1-2 dárejege artıwı menen birge volt-amperlik xarakteristikasınıń proboylıq oblastın differenciallay otırıp, proboy oblastındaǵı mikroplazma menen baylanısh bolǵan bir tegis emesliklerdi hám mikroplazmalıq kernewdiń shamasın anıqladıq. 3.2.1-súwrette kórsetilgenindey



**3.2.1-súwret.Kremniyli p-n ótkeliniń tuwrı baǵıttaǵı volt-
amperlik xarakteristikası**

mikroplazmalıq proboy pribordıń ulıwma proboyınan kishi boladı. Biziń jaǵdaymızda 0,5-1V muǵdarında ulıwma proboy kernewden, mikroplazmalı kernew kishi boldı. Al bul óz gezeginde yarımótkizgishli áspabtıń tezirek isten shıǵıwına yaǵnıy degradacıyalanıwına alıp keledi. n-oblastındaǵı donorlı primeslerdiń koncentracıyası shama menen $N=10^{17} \text{ sm}^{-3}$ ke teń boladı. Al mikroplazmalıq proboydıń kernewiniń kemeyiwi sol pribordıń effektiv islewine keri tásirin tiygizip degradacıyalıq processti tezlestiredi. Tiykargı emes tok tasıwshılardıń jasaw waqtı azayıp, qozǵalıwshılıǵınıń artıwına alıp keledi. Bul óz gezeginde tiykargı emes tok tasıwshılardıń koncentracıyasınıń artıp toktıń muǵdarınıń úlkeyip ketkeligin kórsetedi. Alınǵan nátiyjelerdi juwmaqlay otırıp bizler tómendegishe juwmaqqa keldik. Jáne olardı saplastırıwdıń usılların tómendegishe fizikalıq kóz qarastan túsindirip beriwge háreket ettik, yaǵnıy 3.2.2 – súwrettegi voltamper xarakteriskası qarastıratuǵın bolsaq, bul jerde 2 jaǵdaydı kóriwimizge boladı. Birinshi jaǵdayda yaǵnıy baslanǵısh volt –

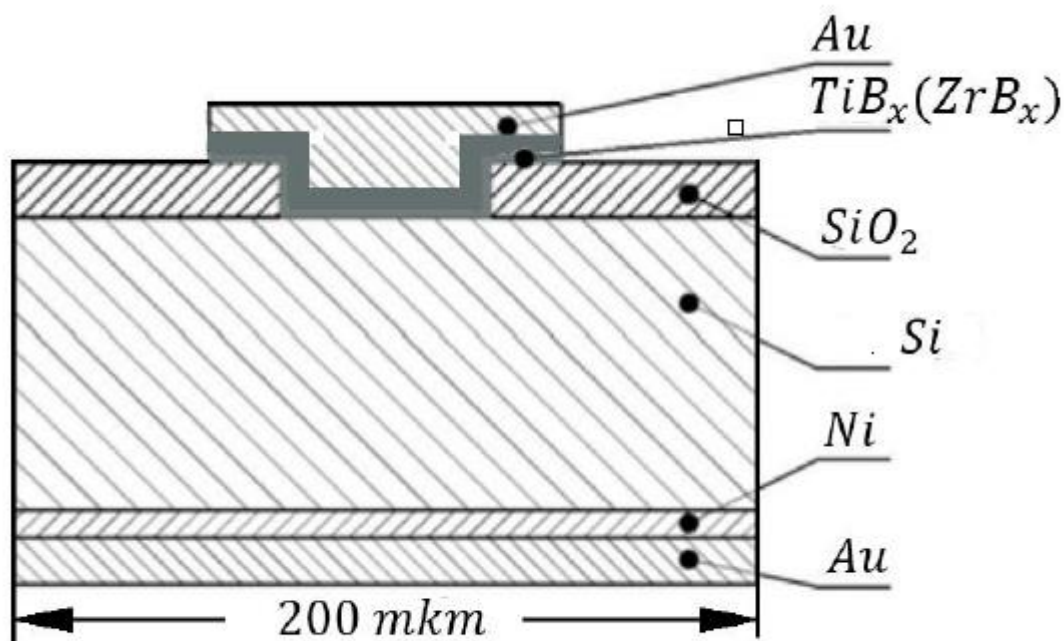


3.2.2–súwret. Kremniyli lavino – proletny diodtın keri baıttağı volt – amperlik xarakteristika.1 – iymeklik dáslepki xarakteristikası.2 – iymeklik 10^6 R gamma nuri tásir etkennen sońǵı kórinisi

