O'ZBEKSTAN RESRUBLIKASI JOQARI HA'M ORTA ARNAWLI BILIM MINISTIRLIGI

BERDAQ ATINDAG'I

QARAQALPAQ MA'MLEKETLIK UNIVERSITETI

Qoljazba huqiqinda

Jumanazarov Allayar Parxatdinovish

Yarimo'tkizgishli diodliq strukturalardin' kontaktlik oblastinda ultrasestin' ta'sirin u'yreniw

5A140204 «Kondensatsiyalang'an ortaliqlar fizikasi ha'm materialtaniw» qa'nigeligi boyinsha magistr da'rejesin aliw ushin

MAGISTRLIK DISSERTATSIYA

Magistrlik dissertatsiya "Yarimo'tkizgishler fizikasi" kafedrasinda ko'rip shig'ildi ha'm qorg'awg'a usinildi.	**Ilimiy basshi:** **t.i.d. prof., M.B.Tagaev** **Kafedra baslig'i:** **f-m.i.d. prof., Q.A.Ismailov** **Magistratura bo'limi baslig'i:** **yu.i.k. dots., A.B.Gulimov**

No'kis-2013

Mazmuni

I – Bap. A’debiy sholiw bo’limi

Kirisiw……………………………………………………………………….. 3

§1.1. Ultrasesli tolqinlarinin’ keri toktin’ temperaturaliq g’a’rezliligin ha’m Shottki diodlarinin’ volt-amperlik xarakteristikasina ta’sirin u’yreniw……………8

§1.2. Soqqi tolqinlari ha’m lazerli nurlaniwdin’ kadmiy telluridinin’ beti ha’m ko’lemi menen o’z-ara ta’sir etisiwinin’ akustoximiyasin u’yreniw……………...22

§1.3. Kishi quwatliliqtag’i lazerli qayta islewdin’ ja’rdeminde Shottki diodlarinin’ voltamperlik xarakteristikasina ha’m voltfaradaliq xarakteristikasina ta’sirin u’yreniw…………………………………………………………………….32

II - Bap. Eksperimentalliq metodika bo’limi

§2.1. Mikroplazmali xarakteriograf ja’rdeminde modulyatsiyaliq differentsiallaw metodikasinin’ ayriqsha o’zgesheligi ………………………….........................47

§2.2. Voltamperlik xarakteristikani modulyatsiyaliq differentsiallaw metodikasi……………………………………………………………………...52

III – Bap. Eksperimentalliq bo’limi.

§3.1. Kremnili yarimo’tkizgishler tiykarinda strukturalarda birtekli emes lavinli (ko’shkili) tesiliwdin’ akustoximiyaliq aspektleri………………………………..61

§3.2. Kremniyli stabilitronlarg’a ultrases ta’sirin qarastiriw …………………..….65

Juwmaqlaw…………………………………………………………………….68

A’debiyatlar…………………………………………………………………....69

Kirisiw

Prezidentimiz o’z bayanatlarinda «Birinshi ret 2004-jilda saylang’an eki palatali parlamentimizdin’ jumisi turmisimizdin’ a’hmiyetli bir da’wirine-elimizde teren’ o’zgerisler, siyasiy ha’m sotsialliq-ekonomikaliq turmistin’ barliq ta’replerin izbe-iz reformalaw ja’ne liberallastiriw, ja’miyetimizdi demokratiyaliq jan’alaw ha’m modernizatsiyalaw protsessleri jedel pa’tler menen rawajlanip atirg’an bir da’wirge tuwra kelgeni ma’lim.

O’zbekstan Respublikasinin’ aldinda turg’an usi a’hmiyetli waziypalardin’ barlig’in sheshiwde parlamenttin’ buring’i qurami elimizde alip barilip atirg’an ja’miyetlik-siyasiy, sotsialliq-ekonomikaliq reformalardi teren’lestiriw isinde u’lken a’hmiyetke iye bolg’an 250 den aslam nizamdi qabil etip, a’hmiyetli u’les qosti.

Biz ekonomikaliq ha’m sotsialliq salani reformalaw protsesslerin ja’miyetlik-siyasiy ha’m sud-huqiq sistemasin turaqli jan’alap bariw protsessleri menen o’z-ara aniq ja’ne teren’, tig’iz baylanisli halda a’melge asiriwdi ta’miyinlemesek, elimizdi modernizatsiyalaw boyinsha belgilep alg’an joqari sheklerimizge erise almaymiz.

«Ku’shli ma’mleketten-ku’shli puqaraliq ja’miyetke qaray» bag’darlamasin a’melge asiriw boyinsha islerdi bunnan bilay da ku’sheytiw ma’selesin bu’gin turmistin’ o’zi ku’n ta’rtibine barg’an sayin qatan’ tu’rde qoymaqta.

Kommunikatsiya dizimlerin rawajlandiriw haqqinda aytqanda, joqari texnologiyaliq telekommunikatsiya tarmag’in rawajlandiriw biz ushin kerekli strategik a’hmiyetke iye ekenligin aytip o’tiwimiz za’ru’r.

Bu’gingi ku’nde o’mirimizdi kompyuter texnikasi, informatsion texnologiyalari, Internet, mobil telefon tarmag’isiz ko’z aldimizg’a keltirip bolmaydi.

Elimizde 2011 jili may ayindag’i Prezidentimizdin’ №1533 sanli qararinda Joqari oqiw orinlarinda materialliq – texnikaliq bazani jaqsilaw ha’m joqari da’rejeli qa’niygelerdi tayarlaw boyinsha shara tadbirler ko’rsetilgen edi.

Prezidentimizdin’ № 1533 sanli qararinda ko’rsetilgenindey 2012 jildin’ 16-17 fevral ku’nleri «Bilimli ha’m aqil zakovatli jetik a’wladlardi ta’rbiyalaw elimizdi turaqli rawajlandiriwdin’ ha’m modernizatsiyalawdin’ tiykarg’i sha’rti» atamasindag’i xaliq araliq konferentsiyanin’ o’tkeriliwinde de u’lken ma’ni bar.

Biz perzentlerimiz tek qana fizikaliq ha’m ruhiy salamat o’siwi, olardin’ en’ zamanago’y intellektuallerge iye bolg’an insanlar bolip, XXI a’sir talaplarna toliq juwap beretug’in na’wqiran a’wlat bolip jetisiwi ushin imkaniyat ha’m sharayatlardi jaratip beriwdi o’zimizge maqset qilip aldiq. Sonin’ menen birge respublikamizdag’i bu’gingi ku’nnin’ en’ bir aktual ma’selelerinin’ biri bul ku’n energiyasin elektr energiyasina aylandiriw ma’selesi bolip tabiladi. Bul ma’selede yarimo’tkizgishli materiallardin’ fotoelektrlik qa’siyetlerin u’yreniw bu’gingi ku’nnin’ aktual ma’selelerinin’ biri bolip tabiladi.

Jumistin’ aktuallig’i. Ilim ha’m texnikanin’ rawajlang’an da’wirinde diskret rejimde islewshi galliy arsenid materialinan islenilgen Shottki diodlarg’a qoyilatug’in talaplar ayiriqsha o’zgesheliklerge iye boladi. Atap aytqanda proboy ushastkada islewshi diodlarda toq tasiwshilardin’ lavinaliq tu’rde ko’beyiw oblastina jetiw ushin, diodtin’ raboshiy (aktiv) oblastina u’lken mug’darda elektr maydaninin’ kernewliligin tu’siriw kerek, ol kernewdin’ mug’dari shama menen a’debiyatlarda ko’rsetilgenindey atap aytqanda I.V.Grexov, Yu.P.Serejkinlerdin’ ilimiy jumislarinda ko’rsetilgenindey [1-2] ol kernewliliktin’ mug’dari $10^5 В/см$ ten’. Sonin’ menen birge Shottki diodlardin’ elektron sanaatinda, texnikada qollaniltug’in orinlarina qaray otirip olarg’a qosimsha raboshiy jiyilikke, shumli xarakteristikalarina ha’m tag’ida basqa elektrofizikaliq parametrlerdin’ sapasina qoyilatug’in talaplar ayriqsha o’zgesheliklerge iye, sonliqtanda Shottki diodlardi islewde materiallarg’a ha’m sol materiallar tiykarinda islengen tayar yarim o’tkizgishli a’sbaplar jiynawda (sborkalawde) olarg’a qoyilatug’in talaplar ju’da’ ku’shli.

Birinshi qoyilatug'in talap bul materialdin' tazalig'i bolip tabiladi. Demek kristaldi o'siriw waqtinda mu'kinshiligi bolg'aninsha strukturadag'i kemshilikler (defektler) bolmawi kerek yamasa kem boliwi kerek.

A'dette taza yarim o'tkizgish material menshikli o'tkizgishlikke iye boladi, al bunday jag'dayda olardan yarimo'tkizgishli a'sbap jasalmaydi. Demek yarimo'tkizgishli a'sbaplardi tayarlaw ushin n -tiptegi yamasa p -tiptegi tok tasiwshilardin' kontsentratsiyasina iye boliwimiz kerek boladi. Demek bunday jag'dayda ten'salmaqliliqti buziwimiz kerek yag'niy onin' ushin kishkene qosimta kiritpeler kiritiledi (ha'r qiyli texnologiyaliq jollar menen). A'debiyatlardin' ko'rsetkenindey a'dette real jag'dayda yarimo'tkizgishli materiallar qadag'alaw qiyin bolg'an kiritilgen qosimtalarg'a iye bolip, olar yarim o'tkizgishlik materialdin' qadag'an etiw zonasina jaqin jerde teren' energetik qa'ddilerdi payda etedi ha'm olar o'z gezeginde elektrofizikaliq parametrlerdin' o'zgeriwine alip kelip na'tiyjede degradatsiyaliq protsesslerge alip keledi. Atap aytqanda bunday energetik qa'ddilerdin' bar boliwi toq tasiwshi zaryadlarinin' jasaw waqtinin' ha'm qozg'aliwshan'liliq koeffitsientinin' kishireyiwine ha'm na'tiyjede voltamperlik xarakteristikanin' keri bag'ittag'i shamasinin' u'lkeyip ketiwine alip keledi, al bul o'z gezeginde proboy kernewdin' erterek baslaniwina yag'niy generatorliq diodlardin' effektivnost ha'm quwatliliqlarinin' kishireyiwine alip keledi yag'niy generatorliq diodlardin' erterek isten shig'ip a'ste aqirin degradatsiyalaniwina alip keledi. Mine usi ma'selelerge baylanisli yarim o'tkizgishler fizikasinda ha'm fundamental ha'm prikladnoy xarakterge iye ma'selelerdi magistrlik dissertatsiya jumisismizda qarastiriwdi tiykarg'i ma'sele etip qoydiq.

Ha'zirgi waqitta qatti denelerdi izertlewdin' jan'a usillari ken'nen qollanilip atir. Atap aytqanda optikaliq ha'm akustikaliq izertlew usillarina qizig'iwshiliq artpaqta. A'dette a'debiyatlarda ko'rsetilgenindey ha'r qiyli yarimo'tkizgishli strukturalarda, ko'lem ha'm bet tekisliginde defektlerdi u'yreniw ayriqsha orin tutadi, sebebi defektler yarimo'tkizgishli a'sbaplar ha'm a'sbaplar strukturalarinin' elektrofizikaliq xarakteristikalarinin' o'zgeriwine ku'shli keri ta'sirin jasaydi. Mine

usinday jag'dayda yarim o'tkizgishli struktura ha'm struktura tiykarinda islengen priborlardi buzbastan atermikaliq usilda izertlew ha'm fundamental ha'm a'meliy jaqtan u'lken a'hmiyetke iye. Sonliqtan yarimo'tkizgishler elektronikasinda qatti denelerdi akustikaliq usillar menen izertlew aktual ma'selelerdin' biri bolip esaplanadi.

Ultrasesli ta'sir etiwler qatti denelerdin' ishki energiyasin ko'teriwdin' effektiv usili bolip esaplanadi. Ultrasestin' jutiliw koeffitsientine ha'm ultrasestin' intensivligine baylanisli materiallardin' elektrofizikaliq qa'siytlerine ha'm plastikaliq deformatsiya protsessine ta'sir etiwshi ha'r qiyli strukturaliq o'zgerislerdi keltirip shig'ariwi mu'mkin. Ultrases intensivligi kristall arqali ultrases tolqininin' o'tiw barisinda qadag'an etilgen zonanin' eninin' lokal o'zgeriwi menen baylanisqan. Yarimo'tkizgishtin' toliq ko'leminde birtegis jutilatug'in jilliliq energiyasinin' o'zgeshe tu'rde ultrases tolqinlarinin' pa'seyiwi kristall pa'njeresinin' defektlerinde, atap aytqanda dislokatsiyalarda bolip o'tedi. Ultrases dislokatsiyanin' energiyasin anag'urlim ku'sheytedi, dislokatsiya dereklerin aktivlestiredi. Sonliqtan statikaliq ha'm joqari jiyiliktegi dinamikaliq ju'klemelerdin' (nagruzka) bir waqittag'i ha'reket barisinda kristall denelerdin' deformatsiyasinin' qarsilig'i pa'seyedi. Materiallardi intensiv dawislandiriwdan keyingi sinaw payitinda pa'njere defektlerinin' tig'izlig'inin' o'siwi sebepli ag'im sheginin' o'siwi aniqlanadi.

Izzertlew obekti. Bul jumista izzertlew obekti sipatinda Shottki barierli Au-Pt-n-n^+ GaAs diodliq strukturasi alindi.

Izzertlew predmeti. Bul Shottki barierli Au-Pt-n-n^+ GaAs diodliq strukturalardin' elektrofizikaliq xarakteristikasina sirtqi ta'sir, sonin' ishinde nanosekundli lazerli nurlaniw ta'siri na'tiyjesinde parametrlerinin' o'zgerisin izertlew.

Jumistin' maqseti ha'm waziypalari Au-Pt-n-n^+ GaAs diodliq strukturalardin' elektrofizikaliq parametrlerinin' sirtqi ta'sir na'tiyjesinde o'zgerisin izertlew.

Izertlewdin' tiykarg'i ma'seleleri:

1. Yarimo'tkizgishlerdin' ko'lemi ha'm betine soqqi tolqininin' ha'm nanosekundli lazerli impulslerdin' akustoximiyaliq o'z-ara ta'sirin ta'jiriybede izertlew.