amper xarakteristikasınıń keri shaqasındaǵı toqtıń bir qansha joqarı ekenligin koriwimizge boladı. Ekinshi jaǵdayda yaǵnıy 10^8 R gamma nurınıń tásirinen keyingi voltamper xarakteristikasınıń keri shaqasınıń toǵınıń sezilerli dárejede kemeygenliginiń guwası bolamız. Bunday bolıwınıń sebebi bizlerdiń názerimizde hámde usı baǵdardaǵı ilmiy maqalalardıń nátiyjelerine kóre tómendegi pikirdi aytıwımız múmkin. VAX tıń dáslepki jaǵdayındaǵı toqtıń shamasınıń úlken bolıwı tikkeley diodlı strukturadaǵı defektlerdiń bar bolıwı menen túsindirilse, 10^8 R gamma nurınıń tásirinen keyingi keri toqtıń kemeyiwi bul radiaciyalıq-stimullanǵan getterleniw processı menen túsindiriledi. Getter sózi – bul ápiwayı til menen aytatuǵın bolsaq defektlerdiń sawalıwı bolıp tabıladı. Solay etip juwmaqlastırıp aytatuǵın bolsaq tómén xarakteristikaǵa iye diodlı strukturalardı sırtqı aktiv tásirler nátiyjesinde olardıń elektrofizikalıq parametrlerin jaqsılawǵa bolatuǵınlıǵın kórsetip berdik.

3.3. $Au - TiB_x - n - Si$ kreóniyli diodlardıń VAX sına mikro tolqınlı nurlardıń tásiiri

Keyingi jılları kremniy elementin alıw texnologiyası qıyın bolıwına qaramastan usı material tiykarında tayarlanǵan yarım ótkizgishli ásbaplardı izertlewge bolǵan qızıǵıwshılıq ádewir ósti. Bunıń sebebi kremniy yarım ótkizgishiniń ájayıp qásiyeti bolıp tabıladı. Kremniy tiykarındaǵı diodlı strukturalardıń ajıralıp turatuǵın ózgesheligi olardıń joqarı termikalıq hám radiaciyalıq ornıqlılıǵı. Termo qayta islew tásiiri hám olardıń joqarı energetikalıq ionlandırıwshı radiaciya tásirinde kelip shıǵatuǵın effektler jaqsı úyrenildi hám tiyisli kremniyli ásbaplardıń texnologiyasında esapqa alındı. Biraq, az dozadaǵı radiaciyalıq tásirde keyingi kremniy ásbaplı strukturalardıń radiaciyalıq effektleri tómén úyrenildi. Si hám GaAs texnologiyasında tómén dozadaǵı radiaciyalıq qayta islew metodları ótkén ásirdeń 80-jıllarında qollanılǵan. Bir qatar avtorlar az dozadaǵı tásir sıpatında óziniń effekti boyınsha tómén dozadaǵı ionlastırıwshı qayta islewge (γ -radiaciya, tez elektronlar) uqsas mikrotolqınlı qayta islewdi qolladı.



$TiB_x(ZrB_x) - n - Si$

Kremniyli diodlı strukturanıń ápiwayı kórinisi[36]

Sol waqıtları kremniyli ásbaplardıń strukturasına mikrotolqınlı nurlanıw tásiiri boyınsha jumıslar bar edi, biraq bunday jumıslar Shottki barerli diodlar ushın azshılıq edi. Al olardı asa joqarı jiyilikli (AJJ) elektronikadaǵı aktiv elementler sıpatında paydalanıw ayrıqsha qızıǵıwshılıq oyatadı. Diodlı strukturalar Leli metodı menen ósirilgen n tipli kremniyinde tayarlandı. Qatlam qalınlıǵı TiB_x ushın 80 nm , Au – 100 nm. Diodlı strukturanıń diametric ~ 200 mkm.

Nurlanıw rejimi bos keńislikte tolqın shıǵıwınan nurlanıwshı ılgige deyin

yzgermes aralıqta ámelge asırıldı. Nurlanıw jiyiligi 2,45 GHz, salıstırmalı quwatlılıq $\sim 1,5$ Vt/sm². Mikrotolqınlı tásiirdiń 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 δ qalınlıǵı :

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

bul jerde $f=2,45$ GGts jiyilik

μ -metalizaciyanıń magnit sińirgishligi

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

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

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

Bizni jaǵdayımızda metallizaciyanıń ulıwma qalıńlıǵı 0,18 mkm. Aytayıq, AJJ quwatlıq P maydanı $\approx 3 \cdot 10^{-4} \text{ sm}^2$ (diametr 200 mkm) Shottki diodınıń metalizaciya qatlamında jutıladı.

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

Qızıw temperaturası tómendegishe anıqlanadı

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

Bul jerde R_T – diametri 200 mkm Si qalıńlıǵınıń jıllılıq qarsılıǵı

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

bul jerde d – diodlı strukturanıń diametri χ - Si diń jıllılıq ótkiziwsheńlik koefficienti (taza Si ushın $\chi = 4,9 \text{ Vt/sm} \cdot \text{grad}$, legirlengen ushın $\chi = 3 \text{ Vt/sm} \cdot \text{grad}$)

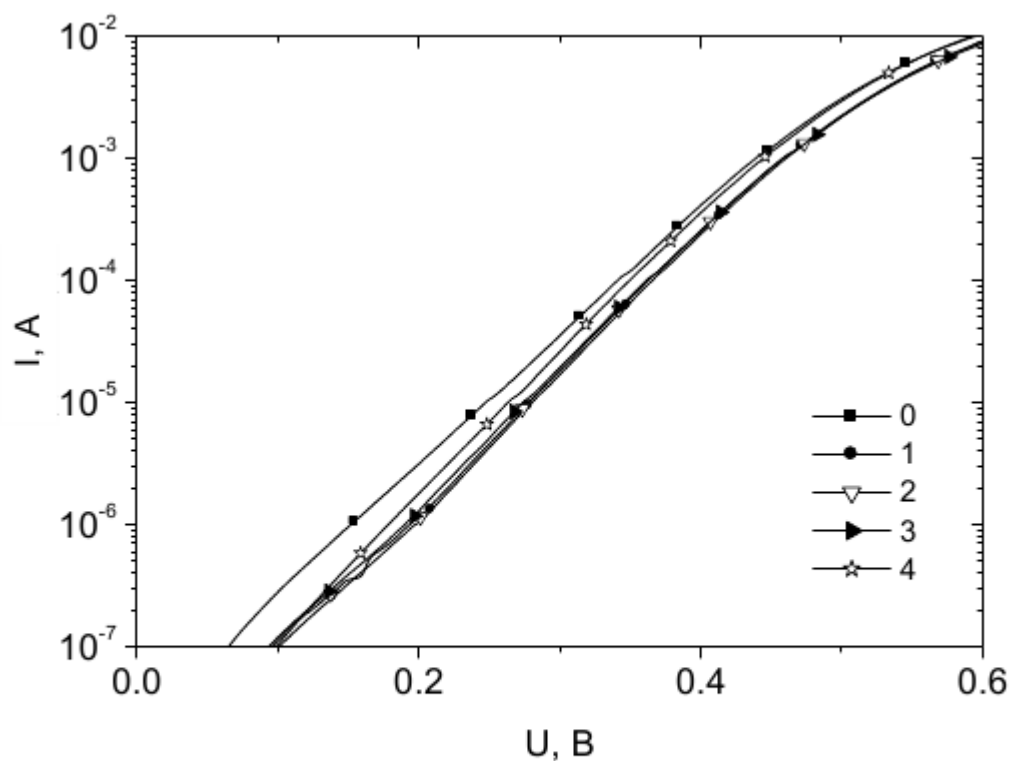
$$R_T = \frac{1}{2 \cdot 200 \cdot 10^{-4} \text{ sm} \cdot 3 \text{ Vtsm}^{-1} \cdot \text{grad}^{-1}} \approx 8 \text{ grad} / \text{Vt}$$