2. Atermikaliq impulsli lazerli qayta islewdin' Pt-GaAs barierlik strukturalardin' xarakteristikasina ta'siri izertlew.

Tema boyinsha qisqasha a'debiyatlardin' taliqlaniwi: A'debiyatlardin' ko'rsetkenindey a'dette real jag'dayda yarimo'tkizgishli materiallar qadag'alaw qiyin bolg'an kiritilgen qosimtalarg'a iye bolip, olar yarimo'tkizgishli materiallardin' qadag'an etiw zonasina jaqin jerde teren' energetic qa'ddilerdi payda etedi ha'm olar o'z gezeginde elektrofizikaliq parametrllerdin' o'zgeriwine alip kelip, na'tiyjede degradatsiyaliq protseslerge alip keledi.

Izertlewde qollanilg'an usillardin' qisqasha klassifikatsiyasi:

Kremniyli LP diodlardin' VAX ha'm VFX in atermikaliq ha'm akustikaliq usillarda izertlew yarim o'tkizgishli struktura ha'm struktura tiykarinda islengen priborlardi buzbastan izertlew mu'mkinshiligin beredi.

Izzertlewdin' ilimiy jan'alig'i.

1. Sirtqi ta'sir na'tiyjesinde Shottki barierli diodliq struktura parametrlerinin' jaqsilaniwi.
2. Shottki barierdi diodliq strukturag'a sirtqi ta'sir ete otirip ondag'i ishki mexanikaliq kernew shamasinin' azayiwi.
3. Shottki barierdi diodliq strukturalarda ishki mexanikalik kernew menen diodliq struktura parametrleri arasindag'i baylanisti aniqlaw.

Izertlew na'tiyjelerinin' teoriyaliq ha'm a'meluy a'hmiyeti: Aling'an na'tiyjeler yarimo'tkizgishli diodlardi islep shig'ariwda ilimiy o'ndirislik karxanalarda qollaniladi.

Dissertatsiya ko'lemi ha'm strukturasi: Disssertatsiya kirisiw bo'liminen, u'sh baptan, jeti paragraftan, dissertatsiyanin' uliwma ko'lemi 71 betten ibarat.

I BAP. A'DEBIY SHOLIW BO'LIMI

§1.1. Ultrasesli tolqinlarinin' keri toktin' temperaturaliq g'a'rezliligin ha'm Shottki diodlarinin' volt-amperlik xarakteristikasina ta'sirin u'yreniw

Yarimo'tkizgishler elektronikasinda ultrasesti qollaniw oblastlari ju'da ken' shegaralikqa iye bolip tabiladi. Ultrases qatti deneler fizikasinin' ha'r qiyli oblatinda ha'r qiyli qubilislardi izertlewde sonin'day aq u'lken quwatliliqqa iye yarimo'tkizgishli a'sbaplardi qayta islewdin' bir usili bolip esaplanadi. Misali: Ultrases tolqinlari menen ta'ir etiw usili qatti denelerde ha'm yarimo'tkizgishler fizikasinda akusto elektronikada ken'nen qollanilip olar tiykarindag'i a'sbaplardan mikroelektronikadag'i ha'r qiyli informatsiyalardi qayta islep shig'adi.
Gaz ha'm suyiqliqlar ushin molekulaliq akustika usili menen birge,
qatti denelerdin' tezligin o'lshewde ha'm serpimlilik modulin aniqlaw ushin
jutiliw koeffitsienti paydalaniladi. Qatti denelerde elementar qozdiriwlardi ha'm fononlardin' elektronlar menen magnetronlardin' ha'm basqa kvazi bo'leksheler menen ta'sirlesiwinin' kvantliq serpimli qozdiriliwin u'yreniw arqali kvantliq akustika rawajlana basladi. Sonin' menen birge ultrases tolqinlarinin' ta'sirin u'yreniw texnikada, biologiyada ha'm meditsinada ken'nen paydalanilmaqta.

Ultrases tolqinlarinin' ta'siri texnikada qandayda bir protsesslerdin' ag'ip o'tiwinde bo'lekshelerdin' tezligin ha'm jutiliw koeffitsientin o'lshewde (baqlawda) ken'nen paydalaniladi. Ultrasestin' shag'ilisiwi arqali eki ortaliqtag'i yag'niy teren' suyiqliqtag'i bar ko'llerdin' yamasa idislardin' qa'ddin aniqlawdi ha'mde qalin'liqti aniqlawshi a'sbap xizmetin atqaradi. Ultrasestin' kishi intensivligi menen (0,1Vt/sm^2) qatti denelerdin' (releflerdin', u'lken qurilmalardin' ha'm yarimo'tkizgishli a'sbaplardin') betin buzbay tekseriledi ha'm u'yreniledi.

Bunnan aldin [3,4] a'debiyatlarda ko'rsetilgenindey kremniyli $p^+ - n - n$ strukturalarda ha'm quyilma stabilitronlarda radiatsiyaliq-stimullang'an effektler ko'rip shig'iladi. $p^+ - n$ o'tiwler gazli fazadan bordin' diffuziyasi menen tayarlaniladi. $p^+ - n$ o'tiwlerdegi sozilg'an ha'm toshkaliq defektler ^{60}Co - kvantlar ta'sirinde 10^2-10^7 Gr dozalar intervalinda aktivlestiriledi. Atermikaliq

ha’m termikaliq qayta islewlerdi birlestire otirip getterizatsiyalaw protsesslerinin’ optimizatsiyasina ha’m a’sbap strukturalarinin’ ha’m tayar o’nimlerdin’ parametrlerin jaqsilawg’a erisiw mu’kinshiligi ko’rsetildi. Yarimo’tkizgishlerdi ha’m ionlang’an nurlaniw ta’siri menen baylanisqan yarimo’tkizgishli a’sbaplardi atermikaliq qayta islewler menen bir qatarda keyingi jillari usi maqsette Ultrasesli qayta islewlerdi ken’nen qollaniladi [5].

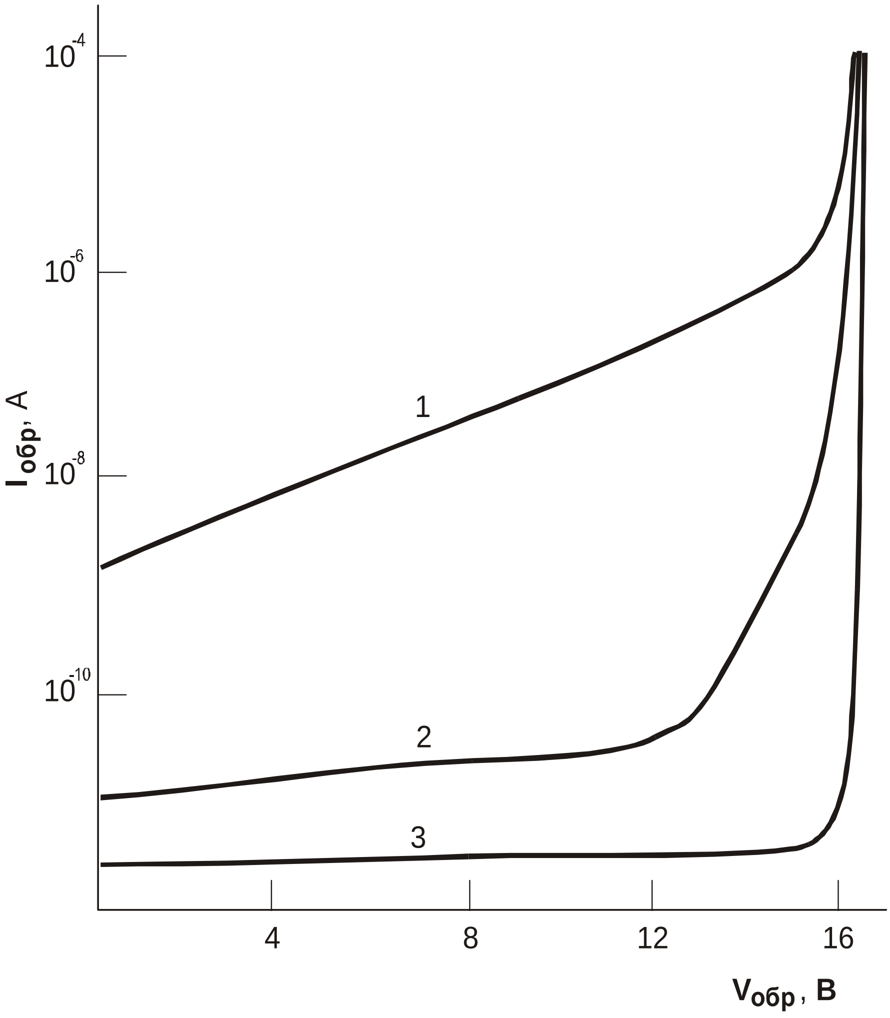
Labino-proletniy diodlardin’ ha’m bir proletli labino-proletniy diodlardi du’ziwde qollanilatug’in kremniyli juqa plenkali $p^+ - n -$ strukturalardin’ VAX-na ultrasesli qayta islewdin’ ta’siri. Keyingiler gazli fazadan T=1050 bolg’anda 3- 45 min dawaminda bordin’ kremniydin’ epitaksial $n -$ strukturasina diffuziyasi menen alindi. P-n o’tiwdin’ sho’giw teren’ligi 0,6 mkm di quraydi. Legirlewshi qosimta kontsentratsiyasi (bordin’) oblastinda 10^{20} sm^{-3}; n-qatlamda (fosfordin’) $3 \cdot 1$ sm^{-3}; -podlojkada (fosfordin’) 10^{19} sm^{-3} quradi. n ha’m p -oblastlardin’ qalin’lig’i olarg’a sa’ykes tu’rde 1,5 ha’m 300 mkm di quradi. Diametri 30 mkm bolg’an izertlenilip atirg’an kremniyli $p^+ - n - n$ strukturalarg’a (plastinada, sonday-aq SVSH diodlardin’ korpusina qatirilg’an) Ultrasesli qayta islewler o’tkerildi. Keyingiler +50 temperaturadan aspag’an halda 1.1.1.-su’wret ko’rsetilgen usil boyinsha piezoperamikaliq tu’rlendirgishler ja’rdeminde o’tkerildi. Ultrasesli qayta islewlerden keyin ha’m olardan VAX-sinin’ tuwri ha’m keri shaqalari keltirilgen. Ko’rinip turg’aninday (1-iymeklik), da’slepki u’lgide uteshkanin’ awisiq toklari baqlanadi. Ultrasesli qayta islewden keyin 1V, 160 kGts, 1 saat (1.1.1.-su’wret, 2-iymeklik) ha’m 2V, 160 kGts, 1 saat (1.1.1.-su’wret, 3-iymeklik) rejimlerde awisiq tok izbe-iz kemeyip toying’an tok payda bolg’ang’a shekem pa’seyedi (1.1.1.-su’wret, 3-iymeklik). Ultrasesli qayta islewlerden keyingi uteshka togi ha’m tok jetkiziw mexanizminin’ o’zgeriwi keri toktin’ V_{obr} = 4V bolg’andag’i temperaturaliq g’a’rezliligi menen tastiyiqlanadi. Da’slepki u’lgide (1.1.2.-su’wret, 1-iymeklik) I_{obr} temperaturaliq g’a’rezliliktin’ iymeyiwi termogeneratsiya tog’i ushin xarakterli bolg’an shamani quraydi (yag’niy, Eg/2 ta’rtiptegi shama bunda Eg-kremniydin’ qadag’an etilgen zonasinin’

eni). Ultrasesli qayta islewler dozasinin' ko'beyiwine baylanisli (1.1.2.-su'wret, 2-ha'm 3-iymeklik) keri toqtin' temperaturaliq g'a'rezlilik en'keyiwi artip baradi ha'm 1,1 eV ten' boladi (1.1.2.-su'wret,3-iymeklik). Bul toq jetkeriwdin' diffuziyaliq mexanizminin' artiqmashlig'inan derek beredi. Soni aytip o'tiwimiz kerek, usinday ultrasesli qayta islewlerde VAX-nin' tuwri shaqasinda da'slepki u'lgide idealliq faktori n 2 den 1,7 ge shekem ha'm Ultrasesli qayta islewden keyin 1,07 ge shekem olarg'a sa'ykes 1V, 160 kGts, 1 saat ha'm 2V, 160 kGts, 1 saat. Bunda VAX-nin' tuwri shaqasinda tok o'tkeriwdin' dtffuziyaliq mexanizminin' artiqmashlig'in ko'rsetedi.

Ultrasesli qayta islew sonday-aq izertlenilip atirg'an SVSH diodlardin' ko'shkili tesiliwinin' birtekliliginin' joqarilawina alip keledi. 1.1.1.-su'wrette VAX-si keltirilgen u'lgi 1.1.3.-su'wrette ko'rsetilgen (1-3-iymeklikler) tesiliwdin' juqa strukturasina iye (VAX-nin' birinshi tuwindisi boyinsha sinalg'an). Da'slepki u'lgi birtekli bolmag'an mikroplazmali tesiliwge iye (1.1.4.-su'wrette 1-iymeklik). Birinshi ultrasesli qayta islewlerden keyin mikroplazmali tesiliw saqlanip qaladi (1.1.3.-su'wret, 2-iymeklik).