bunnan ΔT nı tapsaq:

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

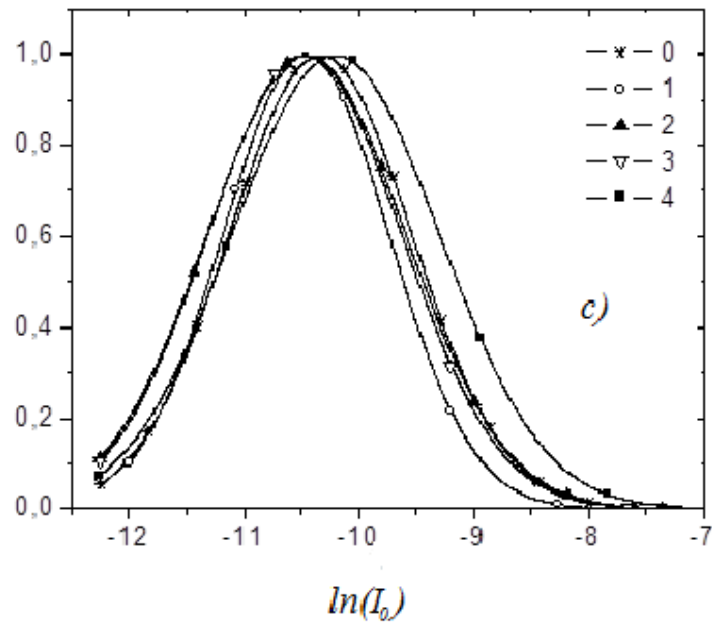
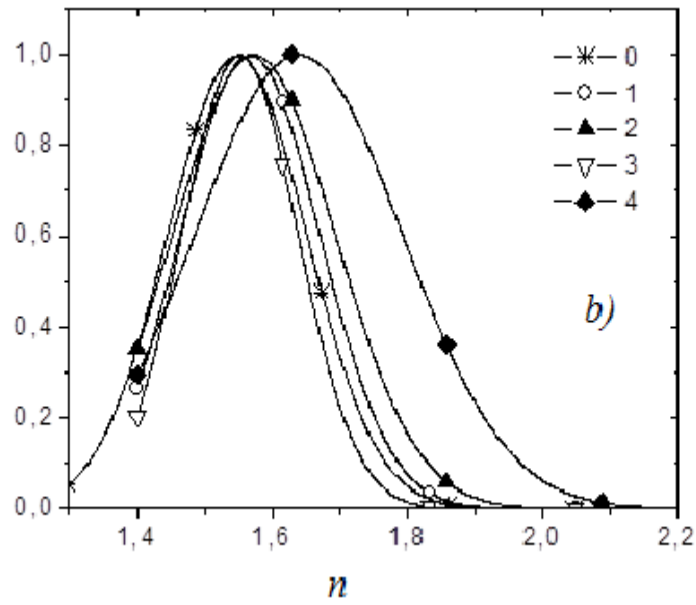
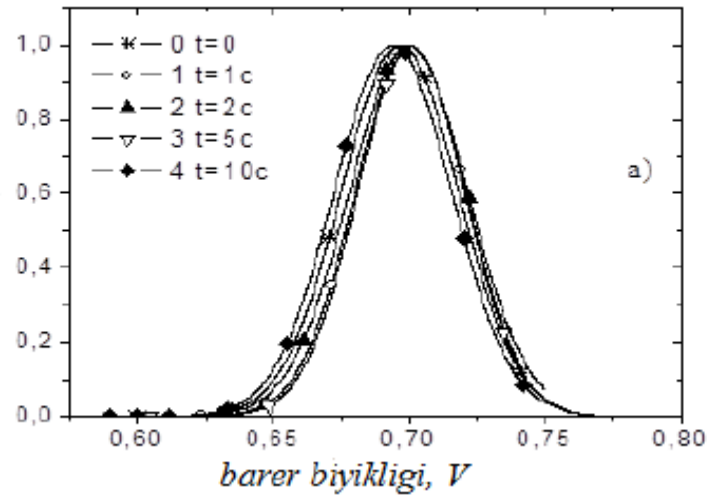
qa teń boladı, yaǵnıy qızıw júdá kishi.

AJJ nurlanıwdan aldın hám keyin diodlı strukturanıń VAX sı ólshenedi. Onnan barer biyikligi φ_B hám ideallıq faktori n tabıladı.

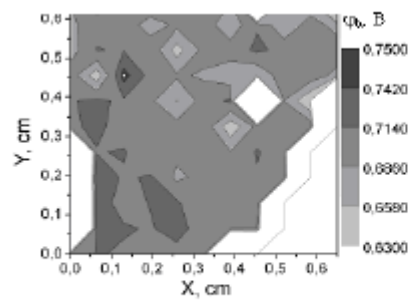


3.3.1-súwret. AJJ nurlanıwdıń hár qıylı waqtında *kremniyli* diodlardıń volt-amper xarakteristikaları: 0-dáslepki úlgi, 1-4 sáykes túrde 1,2,5 hám 10 s waqt dawaóımdaǵı AJJ nurlanıwdan keyingi

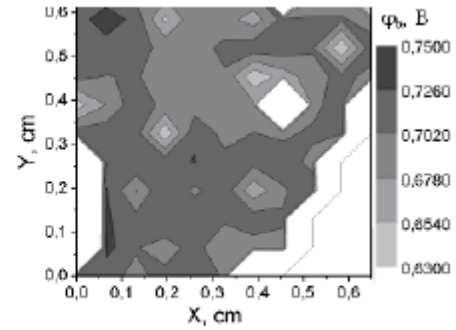
3.3.1-súwrette AJJ nurlanıwdan aldınǵı hám keyingi kremniyli diodtıń VAX sıńıń tuwrı tarmaqları kórsetilgen. VAX



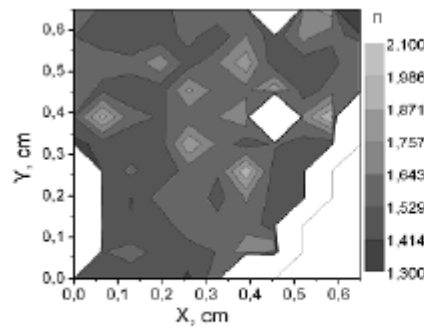
3.3.2-súwret. AJJ nurlanıwdan aldın hám keyin $\text{Au} - \text{TiB}_x - \text{Si}$ diodlı struktura barer biyikligi (a), ideallıq faktori (b) hám toyınıw toki (c) nıń bólistiriliw gistogramması.