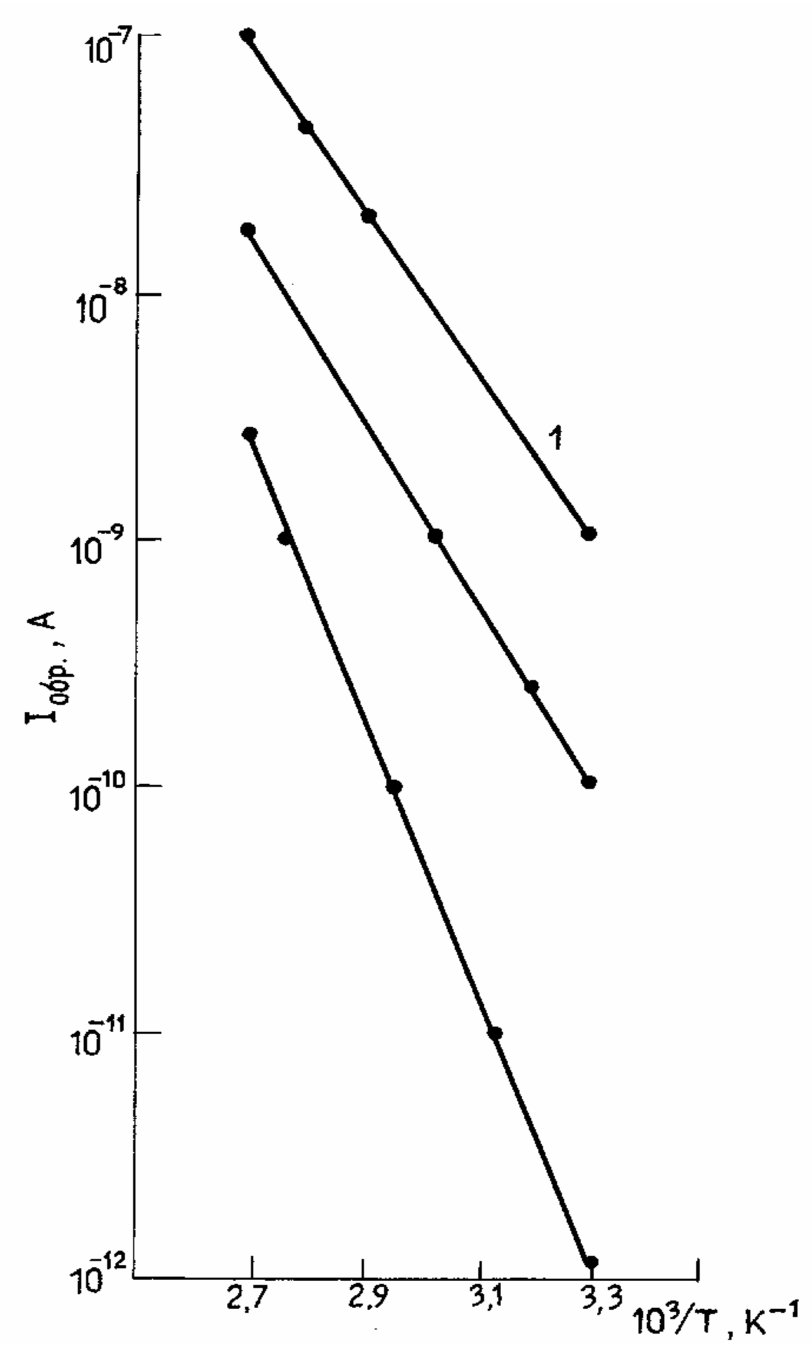
Ekinshi Ultrasesli qayta islewden keyin MP joq bolip ketedi

(1.1.4-su'wret, 3-iymeklik) ha'm diod bir MP bolip qosiladi, yag'niy toliq birtekli tesiliw baqlanadi. Ultrasesli qayta islewden keyingi diodta payda bolatug'in taza defektli hali bekkem boladi. U'lgilerdi komnata temperaturasinda bir jil saqlag'annan keyin VAX-na o'zgeriwler baqlanbaydi.



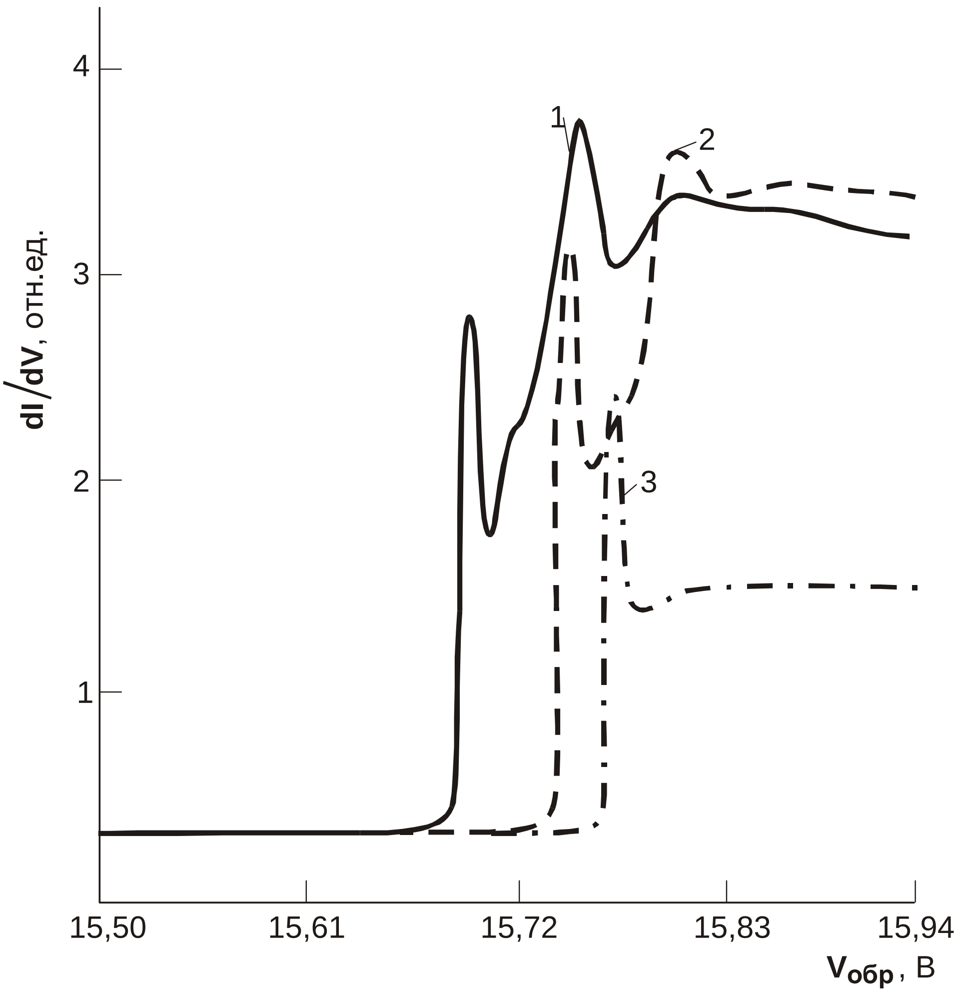
1.1.1.-su’wret. Kremniyli labino-proletniy diodlardin’ VAX-nin' keri shaqalari:

1-da’slepki; 2-ultrasesli qayta islewden keyin 1V 160 kGts 1saat rejiminde; 3-ultrasesli qayta islewden keyin 2V 160 kGts 1saat rejiminde



1.1.2-su’wret. Kremniyli labino-proletniy diodlardin’ V_{obr} = 4V bolg’andag’i

I_{obr} temperaturaliq g’a’rezliligi: 1-da’slepki; 2-ultrasesli qayta islewden keyin 1V 160 kGts 1saat rejiminde; 3-ultrasesli qayta islewden keyin 2V 160 kGts 1saat rejiminde.



1.1.3-su’wret. Kremniyli labino-proletniy diodlardin’d^2I/dV^2 g’a’rezliligi: 1-

da’slepki; 2-ultrasesli qayta islewden keyin 1V 160 kGts 1saat rejiminde; 3-ultrasesli qayta islewden keyin 2V 160 kGts 1saat rejiminde.

Diametri 30 mkm bolg’an u’lgide defekt strukturasinin’ bunday o’zgerisleri bizler akustikaliq tolqin energiyasinin’ defektler yamasa olardin’ jiyindisi arqali effektivli jutiliwi menen baylanistiramiz. Usinin’ na’tiyjesinde p-n-o’tiwdin’ jumis

oblastinda defektlerdin’ strukturaliq qayta quriwlari bolip o’tiwi mu’mkin. Bunday qayta quriwlar mikrotesiw ushin juwapker bolg’an ha’r qiyli strukturadag’i defektlerdin’ generatsiyaliq-rekombinatsiyaliq oraylardin’ kontsentratsiyalarinin’ kemeyip ketiwin belgilep beredi. Bul aqirinda awisiq toklardi kemeytedi ha’m ko’shkili tesiw birtekliliginin’ bir qansha joqarilawina alip keledi.

Ultrasesli qayta islew ultrasesli qayta islewden keyingi usig’an uqsas unamli o’zgerisler bizin’ ta’jiriybemiz ko’rsetkenindey, mikroo’lshemdegi (SVSH diodlardin’ diametri 20-30 mkm) u’lgilerde basqalarinan jaqsi baqlanadi. U’lken geometriyaliq o’lshemdegi u’lgilerde (atap aytqanda stabilitronlarda) effekt bir qansha kishi ha’m toktin’ diffuziyaliq komponenti komnata temperaturasindag’i Ultrasesli qayta islewdin’ hesh bir rejiminde baqlanbaydi [11-13].

Sonida aytip o’temiz, ultrasesli qayta islewdin’ plastinada jaylasqan ha’m korpusqa qatirilg’an $p^+ - n - n$ strukturasina ta’siri joqaridag’iday.

Solay etip, keltirilgen eksperimental ko’rsetkishler soni ko’rsetti, ultrasesli qayta islew kishi maydannin’ kremniyli SVSH diodlarinin’ parametrlerinin’ jaqsilaniwina alip keliwshi effektivli atermikaliq getterlewshi qayta islew sipatinda qollaniliwi mu’mkin.

Bunnan keyin bizler ta’repimizden ultrasesli qayta islewdin’ SVSH diodlar ha’m stabilitronlardin’ elektrofizikaliq xarakteristikalarina ta’siri izertlenildi.

Diffuziyaliq p-n o’tiwlerdi tayarlaw texnologiyasinda bir qansha tabislarg’a erisiwge qaramastan keyingi waqitlarg’a shekem texnologiyalardin’ aldinda awisiq toklar ta’biyati menen baylanisqan mashqalalar turipti. A’sirese IMPATT (impact-avalancheandtransit-time) rejiminde islewshi SVSH labino-proletniy diodlar texnologiyasinda aktual ma’sele bolip esaplanadi. Bul jag’dayda faskanin’ qaptal betinin’ o’lshemleri diodtin’ jumis maydani menen o’lshenedi ha’m awisiq toklar kremniy ko’lemindegi protsessler menen de, p-n-o’tiwdin’ qaptal betindegi protsessler menende belgilengen.

Ko’plegen jag’daylarda awisiq toklardi kemeytiwge ha’m korpuslengen diodlarda ko’shkili tesiliwdin’ birtekliligin joqarilatiwg’a erisiledi (tayar

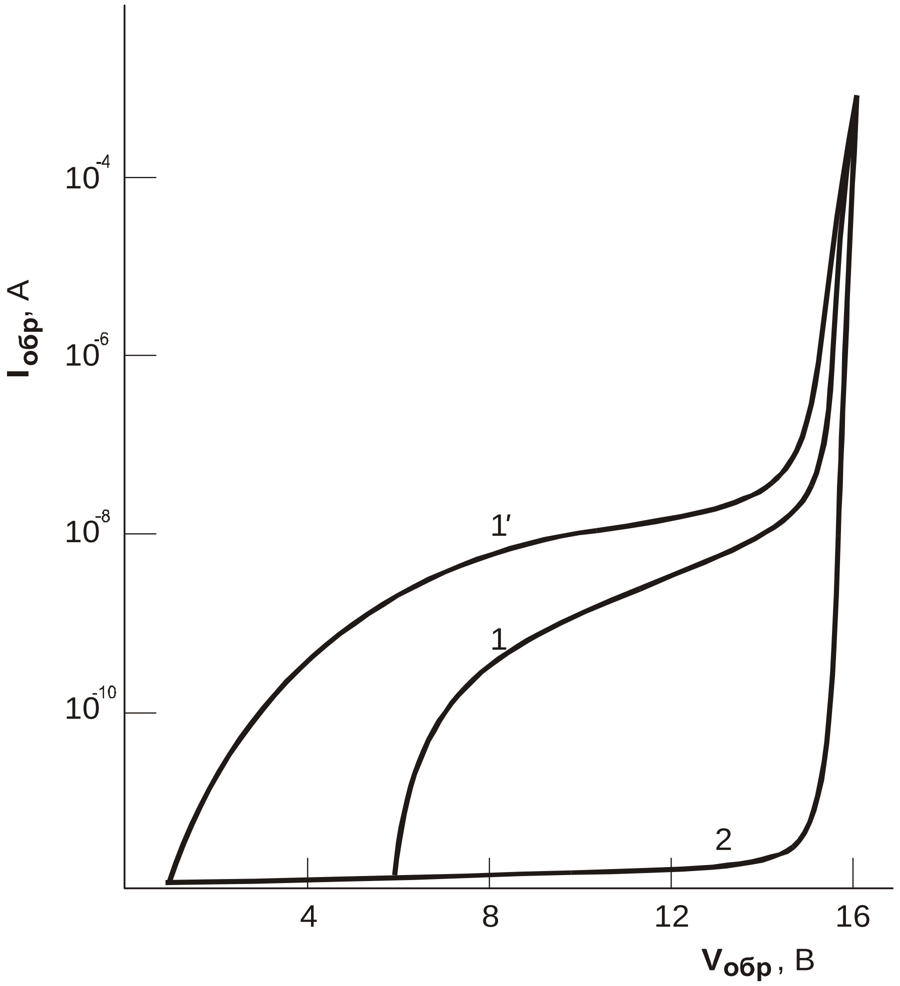
o’nimlerde), misali, ^{60}Co kvantlari menen nurlandirilg’anda yamasa elektr-termo-shinig’iwda. Bizler ta’repimizden eki proletli kremniyli labino-proletniy diodlarda ultrases penen ta’sir ettirip ko’shkili tesiliwdin’ birtekliligin asiriwg’a erisildi.

Bunnan keyin bizler ultrasesli qayta islewdin’ korpuslengen kremniyli labino-proletniy diodlardin’ VAX-nin’ keri shaqasina, sonin’ ishinde keri toktin’ stabilligine qalay ta’sir etetug’inlig’in ko’rsettik.

Izertlewler obektleri bolip bir proletli kremniyli diffuziyaliq $p^+ - n - n'$ diodlari qollanildi. Diodlardin’ diametri shama menen 30 mkm boldi. Olar labino-proletniy diodlardin’ korpusina qatirilg’an boldi. Eki tiptegi labino-proletniy diodlar izertlenildi: 1-uteshkanin’ awisiq toklarg’a iye ha’m 2-VAX-nin’ stabil emes keri shaqalarina iye. Eki tu’rdegi diodlarda ultrasesli qayta islewge qoyilip 10^{-4} Pa vakuumda uslap turildi. Ultrasesli qayta islew joqarida ko’rsetilgen usilda alip barildi. Qayta islewden aldin ha’m keyin VAX-nin’ keri shaqalari ha’m 300 -370 K temperaturalar intervalinda V_{obr} = 4V bolg’an keri toktin’ temperaturaliq g’a’rezlilikleri o’lshenedi.