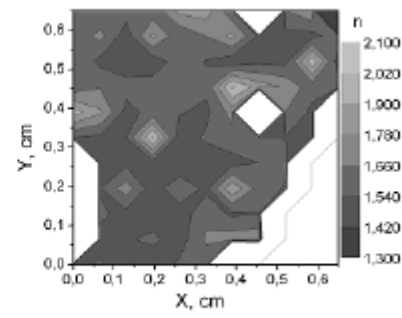
a



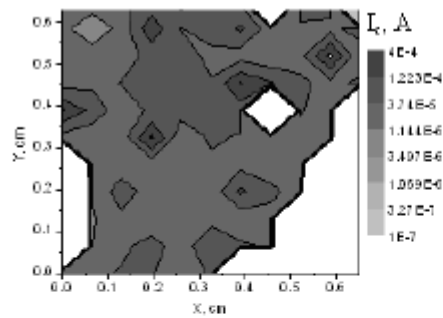
b



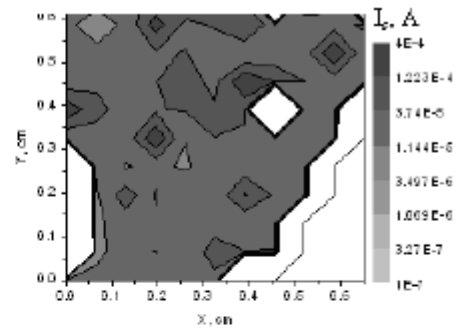
c



d



e



f

3.3.3-súwret. Hár qıylı nurlanıw waqtında diodlı struktura plastına maydını boyınsha a, b-barer biyikliginiñ, c, d-ideallıq faktorınıñ, e, f-toymıw tokınıñ 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 φ_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 φ_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 bylistiriliwden 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 diodlari 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 bylistiriliwi kórsetilgen. 3-a,b súwretten 5 s waqtılı AJJ nurlanıw ushın barer biyikliginiń artıwına sǵykes keliwshi qarańǵıraq oblastlardıń artıwı kórinedi.

Keyingi AJJ qayta islew ashıq tonlardıń kóbeyiwine 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 yzgermeytuǵınlıǵı haqqında derek beredi.

JUWMAQLAW

Bul magistrlik dissertaciya jumısında biz tiykarınan kremniyli ásbaplı strukturağa mikrotolqınlı tásirde keyingi bolıp ótetuğın degradaciyalıq processlerdi qarastırdıq. Degadaciya túsiniği ádetde qandayda bir pribordın waqıt ótiwi menen fizikalıq xarakteristikaların tómenlewi túsiniledi. Sonlıqtan biz bul jumısımızda tiykarınan sol ásbaplardıń elektrofizikalıq xarakteristikaların tómenlewine sebepshi bolatuğın faktorlardı úyreniwden ibarat edi. Alınğan eksperiment nátiyjelerge hám ádebiy sholıwımızdan islengen analizlerimizge súyengen xalda tómendegishe juwmaq jasadıq:

1.Kremniy materiyalınan eki usılda, splavnoy texnologiyada tayarlanğan stabilitronlar hám diffuziyalıq usılda tayarlanğan p-n ótkelli diodlardıń volt-amperek xarakteristikasını hám onıń sıızıqlı emes uchastkalarınıń birinshi hám ekinshi tuwındıların «modulyaciyalıq differenciýallaw» metodı járdeminde ólshey otırıp degradaciyağa alıp keliwshi bazıbir fizikalıq processlerdi analizledik.

2.Eksperimentte alınğan nátiyjelerdi analizlew sonı kórsetti, splavnoy texnologiyada tayarlanılğan stabilitronlarda, diffuziyalıq usılda tayarlanılğan p-n ótkelli diodlarğa salıstırğanda yarım otkizgishli ásbaplardıń degradaciyanıwına alıp keliwine sebepshi bolğan mikroplazmalar sanı boyınshada keń ekenligi, ólshemleleri boyınshada úlken ekeniligin kórdik.

3.Teoriyalıq jol menen esaplawlar júrgizilgen nomogrammağa tiykarlana otırıp, ádebiy sholıw bóliminde keltirilgenindey eki turli usılda tayarlanılğan yarımótkizgishli ásbaplardağı mikroplazmalardıń geometriyalıq razmerlerin esapladıq.Solay etip degradaciyalıq processlerge alıp keliwshi tiykarğı processler bolğan tok ağısınıń birteksizligi, mikroplazmalardıń diametrleriniń shamaları,differencial qarsılıqları anıqlanıldı hám analizlendi.