1.1.4.-su’wrette qaytadan jaziw waqtinda (1-iymeklik) da’slepki VAX-ni keltirip shig’armag’an da’slepki u’lginin’ (1-iymeklik) VAX-nin’ keri shaqalari ko’rsetilgen. Ultrasesli qayta islewden keyin VAX-nin’ ko’rinisinin’ shig’arilmawi ha’m uteshkanin’ awisiq toklari «joq bolip ketedi».

Usig’an uqsas da’slepki keri VAX-na iye diodlar 10^{-4} Pa vakuumda 20 min’ uslap turildi, onnan keyin keri toktin’ «jiljig’ishlig’i» da joq bolip ketti. Keyingi awhal diodlar faskasinin’ betine qosimtalardin’ adsorbtsiyasi menen baylanisqan izertlenilip atirg’an u’lgilerde tok shig’ip ketiwinin’ betlik ta’biyati barlig’in ko’rsetedi. Bul jerde sonida aytip o’tiwimiz kerek, korpuslang’an diodlardi hawada u’sh ay saqlag’annan keyin u’lgilerde vakuumlang’an keyin ja’nede toktin’ jiljig’ishlig’i, biraq keri toqtin’ kishi ma’nislerinde payda boldi. Ultrasesli qayta islewden o’tken u’lgilerde bolsa, voltamperlik xarakteristikasi o’zgermedi.



1.1.4-su'wret. Kremniyli labino-proletniy diodlardin' VAX-sinin' keri shaqalari: 1- -da'slepki; 2- ultrasesli qayta islewden keyin 5V 160 kGts 1saat rejiminde.

U'lgilerdin' ekinshi tipinde da'slepki VAX-si waqit dawaminda o'zgermegen awisiq keri tokg'a iye. Bunday u'lgilerdi vakuumda otkashkalaw keri toklardin' ma'nisinin' bir neshe ta'rtipke to'menlewine alip keldi (10-su'wret, 1- ha'm 2-iymeklikler). U'lgilerdi hawada u'sh ay dawaminda saqlawdan keyin VAX-da ja'nede awisiq toklar payda boldi (2.4-su'wret 3-iymeklik). Bul faska betinde adsorbtsiyaliq protsessler barlig'in ko'rsetedi. Bul partiyadag'i diodlardin' ultrasesli qayta islewleri keri toklardin' tesiliw kernewliligine shekemgi bolg'an a'dewir kemeyiwine alip keldi (1.1.4.-su'wret, 1,2-da'slepki ha'm 1- Ultrasesli qayta islewden keyin). Diodlardi hawada u'sh ay dawaminda uslap turiw VAX ko'rinisin o'zgertpedi (1.1.1-su'wrettegi 1′ iymeklikler 1″ -iymeklikler menen tuwri keledi).

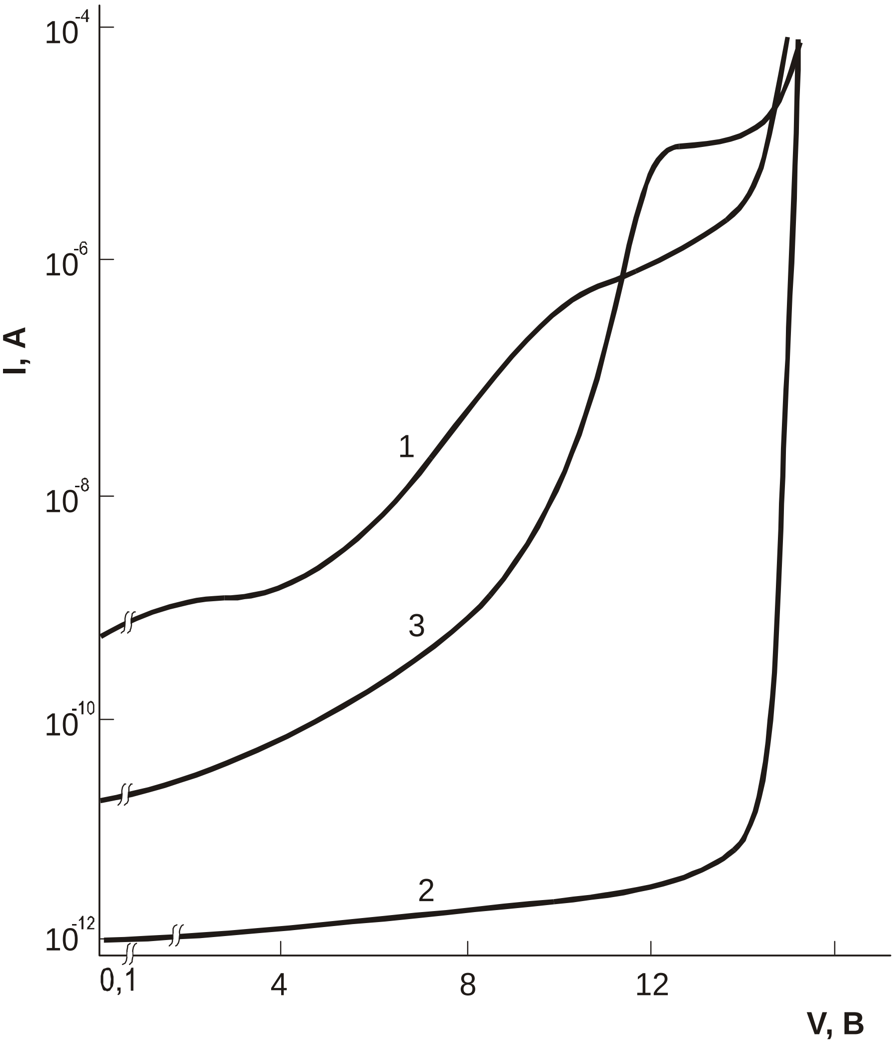
4V kernewler diapazoninda barliq qayta islengen u’lgilerde (qayta islew tu’ri-vakuumlaw yamasa ultrasesli qayta islew boliwina qaramastan) keri toktin’ kernewden g’a’rezliligi esaplang’an toying’an toq (diffuziyaliq tok) baqlanadi. Ol p-n-o’tiwdin’ OPZ-da generatsiyaliq-rekombinatsiyaliq oraylardin’ sezilerli mug’darinin’ bolmawin ko’rsetedi. Bul kremniydin’ qadag’an etilgen zonasinin’ ortasi a’tirapinda lokalizatsiyalang’an generatsiya-rekombinatsiya oraylarina iye generatsiyaliq-rekombinatsiyaliq emes toktin’ (1.1.4.-su’wretten da’slepki u’lgi

ushin 1-iymeklikti qaran’), al bul ushastkada iymeyiwi 1,1 eV shamani quraytug’in

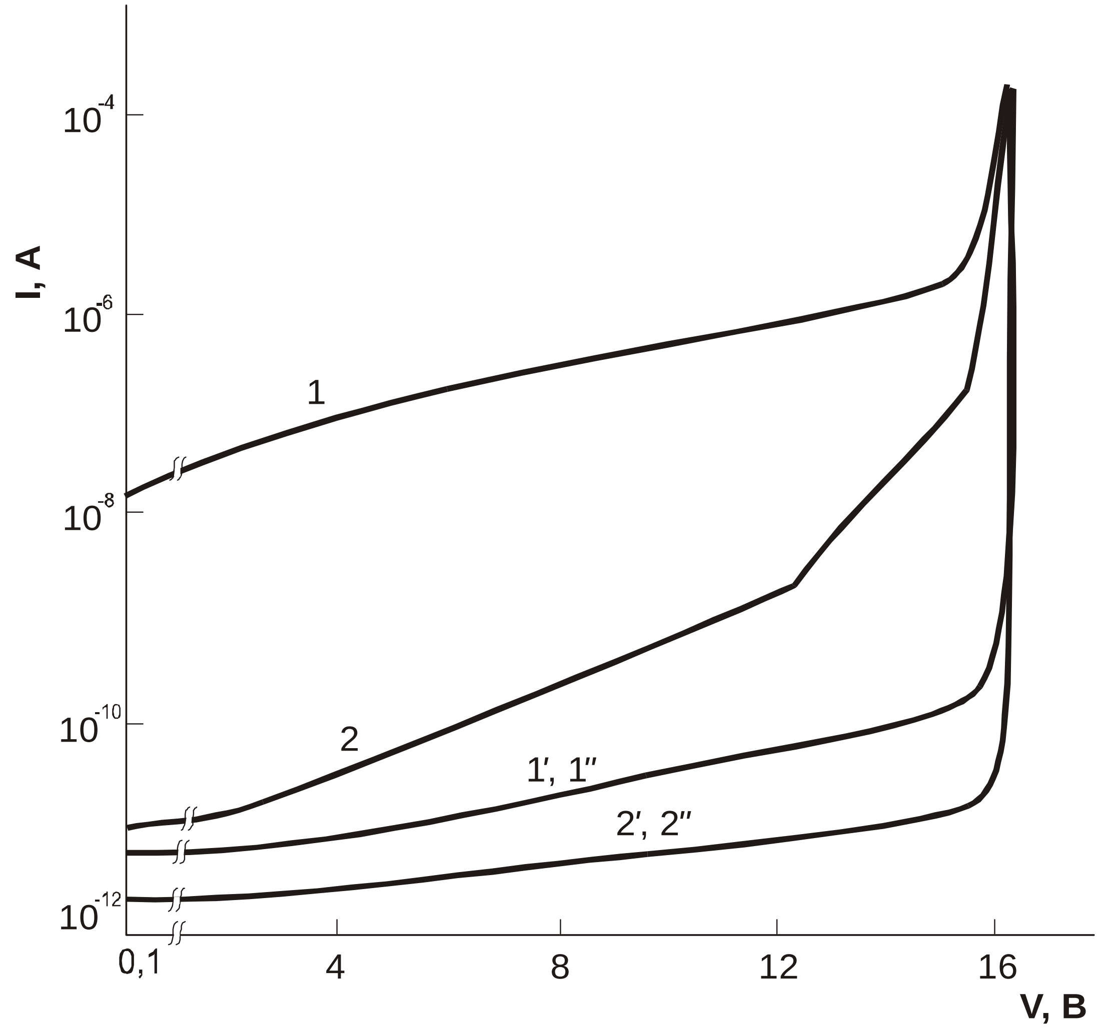
(kremniyde qadag’an etilgen zona enine ten’) keri toktin’ temperaturaliq g’a’rezliligi (1.1.4.-su’wret, 2-iymeklik) menen tastiyiqlang’an. Bul u’lgini vakuumlang’annan keyin hawada u’sh ay dawaminda uslap turiw bunnan aldin’g’i qayta islew-vakuumlawg’a (1.1.4.-su’wret, 3-iymeklikke qaran’) salistirg’anda temperaturaliq g’a’rezlilikte aktivatsiya energiyasinin’ kemeyiwine alip keledi.

Keyingi awhal ultrasesli qayta islewdin’ ha’m vakuumda uslap turiliwdin’ p-n-o’tiwdin’ betine ta’sirin ko’rsetedi. Quymali p-n-o’tiwdin’ ko’leminin’ strukturaliq defektleri mikroplazmaliq tesiwde payda boladi. Birinshi ultrasesli qayta islew VAX-nin’ juqa strukturasin o’zgertedi, bunda keyingi ultrasesli qayta islewler tesiwdin’ ayriqshalig’ina derlik ta’sir etpeydi. (1.1.5.-su’wretti qaran’). Usig’an uqsag’an ultrasesli qayta islewlerdi o’tken ha’m onnan keyingi hawada u’sh ay saqlang’an diodlardin’ keri tog’inin’ temperaturaliq g’a’rezlilikleri 1,1 eV shamag’a jaqin bolg’an aktivatsiya energiyasin derlik o’zgertpeydi.

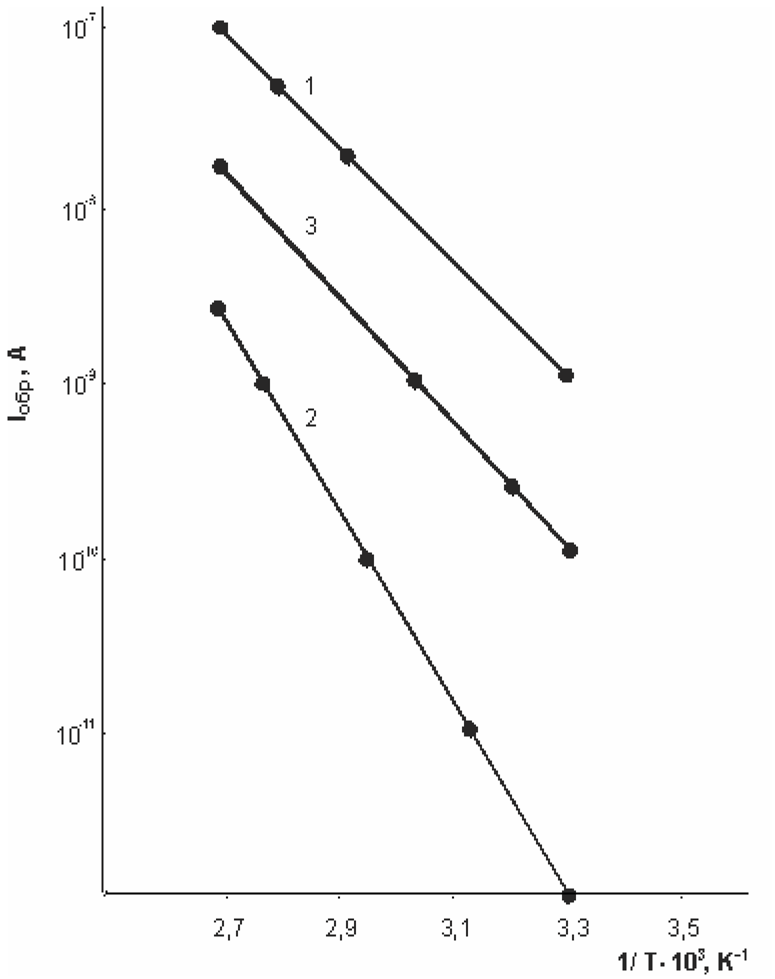
Sonida aytip o’tiw kerek, ultrasesli qayta islewdin’ labino-proletniy diodlardin’ VAX-na ta’sirin u’yrene otirip, bizler VAX-nin’ keri shaqasin ha’m tesiwdin’ ayriqshalig’in ken’nen izertledik.



1.1.5.-su'wret. Kremniyli labino-proletniy diodlardin' VAX-larinin' keri shaqalari: 1-da'slepki; 2- 10^{-4} Pa vakuumda 20 min dawaminda vakuumlengennen keyin; 3-vakuumlengennen keyin hawada u'sh ay saqlang'annan keyin.



1.1.6.-su’wret. Eki kremniyli labino-proletniy diodlardin’ VAX-nin’ keri shaqalari: 1-2-da’slepkiler; 1′- ultrasesli qayta islewden keyin 5V 160 kGts 1saat rejiminde; 1″-vakuumlengennen keyin hawada u’sh ay saqlang’annan keyin.



1.1.7.-su’wret. V_{obr} = 4V bolg’anda o’lshengen kremniyli labino-proletniy diodlardin’ keri toklarinin’ temperaturaliq g’a’rezlilikleri. 1-da’slepki; 10^{-4} Pa vakuumda 20 min dawaminda vakuumlengennen keyin; 3- vakuumlengennen keyin hawada u’sh ay saqlang’annan keyin.

Atap aytqanda usilar g’ana jumis ushastkasinda yamasa labino-proletniy diodlar parametrlerine ta’sir etiwshi VAX ushastkalarinda (misali; tesiw aldi oblasti) VAX-nin’ o’zgeriwin xarakterleydi. Awisiq toqlar ha’m tesiwdin’ birtekli emesligi labino-proletniy diodlardin’ shig’iw quwatlilig’in ha’m effektivligin a’dewir kemeytedi. Biraq ultrasesli qayta islewler menen stimullang’an VAX-dag’i o’zgerisler labino-proletniy diodlardin’ tuwridin-tuwri orin almastiriwinda da payda boladi. Bul jag’dayda VAX-sinin’ tuwri shaqasinda idealliq faktori dep ataliwshi koeffitsient a’dewir kemeyedi-da’slepki u’lgide 1,88 ten’ bolg’an bolsa,

ultrasesli qayta islewden keyin bull koeffitsienttin' shamasi 1,22 shekem kemeyedi. Al tuwri toktin' temperaturaliq g'a'rezliligi 300- 390 K temperaturalar aralig'inda (intervalinda) 0,9 0,98 eV ta'rtiptegi aktivatsiya energiyasina iye boladi. Bul diffuziyaliq toktin' rekombinatsiyaliq toq u'stinen artiqmashlig'in ko'rsetedi ha'm bul usinday jol menen kremniyli diffuziyaliq p-n-o'tiwde Shokli diodinin' VAX-sin aliw mu'mkinshiligi bar degen sheshimge keliwimizge da'lil boladi.

Keyingi uaqitlari a'debiyatlar sonni korsetti ko'lemlik effektler menen birge betlik effektlerde u'lken a'hmiyetke iye. Keltirilgen na'tiyjeler sonni ko'rsetti, diodlardi ultrasesli qayta islew p-n-o'tiwdin' qaptal betin adsorblang'an qosimtalardan derlik toliq bosatadi. Da'slepki u'lgilerdi vakuumlaw bolsa, ko'rinip turg'aninday, bette pataslaniw dereklerin saqlaydi ha'm olar saqlaw barisinda aktivlesedi ha'm qorshag'an ortaliqtan o'zine patasliqlardi sorip aladi.

Tesiw a'tirapinda bul labino-proletniy diodlardin' VAX ushastkalarinin' ko'rinisine qarap to'mendegishe sheshimge keliw mu'mkin, bunda, ultrasesli qayta islew na'tiyjesinde ko'shkili tesiw bir qansha birtekli boladi. Bul MP mug'darinin' kemeyiwi yamasa olardin' toliq joq bolip ketiwi sebebinen boladi.

§1.2. Soqqi tolqinlari ha'm lazerli nurlaniwdin' kadmiy telluridinin' beti ha'm ko'lemi menen o'z-ara ta'sir etisiwinin' akustoximiyasin u'yreniw

Bu'gingi ku'nde joqarida aytilg'anlar menen bir qatarda defektoskopiya bag'dari tez pa't penen rawajlanip, akustiqaliq emissiya atin aldi, bul o'z gezeginde u'lgige yag'niy qatti denege qoyilg'an mexanikaliq kernew na'tiyjesinde u'lgi «shitinap» ketedi degendi bildirip qatti dene konstruktsiyasin izertlep baradi. Bunday protsesti to'mendegidey tu'sindiriwge boladi; u'lgide dislokatsiyalardin' qozg'alisi payda bolip, belgili bir aniqlang'an waqit ishinde defektler deregi yag'niy dislokatsiyalar jiyindisi yamasa submikroskopiyaliq jariqlar jiyindisin payda etip, ultrases jiyligin qurawshi akustikaliq impulsler spektrin payda etedi. Akustikaliq emissiya ja'rdeminde

jariqlardin' ken'eyiwin ha'm payda boliwin, jaylasqan ornin aniqlawg'a boladi. Ultrases ja'rdeminde qayta islewler menen bir qatarda lazerli qa'yta islewlerde ken'nen qollanilmaqta.

Fizikada sonin' day yarimo'tkizgishli a'sbaplarda, atap aytqanda akustooptikaliq ha'm ju'da' joqari jiyiliktegi fotoelektrlik yarimo'tkizgishli a'sbaplar texnikasinda aktual ma'seleler, bular kristallarg'a impulsli, atap aytqanda lazerli ta'sir jasag'anda kristallar betinde nanorazmerli (nanoo'lshemli) strukturalardin' qa'liplesiwi bolip esaplanadi. Bunnan aldin $A^{II}B^{VI}$ yarimo'tkizgishler betinde rubinli lazerdin' bir nanosekundli impulsi ta'sirinde nanoplasterler ansamblinin' payda boliw effekti aniqlandi ha'm nanoplasterlerdin' boyg'a o'lsheminin' nurlaniw intensivliginen g'a'rezliligi aniqlandi. Uliwma alg'anda kadmiy tellur yarimo'tkizgishi betinde bir nanosekundli lazer impulsinin' ta'siri astinda nanoplasterlerdin' payda boliwi plazmali-deformatsiyali teoriyada jaqsi ko'rsetilgen [3, 4].

Yarim o'tkizgishli strukturalardi impulsli lazer menen qayta islew yarimo'tkizgishlerdin' betlik hallari ha'm qa'siyetlerinin' modifikatsiyasinin' qolayli usillari bolip esaplanadi.

Impulsli lazerli nurlandiriwdin’ intensivligine baylanisli yarim o’tkizgishler betinin’ lazerli-induktsiyaliq modifikatsiyasinin’ u’sh etabin bo’lip shig’ariwg’a boladi, betlik qatlamnin’ qatti fazada bir qansha jen’il komponentler menen bir waqittin’ o’zinde bayitiw protsessinde defektli podsistemanin’ payda boliwi, bettin’ eritiliwi, qaynaw temperaturasina jetkende ha’m puwlardin’ bir qansha joqari basimina jetkende betke jaqin qatlamnin’ buziliwi bolip bir neshe etaplarg’a bo’linedi. Usi bapta bettin’ eritiliw protsessinin’ tellurid kadmiy ha’m arsenid galliy yarim o’tkizgishli quramanin’ akustikaliq shaqirimina yarim o’tkizgishlerdin’ transformatsiya protsesslerinin’ akustikaliq-ximiyaliq interpretatsiya kompleksi ramkasinda sirtqi ortaliqtin’ ta’siri astinda impulsli lazerli nurlandiriwda ta’siri ko’rip shig’ildi, sonday-aq induktsiyalang’an akustikaliq shaqiriq boyinsha monokristallar betinin’ eritiliwin qadag’alaw usili usinilg’an.

Bul bapta to’mendegi sorawlarg’a juwap beriwge ha’reket etip ko’rildi, atap aytqanda lazer du’rkini ha’reketinen tisqari defektler payda boliwina uzaq ta’sir etiw effekti alip keleme, sebebi bul zonada lazerli nurlaniwdin’ tuwridan-tuwri tu’siwinen eritiliw ha’m bettin’ buziliw mu’mkinshiligi uliwma bolmaydi. Bul pikirler yarim o’tkizgishlerde defektli-induktsiyalang’an struktura payda boliw protsessin akustikaliq-ximiyaliq ko’rip shig’iwlar ushin aktual bolip esaplanadi. Sonliqtan, bul bapta kristallardi lazer menen nurlaniw zonasinda da, nurlaniw zonasinan tisqarida da nurlanip atirg’an bettin’ izertleniw na’tiyjeleri keltirilgen.

Nanosekundli impulsli akustika-optikaliq ta’sir etiw protsessi komnata temperaturasinda o’tkerildi. Nurlaniw deregi orninda t =2.10^{-8} s impuls uzinlig’ina iye to’zimli (bekkem) Modeli rejiminde islewshi a’dettegi ko’p modali rubin lazer qollanildi. Nurlandirilg’an u’lgiler atomliq-ku’shlik mikroskopiya (silovaya atomnaya mikrokopiya) usili menen izertlenildi. Kristalldin’ defekt strukturasina serpimli tolqinlardin’ ta’siri menen stimullang’an yarim o’tkizgishli qosilmalar komponentlerinin’ bo’listiriliwi menen yarim o’tkizgishtin’ betke jaqin oblastinda akustoximiyaliq o’z-ara ta’siri menen belgilengen nano o’lshemli

diapazondag'i strukturalardin' payda boliwi aniqlandi ha'm ta'jiriybe tu'rinde tastiyiqlandi, kadmiy telluridi kristallina ju'da' qisqa lazer impulslerdin' ta'siri tek g'ana ta'sir etiw oblastinda betke jaqin strukturalardin' payda boliwin g'ana emes, al kristalldin' nurlandirilmag'an oblastlarinda bettin' mikrorelefinin' nizamli ha'm keltirip shig'arilg'an o'zgerislerge alip keledi ha'm bul betti lazerli modifikatsiyalawda uzaq ta'sir etiw effektinin' payda boliwi bolip esaplanadi.

Biraq yarim o'tkizgish betine energetikaliq nanostruktura payda boliw protsessi ha'm onin' ko'lemi arqali soqqi tolqini o'tiwi waqtinda bolip o'tetug'in o'zgeris protsessi ortasindag'i o'z-ara baylanisti aytip o'tiw kerek.

Sonin' menen bir waqitta eksperiment na'tiyjeleri soni ko'rsetti lazer nurlaniwdin' jutiliwshi material menen o'z-ara ha'reketi barisinda payda bolatug'in soqqi tolqini ta'siri astinda p-CdTe monokristallarinin' elektr o'tkizgishligi, fotolyuminestsentsiyasi ha'm dislokatsiyaliq strukturasinin' o'zgerisin izertlew, p-CdTe monokristallarinin' elektr o'tkizgishligi soqqi tolqininin' o'tiw momentinde joqarilaydi ha'm ol o'tip bolg'annan keyin pa'seyetug'inlig'in ko'rsetti. Bul protsesstin' relaksatsiya waqti 156 mks-ti quraydi. Lazer nurlaniwdin' quwatliliq tig'izlig'inin' o'siwi menen u'lgilerdin' qaldiqli qarsilig'inin' o'siwin du'zetiwshi dislokatsiya saninin' o'siwi baqlandi. Fotolyuminestsentsiya spektrinde soqqi tolqini o'tkennen keyin sozilg'an defektlerde erkin tasiwshilardin' rekombinatsiyasi menen baylanisqan 840 nm jolaq (polosa) payda boladi. O'tkiziwshen'liktin' qaldiqli o'zgerisleri kristalli strukturalardin' turaqli defektlerinin' payda boliwi menen belgilengen.

$A^{II}B^{VI}$ yarim o'tkizgishlerdi quwatliliq tig'izlig'i buziliw bosag'asinan to'men bolg'an nanosekundli uzinliqtag'i lazerlerdin' nurlaniw impulsleri menen nurlandiriw olardin' elektrofizikaliq qa'siyetlerinin' sezilerli o'zgeriwine alip keledi.

Solay etip, CdTe monokristallari 20 ns uzinliqqa ten' rubinli lazer nurlaniwi impulsleri menen nurlandirilg'anda 3 mkm teren'liktegi betke jaqin oblastta elektrlik, fotoelektrlik ha'm lyuminestsentlik xarakteristikalarinin' o'zgeriwi

gu’zetildi, bul nurlaniwdin’ jutiliw oblasti qalin’lig’inan anag’urlim ko’birek. Lazerdin’ nurlaniw impulsi energiyasi pa’njere generatsiya, termalizatsiya ha’m onnan keyingi elektron – tesik jubinin’ rekombinatsiyasinan keyin beriledi dep boljaw mu’mkin. Ha’tteki temperaturanin’ nurlaniw zonasinda ju’da’ azg’ana waqitta (10^{-8} s) azg’ana ko’teriliwi (200°S g’a shekem) jilliliq soqqisina, serpimli tolqinlardin’ tarqaliwina ha’m materialdin’ akustoximiyaliq o’zgerislerine alip keledi, pa’njere bekkem bolmag’an ximiyaliq baylanislardin’ u’ziliwine jetkilikli bolg’an 20-30 kbar bolg’an termoserpimli kernew payda boladi. Bette jaylasqan oraylardin’ ku’shli terbelisli qoziwinda yarim o’tkizgish zatinin’ atomlarinin’ ha’r qiyli qosimtalarinin’ yamasa adsorbtsiyalang’an molekulalardin’ shig’ip ha’m puwlanip ketiwi mu’mkin. Kristalldin’ teren’liginde qosimtalar ha’m defektlerdin’ diffuziyasi gu’zetiledi. Ko’plegen jumislarda ko’rsetilgenindey, diffuziya protsessi qisqa lazerli nurlaniw impulsinin’ ta’sirinde payda bolatug’in soqqi tolqini (ST) menen stimullanadi.

Bunday mexanizm bar ha’m atap aytqanda $A^{II}B^{VI}$ ha’m $A^{III}B^{V}$ lerdi qosqandag’i kovalentlik yarim o’tkizgishli qosimtalardin’ ayirim bo’lekleri ushin dep boljaw mu’mkin.