4. Modulýaciyalıq difeferenciallaw metodu járdeminde yarımótkizgishli priborlardıń voltamperlik xarakteristikasınıń hám onıń proboy uchastkası aldın differenciallaw otırıp defektlerdiń bar ekenligin anıqladıq. Bul metod basqa metodlarǵa salıstırǵanda kóp artıqmashılıqlarǵa iye, atap aytqanda yarımótkizgishli áspablardıń strukturasınıń buzbay defektlerdiń bar ekenligi, jaylasıw tártibin, ólshemlerin kórsete alamız.
5. Yarımótkizgishli ásbaplardıń sapasınıń tómendewiniń tiykarǵı sebebi hár qıylı texnologiyalıq usıllar menen tayarlaw waqtında payda bolǵan defektler menen baylanıslı ekenligi úyrenildi.
6. Eksperimentte hár qıylı texnologiyada tayarlangan diodlardagı defektlerdiń jaylasıw tártibin hám olardıń sanın joqarıda ayılǵan metodika járdeminde kórsetip berdik. Bul kemshiliklerdi joqarıda ayılǵanınday kórsetip hám olardı sırtqı tásir nátiyjesinde saplastırw usılları tuwralı maǵlıwmatqa iye boldıq.
7. Mikrotoqlıqlıq nurlanıwdıń tásiiri nátiyjesinde ol kemshiliklerdi saplastırw jolların kórsettik. Solay etip biz bul pitkeriw qanıgelik jumısımızda sapası tómendewli diodlı strukturalardıń voltamperlik xarakteristikasınıń úyrene otırıp sol úyrenip atırǵan diodlı strukturalardıń qanshelli dárejede sıpatınıń jaqsı yamasa qanshelli dárejede tómendew ekenligin aytıp beriw múmkinshiligine iye bolamız.

PAYDALANILGAN ÁDEBIYATLAR

I.BASSHI ÁDEBIYATLAR

- 1.Mirziyoev SH.M. Erkin va farovan demokratik Ózbekiston davlatini birgalikda barpo etamiz. Ózbekiston Respublikasi Prezidenti lavozimiga kirishish tantanali marosimiga bag'ishlangan Oliy Majlis palatalarining qoshma majilisidagi nutq. Toshkent, Ózbekiston NMIU, 2016 y. 56 – b.
- 2.Mirziyoev SH.M. Qonun ustuvorligi va inson manfaatlarini taminlash – yurt taraqqiyoti va xalq faovonligining garovi. Ózbekstan Respublikasi Konstituciyasi qabul qilinganligining 24 yilligiga bag'ishlangan tantanali marosimidagi maruza. 2016 yil 7- dekabr Toshkent, 2017, 48 – b.
- 3.Mirziyoev SH.M. Tanqidiy taxlil, qatiy tartib – intizom va shaxsiy javobgarlik – har bir rahbar faoliyatining kundalik qoydasi bolishi kerak. Mamlakatimizni 2016 yilda ijtimoiy – iqtisodiy rivojlantirishning asosiy yakunlari va 2017 yilda moljallangan iqtisodiy dasturning eng muxim ustuvor yonalishlariga bag'ishlangan Vazirlar Mahkamasining kengaytirilgan majilisidagi maruza 2017 yil 14 – yanvar, Toshkent, Ózbekiston. 2017 y, 104 – b.
- 4.Mirziyoev SH.M. Buyuk kelajagimizni mard va oliyjanob xalqimiz bilan birga quramiz. Mazkur kitobdan Ózbekiston Respublikasi Prezidenti Shavkat Mirziyoevning 2016 yil 1 noyabrdan 24 noyabrga qadar Qoraqalpog'iston Respublikasi viloyatlar va Toshkent shahri saylovchilari vakillari bilan otkazilgan saylovoldi uchrashuvlarida solzagan nutqlari olin olgan. Toshkent, Ózbekiston, 2017 y., 488-b.
- 5.Ózbekistan Respublikasi Prezidenti Shavkat Mirziyoevning Oliy Majlisga Murojaatnomasi// HUQUQ, 2019 yil 3-yanvar