Soqqi tolqinlari fotoeffektler, termoserpimli deformatsiyalar, termoqizdiriwlar menen birgelikte ha’reket isleydi ha’m bul faktorlardin’ ha’r qaysisinin’ rolin aniqlaw materialdin’ defektli podsistemasinin’ kompleksli akustoximiyaliq qayta quriwlar ha’m elektrofizikaliq qa’siyetlerinin’ o’zgeriw protsessinde aniqlaw bir qansha qiyin boladi. Atap aytqanda usi sebepli CdTe de lazerlik qayta islewge beyimlesken ko’rsetilmegen effektlersiz defektler payda boliw protsessinde soqqi tolqininin’ rolin ajiratiw a’hmiyetli bolip esaplanadi. Soqqi tolqininin’ materialg’a ta’sir etiwshi izertlew ha’r tu’rli avtorlar ta’repinen o’tkerildi ha’m bunda soqqi beriwshi termoserpimli kernewlilikti du’ziwdin’ en’ qolayli usili dep nanosekundli yamasa ha’tteki pikosekundli uzinliqqi iye lazerli nurlaniw impulsleri menen ta’sir etiw esaplanadi dep atap o’tilgen. Kristall arqali soqqi tolqininin’ ha’reketi dawaminda materialdin’ elektrlik qa’iyetlerin aniq o’zgertetug’in ko’p sandag’i

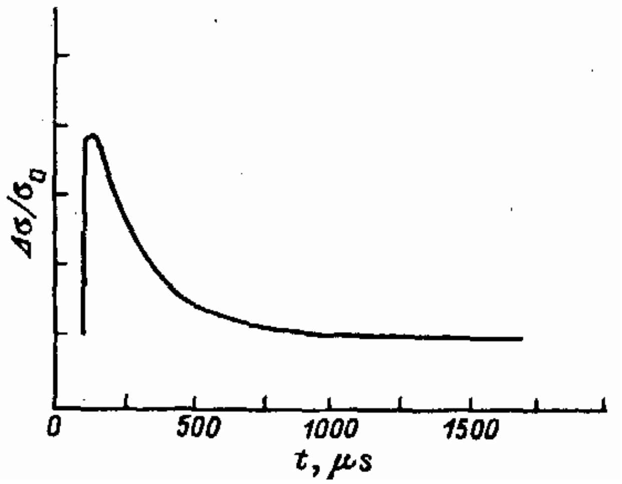
toshkaliq defektlerdin’ generatsiyalaniwi ko’rsetip o’tilgen. Sonliqtan nanosekundli lazerli qayta islewdin’ yarimo’tkizgishtin’ betine ha’m onin’ ko’lemine ta’siri ushin berilgen eksperimental ko’rsetkishlerdi salistiriw a’hmiyetli bolip esaplanadi. Bul jumista nanosekundli uzinliqtag’i rubinli lazer nurlaniw impulsi menen qurilg’an soqqi tolqinin o’tiwdegi kadmiy telluridinin’ monokristallarinin’ elektrlik xarakteristikalarinin’, morfologiyasinin’ ha’m fotolyuminestsentsiyasinin’ o’zgeriwi boyinsha eksperimentalь na’tiyjeler alindi.

Buziwshi emes soqqi tolqini generatsiyasi ushin uzinlig’i (dawamlilig’i) 20 ns ha’m 10^7 Vt /s sheklerde neytral-sur jaqtiliq filtrleri menen o’zgeretug’in intensivlikke iye rubin lazerinin’ nurlaniw impulsi qollanildi. U’lgiler maydani 2x3 mm ha’m ha’r qiyli qalin’liqtag’i parallelepipedler tu’rinde tayarlandi [5]. Izertlenetug’in u’lgiler aralig’indag’i bosliq epoksid kley menen quyilg’an kvarts podlojka ha’m isqilang’an mis folga aralig’inda jaylastirildi. Mis folga u’lgige tuwridan-tuwri yamasa tarqalip tu’siwshi lazer nurlaniwdin’ aldin aliw ushin xizmet qiladi. Folga qalin’lig’in tan’lap aliw, bunda generatsiyalang’an soqqi tolqini folgada payda bolip onnan keyin u’lgige ta’sir etiwi kerek. Kvartsli podlojka u’lginin’ buziliwinan saqlap podlojkanin’ erkin betine shiqqan u’lgilerdin’ razgruzka tolqinlari menen buziliwinin’ aldin aliw ushin qollanildi.

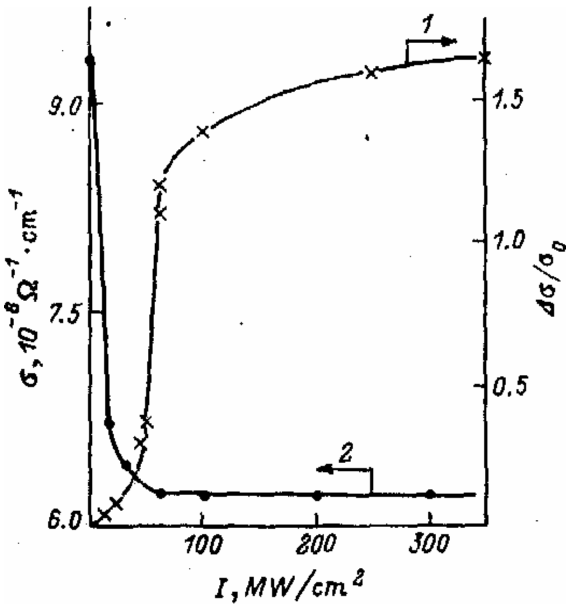
Izertleniwshi obiekt orninda joqari omli p-CdTe monokristallari qollanildi. Elektrlik kontaktlar (mis, indiy) u’lginin’ arqa ta’repinen berildi ha’m volt-amperlik xarakteristikalardin’ siziqlilig’i boyinsha omliq qarsiliqqa tekserildi. U’lgilerdin’ o’tkiziwshen’liginin’ o’zgeriwi S8-12 ostsillografta nurlaniw momentinde ha’m onnan keyin registratsiyalandi. Dislokatsiyaliq struktura u’lgilerdin’ shig’iwshi qirlarinda nurlaniwdan aldin ha’m keyin optikaliq mikrofotografiya usilinda izertlenildi. U’lgilerdin’ qaldiqli qarsilig’i ha’r bir lazer nurlaniw impulsinen keyin 4-5 minuttan keyin o’lshenildi. U’lgilerdin’ fotolyuminestsentsiyasi (FL) shig’iwshi qir betinen (111)A geliy-neonli lazer nurlaniwi menen qozdirildi. Qalin’lig’i 2,5 mm bolg’an p-CdTe kristallarin komnata temperaturasindag’i dawamliliq penen rubin lazeri menen nurlandiriw

impulsi menen nurlandirilg'anda o'tkizgishliktin' o'siwi baqlandi, onnan keyin onin' da'slepki ma'nislerge qaytiwi baqlandi. U'lgilerdin' birinin' 300 K ta 100 MVt/sm^2 quwatliliq tig'izlig'ina iye lazerli nurlaniw impulsinin' ta'sir etiwinen keyingi waqitqa qarap o'tkiziwshen'liginin' a'dettegi o'zgeriwi 1.2.1.-su'wrette ko'rsetilgen. Ha'r qiyli nurlaniw intensivliginde o'tkiziwshen'lik o'zgeriwinin' pa'seyiwi eki quramg'a iye boladi *t* – relaksatsiya waqti turaqlilig'ina iye eksponentsialь nizami boyinsha bolip o'tetug'in tez ha'm waqit aralig'inda (t=3-4min waq it aralig'inda) o'tkiziwshen'lik bir neshe ese to'menleytug'in ha'm onnan keyin stabillesetug'in a'ste o'tiwshi quramg'a iye boladi. Bul jag'dayda kristalldin' qaldiqli o'tkiziwshen'ligi da'slepkige qarag'anda to'menirek boladi [6].

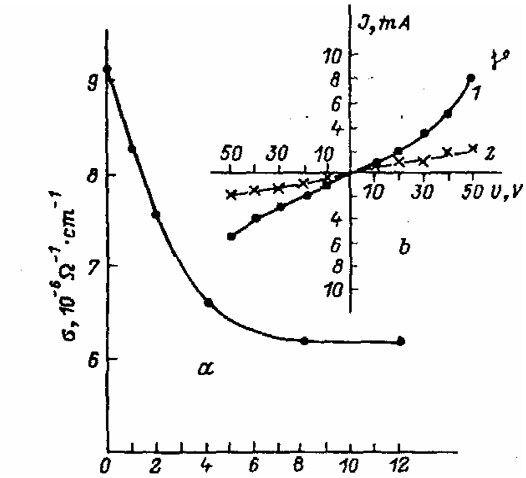
1.2.2.-su'wrette o'tkiziwshen'lik o'zgeriwi impulsi amplitudasi ha'm qaldiqli o'tkiziwshen'liktin' lazer nurlaniwdin' generatsiyalawshi soqqi tolqini quwatlilig'inan g'a'rezliligi keltirilgen. Lazerli nurlaniw quwatlilig'inin' o'siwi menen o'tkiziwshen'lik eksponentsialliq nizam boyinsha ku'sheyedi ha'm keyin toyiniwg'a shig'ip ketedi. Qaldiqli o'tkiziwshen'lik (bir impuls energiyasinin' ku'sheyiwinde, sonday-aq lazerli nurlaniw quwatlilig'inin' turaqli tig'izlig'inin' N impulslerinin' summaliq energiyasinin' ku'sheyiwinde de) da'slep pa'seyedi, al keyin toyiniwg'a shig'ip ketedi. Izertlenilip atirg'an p-CdTe u'lgilerdin' soqqi tolqini o'tiwine shekemgi ha'm onnan keyingi volt-amperlik xarakteristikasi (VAX) 1.2.3.-su'wrette ko'rsetilgen. Soqqi tolqinin qozdiriwdan keyin fototokti o'lshewlerdin' ko'rsetiwi boyinsha, bunda ol 2 ta'rtipke to'menleydi, ol jasirin (temnovoy) tok azg'ana kemeyedi, Volt-amperlik xarakteristikasinin' tuwrilaniwi baqlanadi.



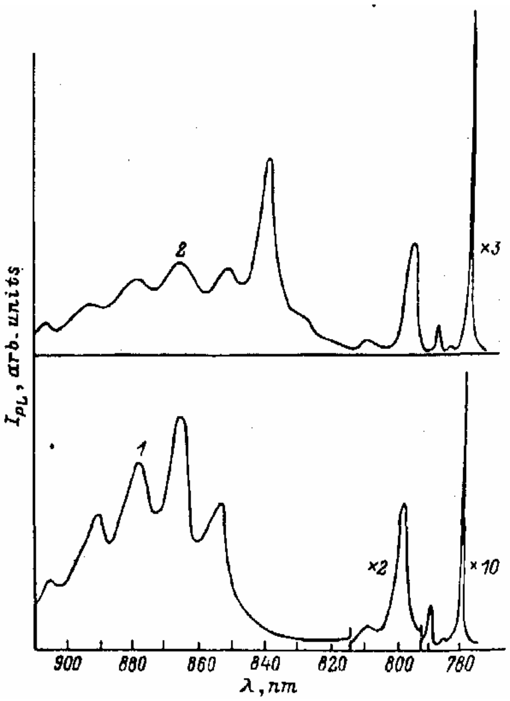
1.2.1.-su'wret. Quwatliliq tig'izlig'i 100 MVt /s bolg'an lazer impulsi ta'sir etiwinen keyingi elektr o'tkiziwshen'lik o'zgeriwinin' kinetikasi.



1.2.2.-su'wret. O'tkiziwshen'lik o'zgeriwi impulsi ha'm qaldiqli o'tkiziwshen'lik amplitudasinin' lazerlik nurlaniw quwatlilig'i tig'izlig'inan g'a'rezliligi.



1.2.3.-su’wret. Qaldiqli o’tkiziwshen’liktin’ quwatliliq tig’izlig’i 20 MVt/s bolg’an N lazerli nurlaniwdin’ impulsler saninan g’a’rezliligi, ha’m gewekli tipindegi CdTe nin’ quwatliliq tig’izlig’i 100 MVt/s bolg’an lazerli nurlaniw impulsi menen qozdirilg’an soqqi tolqini o’tkenge shekemgi (1) ha’m o’tkennen keyingi (2) volt-amperlik xarakteristikalari.



1.2.4.-su’wret. Kadmiy telluridinin’ soqqi tolqini o’tkenge shekemgi (1) ha’m o’tkennen keyingi (2) FL intensivlik spektrleri.

Fotolyuminestsentsiya da’slepki jolaqlarinin’ o’shiwinin’ baslaniwi ha’m taza jolaqtin’ payda boliwi soqqi tolqininin’ payda boliw bosag’asina sa’ykes keliwshi tek bir g’ana nurlaniw dozasinda bolip o’tedi.

840 nm jolaq sozilg’an defektlerde tasiwshilardin’ rekombinatsiyasi menen baylanisqan. (dislokatsiyaliq tu’yin tu’rinde).

Nanosekundli dawamliliqtag’i lazerli nurlaniw impulsleri menen nurlandirilg’an p-CdTe monokristallardin’ o’tkiziwshen’liginin’ o’zgeriwi qosimsha toq tasiwshilardin’ generatsiyasi waqtinda sonin’ aqibetinen tarqatilg’an lazerli nurlaniw menen qozdirilg’an fotoeffekttin’ generatsiyasinan, kristalldin’ qoziwinan, Piezoeffektten ha’m strukturanin’ qosimsha defektlerinin’ payda boliwi aqibetinen boliwi mu’mkin. Toq tasiwshilardin’ ha’reketshen’ligin iske qosiw aqibetinde tarqaliw mexanizminin’ qosiliw mu’mkinshiligi ju’da’ kem. Ta’jiriybe sha’rtleri jaqtiliqtin’ u’lgige tu’siwin joq qiliw mu’mkinshiligin berdi ha’m sog’an sa’ykes toq tasiwshilardin’ fotogeneratsiyasinda joq qiliwg’a mu’mkinshilik berdi. Onnan basqa, rubinli lazer nurlaniw arqali qozdirilg’an fotoo’tkiziwshen’likti izertlew na’tiyjeleri ko’rsetkenindey, relaksatsiyanin’ xarakterli waqitlari baqlanip atirg’an ma’nislerge qarag’anda u’sh-to’rt ta’rtipke kemeydi. Piezoeffekttin’ boliwin tu’sindiriw sha’rt emes, sebebi o’shirip qoyilg’anda signal bolmadi. Baqlaw barisinda aniqlang’an o’tkiziwshen’liktin’ ku’sheyiwi u’lginin’ qozdiriliwi sha’rti menen belgilenbeydi, sebebi lazer impulsinin’ jilliliq tolqini onin’ ta’sir etiw waqtinda 2 mkm teren’likke tarqaladi ha’m folgadan shiqpaydi. Baqlanip atirg’an effektke mu’mkin bolg’an tu’sindirmelerdin’ biri bul, teren’ energetik qa’ddili toshkaliq defektlerden (uslag’ishlardan) toktin’ ten’ salmaqli emes tasiwshilarinin’ soqqi tolqini menen generatsiyasi yamasa yarimo’tkizgishtin’ defektli strukturasinin’ akustoximiyaliq tu’rleniwi bolip esaplanadi.