II. NORMATIV- HUQIQIY HÚJJETLER

- 1.Ózbekstan Respublikası Konstituciyası. Toshkent, “Ózbekiston” 2018 LEX.UZ – yil.
- 2.SH.M. Ózbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bóyicha “Xarakatlar strategiyasi” tógrisidagi ПФ – 4947 sonli farmoni. Toshkent, 2017-yil 7 – fevral.
- 3.Ózbekiston Respublikasi Prezidenti Shavkat Mirziyoev 2016-yil 30-dekabr kuni mamlakatimizning yetakchi ilm-fan namoyandalari bilan uchrashuvi va ilm fanni yanada rivojlandirish haqqida farmoni.
- 4.Ózbekiston Respublikasi Prezidentining 2017-yil 20-apreldagi “Oliy tálim tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari tógrisida”gi №2909 –sonli qarori.
- 5.Ózbekiston Respublikasining “ Magistratura haqidagi nızomi. Toshkent, 2015jıl
- 6.Ózbekiston Respublikasining “Talim to’g’risida” gi qonuni.1997-yil 29-avgust.
- 7.Ózbekiston Respublikasining “Kadrlar tayorlash milliy dasturi tog’risida” gi qonuni. 1997-yil 29-avgust.

III. ARNAWLI ÁDEBIYATLAR

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. Бачеригов, 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. Бачеригов, 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 рсенидгаллиевых 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.-Кшв: 1нтас, 2002, -191 p.
25. Исмаилов КА., Власов С.И. Ярыметкизгишли эсбаплар физикасы. — Некис.: «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 010 с 212-214
30. Абдижалиев С.К., Кудрик Я.Я. Влияние микроволнового излучения на электрофизические свойства диодов с барьером Шоттки $Au-iB_x(ZrB_x) - n-SiC_6H$ // XIV Международное совещание «Радиационная физика твердого тела» (Севастополь, Украина, 2004), с.439- 444
31. Абдижалиев 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 $Mo-n-p^+-GaAs$, 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 у- и в- 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

IV. ILIMIY MAQALALAR

1. Исмаилов К.А., Кунназаров Б.Ж.,Бекбергенов С.Е., Исмаилов Т.Б.,Асенбаев М.А.,Изменение параметров арсенидгаллиевых диодных структур с барьером Шоттки лазерного излучения.
2. Исмаилов К.А.,Бекбергенов С.Е.,Асенбаев М.А. Исследовательские электрофизических характеристик приборных структур под воздействием лазерной обработки. Республиканская научно – практическая конференция – << Актуальные проблемы физики и экологии >>. – Сурхандарья,21-22 сентября 2018 г.
3. Исмаилов К.А., Асенбаев М.А. Радиационные эффекты в Полупроводниковых приборных структурах. Республиканская научно – практическая конференция << Актуальные проблемы физики и экологии >>. – Сурхандарья,21-22 сентября 2018г.
4. Исмаилов К.А.,Бекбергенов С.Е.,Асенбаев М.А.Исследование электрофизических характеристик приборных структур под воздействием лазерной обработки. Республиканская научно – практическая конференция << Актуальные проблемы физики и экологии >>. – Сурхандарья,21-22 сентября 2018г.
5. Шарибаев М.,Есенбаева Э., Асенбаев М. Изучение оптических преобразователей на основе двуокисного кремния – SiO₂ Нукус, 2018 j

V. INTERNET MATERIALLARI

1. <http://fizik.bos/ru/>
2. <http://www.edu.ioffe.ru/apple/>
3. <http://www.edu.ioffe.ru/>
4. www.en/edu.ru (Portal)
5. [www. Semiconductors.ru](http://www.semiconductors.ru)
6. <http://www.physicon.ru>
7. <http://www.college.ru/physics/index.php>
8. Ziyo.uz
9. Edu.uz
10. Lex.uz
11. Karsu.uz
12. Ziyonet.uz