Lazerli nurlaniw impulsi ta’siri astinda soqqi tolqininin’ payda boliw mexanizmi to’mendegiden turadi, bunda folga betin nurlandiriwda bo’lim shegarasinda metall puwinin’ ha’m ha’lsiz ionlang’an plazmanin’ juqa qatlami payda bolip, olar ortaliq ko’lemine ken’eyiwinde o’zinin’ aldi ta’repinde

mexanikaliq qisiliw tolqinin aydaydi. Soqqi tolqinin pa’njerenin’ regulyar bolmag’an halinda san’laqlarg’a ushiraytug’in fononlardin’ bag’itlang’an ag’imi tu’rinde ko’riw mu’mkin. Bunda tarqaliw orayi impuls payda etip, defekt payda boliwi ushin jetkilikli boliwi mu’mkin ha’m bul defektler ionlang’an boliwida mu’mkin, sebebi soqqi tolqini menen qisilg’an pa’njere turaqliliq shegi a’tirapinda jaylasadi.

Soqqi tolqini payda boliw momentinde o’tkiziwshen’liktin joqarilawi teren’ aktseptorliq qa’ddilerdin’ ionizatsiyasina sa’ykes keledi. Soqqi tolqini ta’sirinen keyingi qaldiqli o’tkiziwshen’liktin’ kemeyiwi dislokatsiyalar tig’izlig’inin’ joqarilawi menen birge o’tedi ha’m buni dislokatsiyaliq tu’yin tipindegi araliq defektlerde tasiwshilardin’ rekombinatsiyasi menen baylanisqan FL 840 nm jolag’inin’ payda boliwi menen ko’rsetedi.

p-tipli o’tkiziwshen’likke iye CdTe kristallarda o’tkiziwshen’lik ma’nisi ha’m dislokatsiyalar tig’izlig’i arasinda o’z-ara to’mendegishe baylanis boladi. Demek dislokatsiya tig’izlig’i u’lken bolg’an kristallarda o’tkiziwshen’lik kishi boladi [7].

Sonliqtanda, soqqi tolqini o’tkennen keyingi o’tkiziwshen’liktin’ pa’seyiwi dislokatsiya tig’izlig’inin’ joqarilawi yamasa defekt podsistemasinin’ akustoximiyaliq transformatsiyasi menen baylanisli dep boljaw ju’ritiwimiz mu’mkin, sebebi dislokatsiyalar o’tkiziwshen’lik ma’nislerdi aniqlawshi aktseptor tipindegi defektler ushin ag’im bolip esaplanadi. Kishi dislokatsiya tig’izlig’inda bul defektlerdin’ ko’pshilik bo’legi dislokatsiyalar menen jaylasip alinbaydi ha’m dislokatsiya tig’izlig’inin’ o’siwi menen kemeyiwi kerek.

§1.3. Mikroplazmalardin' payda boliw sebepleri ha'm onin' voltamperlik xarakteristikag'a ta'siri

Da'slep pribaltikali ilimpaz T.Ya.Puritistin' ha'm son'inan Rossiyali ilimpazlar I.V.Grexov ha'm Yu.N.Serejkinlerdin' birinshi izertlewlerinen son' p-n o'tkelli lavinno-proletli diodlarda proboy oblastinda defekt bar jerde toq tasiwshilar ku'shli lokalizastiyalasqan (ja'mlesken) bolatug'inlig'i ko'rsetilgen [6,7]. Son'inan Ukrainali ilimpazlar prof. Yu.A.Txorik, R.V.Konakovalardin' ilimiy jumislarinda bir qansha da'rejede teren'irek izertlenilgen [8,9].

A'dette lokalizastiyalang'an proboy oblasti ju'da' kishi geometriyaliq razmerge iye ha'm proboy kernewi bir tekli oblastqa salistirg'anda 2 - 3V shamasinda kishi boladi, a'dette bul kernewdin' shamasi strukturanin' tazalig'ina baylanisli boladi. Bul toq tig'izlig'inin' ku'shli lokalizastiyalang'an proboy oblastin [6,7] aytilg'aninday mikroplazma (MP) dep qabil etilgen.

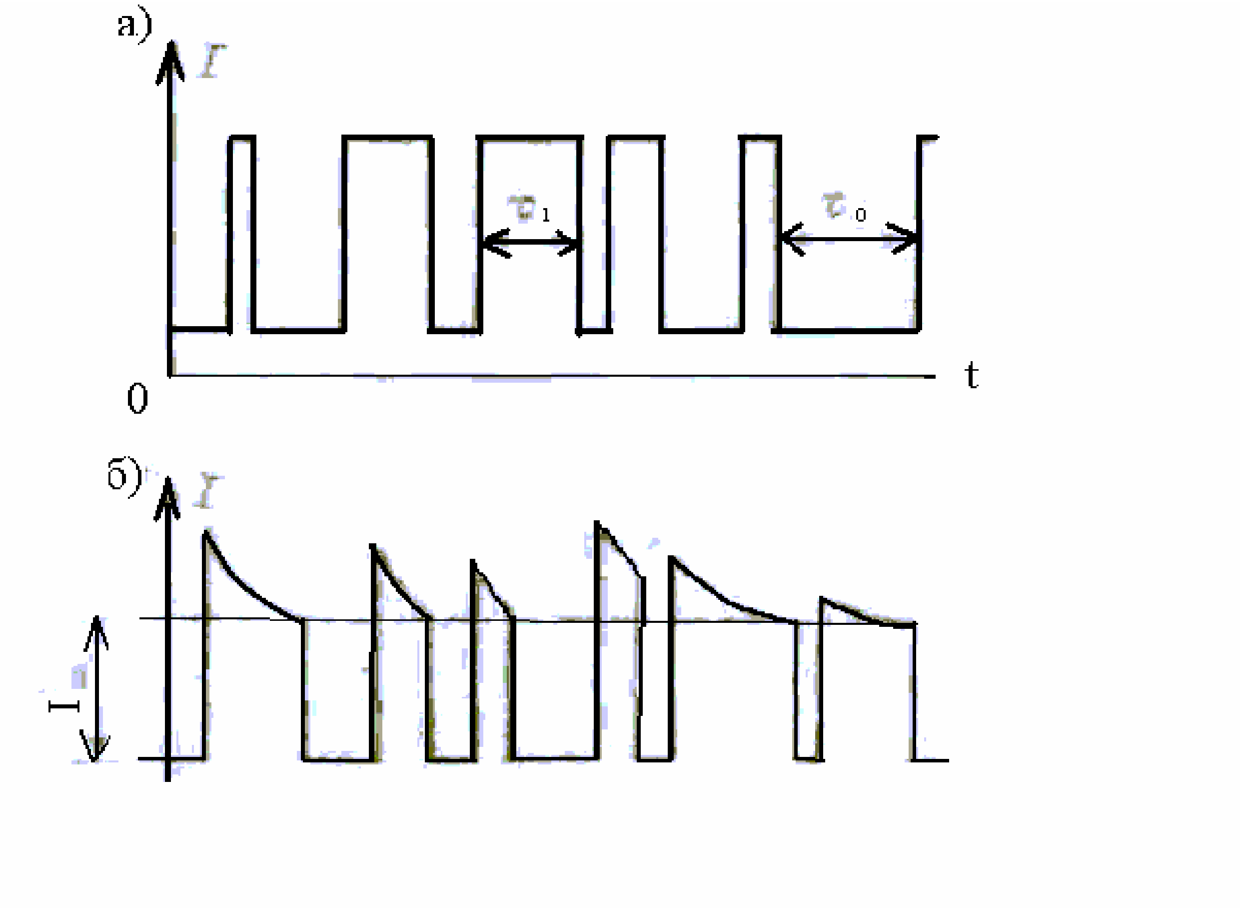
Birinshi ma'rtebe mikroplazmali proboy kremniyli ham germaniyli p-n o'tkellerde baqlang'an ha'm olar 1.3.1. – su'wrette ko'rsetilgenindey formada ko'rsetilgen. Biraq keyin ala ol tek g'ana kremniyli p-n o'tkellerde tiyisli bolmay, al u'lken maydang'a iye real p-n o'tkellerdegi lavinali proboylarg'a iye arsenid galliy materiallarinan tayarlanilg'an Shottki diodlarg'a da tiyisli qubilis ekenligi R.V.Konakova ha'm Yu.A.Txoriklerdin' ilimiy miynetlerinde aniqlanilg'an [9].

Eger keri bag'ittag'i volt-amperlik xarakteristikanin' p-n o'tkeldegi kernewi a'ste-akirin joqarilatilsa, onda mikroplazmaliq proboy kernewine jetken waqitta

p-n o'tkel arqali impuls tu'rinde qosimsha toq o'te baslaydi 1.3.1-su'wrette ko'rsetilgenindey. Egerde shinjirdag'i qarsiliq kishi bolg'an jag'dayinda, to'men voltli p-n o'tkeller arqali impuls formada toq o'tse, onda tuwri mu'yeshlikke uqsas formada impulsli toq o'tedi, al joqari voltli p-n o'tkel arqali toq o'tse, onda impulsli toq quramali su'yir mu'yeshli tu'rge iye formada boladi 1.3.1-su'wrettin' a ha'm b larinda ko'rsetilgenindey.

Impuls amplitudasi 10-200 mkA ten' bolg'an mug'dari aralig'inda bolip impulstin' dawamlilig'i impulslar araliq pawza tosinnan ha'm eksponenstial

bo'listiriwge boysinadi to'mendegi 1.3.1.-su'wrette ko'rsetilgenindey formada. Sonin' menen birge komnata temperaturasinda baqlang'an impulstin' ortasha jiyiligi 10^4-10^8 Gst aralig'inda o'zgeredi.



1.3.1. - su'wrette mikroplazma formalarinin' kernewdin' o'zgerisi menen impulsli formadag'i toqtin' o'zgerisi ko'rsetilgen.

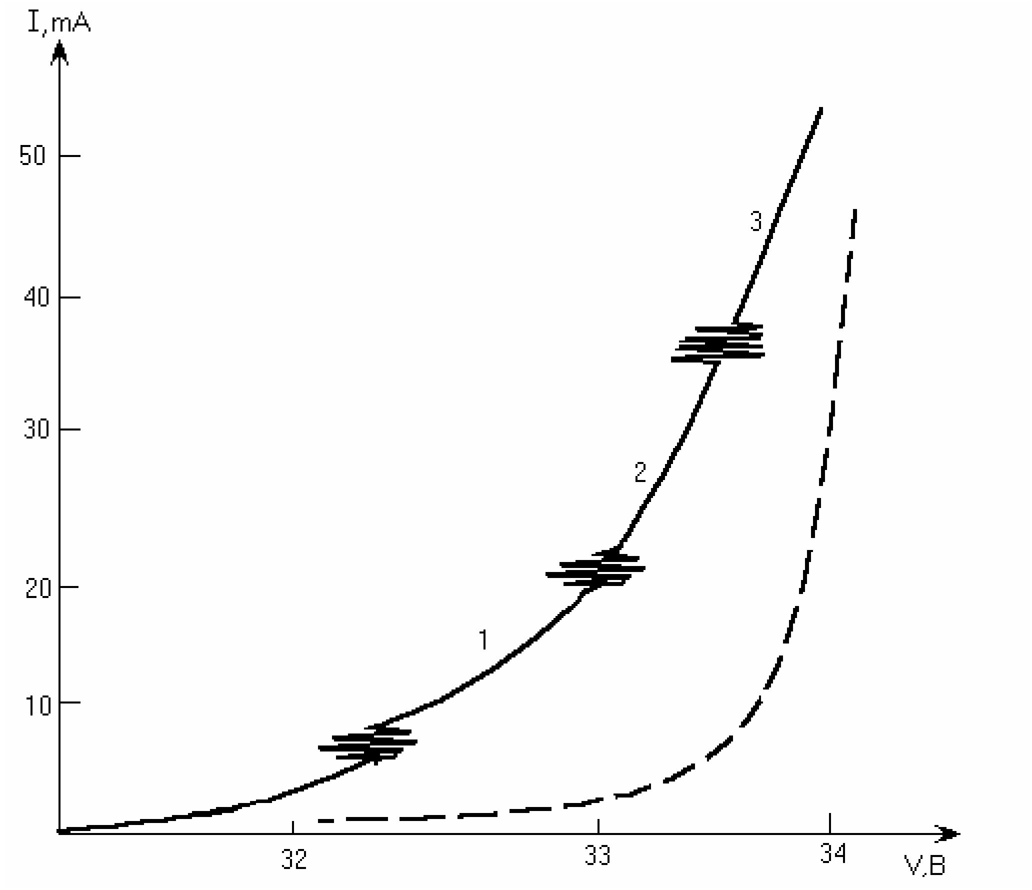
bul jerde τ_0 – impulsli toqtin' pawzasi, al τ_1 – impulsli toqtin' jasaw uaqti. Mikroplazma joqarida ko'rsetilgenindey formada ha'm ekinshi bo'limde ko'rsetilgen metodika ja'rdeminde aniqlaniladi. Bul tuwrali a'debiyatlarda keltirilgen ha'm teoriyaliq ha'm eksperimentalliq materiallar jeterli da'rejede ko'p. Sog'an qaramastan mikroplazmani xarakterlewshi parametrler mikroplazmanin' proboy kernewi, diametri, qarsilig'i, temperaturasi ha'm tag'i basqada parametrleri haqqinda usi ku'nge shekem toliq mag'liwmat jeterli da'rejede emes. Ko'pshilik a'debiyatlarda Q.A. Ismaylov, M.B.Tag'aevlardin' jumislarinda bazibir birtekli

emes proboyliq oblasttag'i elektrofizikaliq parametrlerdin' ayriqsha o'zgeshelikleri (birteksizligi) ha'm olardin' payda boliw sebepleri haqqinda bir qansha mag'liwmatlar bar, atap aytqanda strukturaliq defektler menen baylanisli bolg'an toq ag'islarinin' bir tekli emes bo'listiriliwi h.t.b. Mikroplazma bar jerdin' volt-amperlik xarakteristikasinin' ko'rinisi to'mendegishe formada boladi.

Berilgen kernewdin' artiwi menen impuls amplitudasi az ma'niske artadi, al biraq impuls dawamlig'i ju'da' ku'shli artadi ha'm impulslar araliq pauza qisqaradi.

p-n o'tkel arqali turaqli toq o'tiwge shekem impuls dawamlig'i τ_1 artadi, al pauza dawamlig'i τ_2 ge kemiydi 1.3.1. - su'wrette ko'rsetilgenindey.

Proboy baslang'an waqittag'i mikroplazma arqali bunday xarakterge iye toqtin' o'tiwi, p-n o'tiwdin' VAX da u'zilisler ha'm iymekliklerdin' payda boliwina alip keledi 1.3.2. - su'wrette ko'rsetilgenindey. Eger baslang'ish uchastkanin' VAX qaraytug'in bolsaq, onda mikroplazma payda boliwinda uziliw boladi, al kernewdin' artiwi menen mikroplazma arqali toq stabilizastiyalang'annan son' siziqli uchastka baqlanadi.



1.3.2. - su’wrette kremniyli diolarda volt-amperlik xarakteristikanin’ ko’rinisi ko’rsetilgen. a) mikroplazmanin’ bar ekenligin an’latadi; b) ideal jag’day ushin

Impulsli toq jaqtilaniwshi tochkalarda payda boliwi menen de bolip o’tedi, egerde p-n o’tkeldegi kiritilgen qosimtalardin’ ma’nisi u’lken bolmasa (kremniy ushin 1mkm) mikroplazma arqali toqtin’ turaqsiz oblasti 0,1-2 V boladi. p-n o’tkelde proboy kernewinin’ o’siwi menen ol da artadi. Birinshi mikroplazma arqali toq turaqlasqannan son’, kernewdin’ ja’ne de artiwinda jan’a mikroplazma payda boladi ha’m joqaridag’i stikl qaytalanadi.

Egerde usi aytilg’anlardi osstillograf ja’rdeminde ko’rsek jan’adan payda bolg’an impulsli toq, VAX da jan’a izlom ha’m jan’a jaqtilaniwshi tochkalardin’ payda bolg’anlig’in 1.3.2.-su’wrette ko’rsetilgen formada ko’riwimizge boladi.

Eksperimental izertlewler soni ko’rsetti kremniyli ha’m galliy arsenid materiallarinan tayarlanilg’an p-n o’tkellerde lavinali xarakterge iye toqtin’ artiwi menen jaqtilaniwshi tochkalar sani toqqa proporstional artatug’inlig’in. A’dette

mikroplazmani tiykarinan to'rt parametr menen xarakterlewge boladi. Birinshi proboy kernewi, ekinshiden differenstial qarsiliq qurawshilari - R_S, u'shinshiden mikroplazmanin' bir birlik uaqit ishinde qosiliw itimallig'i - P_{01} ha'm bir birlik uaqit ishinde mikroplazmanin' ajiratiliw itimallig'i - P_{10}.

Mikroplazmalar qosilg'an jag'daydag'i volt-amperlik xarakteristikasi siziqli formada to'mendegishe aniqlanadi ha'm ol 1.3.2.–su'wrette ko'rsetilgenindey formada ko'riniste boladi:

$$I = \frac{u - u_м}{R_S}$$

Bul parametrlerdi tabiwdin' a'hmiyetli tamani sonnan ibarat mikroplazma qosilg'an ha'm ajiratilg'an jag'daydag'i ortasha waqitti tabiw usili menen mikroplazma arqali o'tip atirg'an toqtin' turaqsizlig'in xarakterlewge boladi.

Mikroplazmali impulslar jiyiligin aniqlaw arqali impulstin' ortasha ma'nisin ha'm toqtin' amplitudaliq ma'nisin o'lshewge boladi.

$$P_{01} = \frac{\nu I_0}{I_0 - \langle I \rangle} \qquad \text{ha'm} \qquad P_{10} = \frac{\nu I_0}{\langle I \rangle}$$

Mikroplazmalar bir tekli oblastqa salistirg'anda kishi proboy kernewine iye bolip yag'niy lavinali proboy sha'rti kishi kernewlerde aniqlanadi. Bul qubilis elektr maydani kernewinin' lokalli artiwi na'tiyjesinde yamasa ionizastiya koeffistientinin' lokalli artiwi na'tiyjesinde boliwi mu'mkin ha'm ol elektron ha'm dirkalar ushin to'mendegishe formada aniqlaniladi:

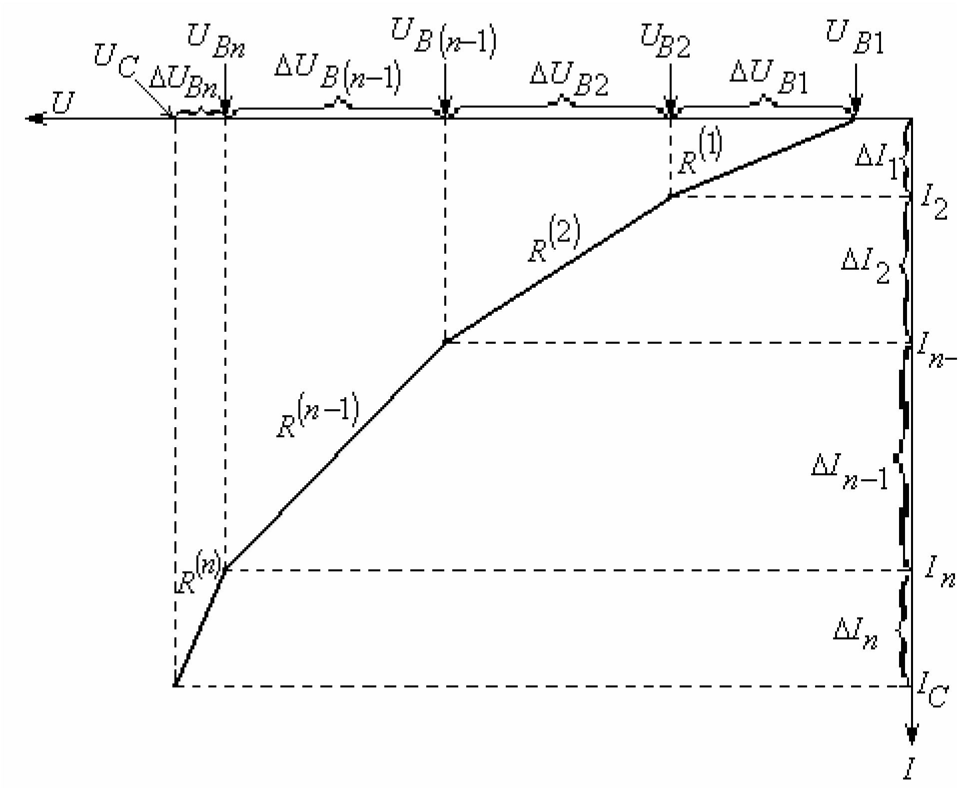
$$1 - 1/M_n = \int \alpha_n \exp[-\int(\alpha_n - \alpha_p)dx]dx \quad (1.3.1.)$$

$$1 - 1/M_p = \int \alpha_p \exp[\int(\alpha_n - \alpha_p)dx]dx \quad (1.3.2.)$$

Bul jerde M_n ha'm M_p - lar sa'ykes elektron ha'm dirkalar ushin ko'beyiw koeffistientleri. Dislokastiyanin' bar boliwi menen baylanisli bolg'an proboy kernewinin' kishireyiwi yarim o'tkizgishli a'sbaplardin' sapasinin' to'menlewine alip keliwshi bir qansha mexanizmler bar. Birinshiden dislokastiya bar jerde

(do’gereginde) kristalliq reshetkalardin’ qisiliwi ha’m soziliwi bayqaladi, na’tiyjede degradastiyaliq qubilislarg’a alip keledi. Sonin’ menen birge basimnin’ artiwi menen de qadag’an etilgen zonada o’zgerisler boliwi mu’mkin. Misali kremniyde dislokastiyag’a jaqin qisiliw oblastinda qadag’an etilgen zona ken’ligi 0,2-0,4 eV qa shekem kemiwi mu’mkin. Germaniy ha’m arsenid galliy materiallarinda qadag’an etilgen zona ken’ligi kemeyiwi reshetkanin’ soziliwi menen baylanisli boladi. Ekinshiden kristallardi o’siriw uaqtindag’i payda bolg’an dislokastiya, qosimsha kiritilgen qosimtalardin’ (primeslerdin’) otiriw orayi bolip tabiladi. Demek olar oray xizmetin atqarip basqada kiritilgen qosimtalardi o’z do’geregine jiynap qadag’an etiw zonasina jaqin teren’ energetik qa’ddilerdi payda etip na’tiyjede elektrofizikaliq parametrlerdin’ o’zgeriwinde u’lken rol atqaradi.

A’dette mikroplazma p-n o’tkeldi dislokastiyasi kesip o’tiw orinlarinda payda boladi. Barliq dislokastiyalar mikroplazma payda boliwin keltirip shig’armaydi ha’m kerisinshe, mikroplazma ju’da’ jiyi, kishi mu’yeshli shegara a’tirapinda mikroplazma bo’listiriliwi izertlengen orinlarda payda boladi. Egerde dislokastiya mikroplazma payda boliwinin’ birden-bir sebepshisi bolsa, onda mikroplazma kishi mu’yeshli shegara a’tirapinda birdey proboy kernewine iye boliwi kerek ha’m ja’nede qiziqli jeri sonnan ibarat, onin’ kishi mu’yeshli shegara a’tirapindag’i bo’listiriliwi ten’ o’lshewli boliwi kerek degen pikirlerde bar.



1.3.3. – su’wrette kremniyli p-n o’tkelli a’sbaplarda volt-amperlik xarakteristikanin’ mikroplazma qosilg’an waqittag’i ko’rinisi.

Biraqta kishi mu’yeshli shegara a’tirapinda jaylasqan mikroplazmanin’ proboy kernewi ha’r qiyli ekenligi aniqlanadi. Bul aytilg’anlar kishi voltli diodlar ushin orinli. Usig’an uksas qubilislar joqari voltli diodlarda da baqlang’an.

1.3.4.-su’wrette ko’rsetilgenindey p-n o’tkeldin’ proboy kernewi toqtin’ kritikaliq ma’nisine jetkende to’mendegishe aniqlanadi.

$$Uc(To)=Ubn+(Ic \sum_{i=1}^{n-1}\sum_{k=1}^{i}\frac{\Delta Ubi}{Rk})\frac{1}{\sum_{j=1}^{n}\frac{1}{Rj}} \quad (1.3.3.)$$

Ko’pshilik faktorlar p-n o’tkeldin’ keri bag’ittag’i volt-amperlik xarakteristikalarinin’ to’menlewinin’ basli sebepshisi dislokastiyanin’ bar boliwi sebebinen ekinshi fazanin’ qosiliwi ekenligin ko’rsetedi. Ekinshi fazanin’ bo’liniwi derlik barliq yarim o’tkizgishli materiallarda ushirasadi. Birinshi ma’rte ekinshi fazanin’ bo’liniwi Shokli proboyin tu’sindiriwde qollanilg’an. Ol ken’isliktegi zaryadlang’an bo’leksheler kremniyli p-n o’tkellerine kiritilgen sferik formadag’i

SiO_2 dielektrik bo'leksheni qaradi. Bo'lekshe o'lshemi proboydag'i ken'isliktegi zaryadlang'an bo'leksheler ken'ligine salistirg'anda kishi dep qaraldi, sonliqtan bo'lekshe do'geregindegi maydandi bir tekli dep esaplanadi. Bul jag'dayda ekinshi fazanin' qosiliwi do'gereginde maydannin' bo'listiriliwi, ortaliqtin' ha'm bo'lekshenin' dielektrik o'tkizgishligi qatnasi menen aniqlanadi. Egerde ortaliqtin' dielektrik o'tkizgishligi ekinshi fazadag'i bo'lekshenin' dielektrik o'tkizgizgishliginen bir neshe joqari bolsa, onda maydannin' bo'listiriliwi de joqari boladi. Bo'lekshe ekvatori do'geregindegi maydan kernewligi bir tekli oblastti maydan kernewliginen shama menen 1,5 ese artiq.

Soni da atap o'tiw kerek, Shokli modeli tek g'ana o'tkizgishligi nolge ten' bolatug'in dielektrik bo'leksheler ushin orinli boladi. Ekinshi fazanin' qosiliwi a'tirapindag'i maydannin' bo'listiriliwi, olardin' geometriyaliq formasinada baylanisli.

Uzaq dawam etken joqari temperaturali qayta islewlerde kremniyde stilindr formasinda SiO_2 bo'lekshelerinin' payda bolatug'inlig'i baklanadi. Usi kremniyden tayarlang'an p-n o'tkelinde mikroplazma payda bolg'anin bildiriwshi jaqtilandiriwshi (svetyaщiy) tochkalar baklanadi. Proboy oblastinin' joqari temperaturali qayta islewden son' volt-amperlik xarakteristikasinin' o'zgerisi baqlang'an. Xarakteristikanin' o'zgerisi bo'lekshe razmeri ha'm saninin' o'zgerisi menen tu'sindiriledi.

A'debiyatlarda ko'rsetilgenindey salistirmali qarsiliqtin' bir teksizligi lavinali proboy kernewine ta'sir etedi. Egerde onin' geometriyaliq razmeri proboy kernewinde ken'isliktegi zaryadlang'an bo'leksheler ken'liginen u'lken bolsa, onda keri jag'dayinda maydan kernewligi ha'm ken'isliktegi zaryadlang'an bo'leksheler ken'ligi bir teklisizligi effektiv tu'rde jiyilisip mikroplazmaliq proboylardin' payda boliwina alip keledi. Sonin' ushin yarim o'tkizgishli materiallardag'i bolatug'in salistirmali qarsiliq mikroplazmali proboy sebepshisi bolmaydi, al tek p-n o'tkelli a'sbaplarda tek g'ana mikroplazmalardin' parametrlerinin' o'zgeriwine sebepshi boliwi mu'mkin.

Kremniyde kishi razmerdegi diffuziyaliq p-n o’tkellerdi tayarlawda do’n’gelek tu’rindegi jaqtilaniwshi oblastlar tabilg’an ha’m bul jaqtilaniwshi oblastlar mikroplazmalardin’ payda boliwinin’ belgileri bolip tabiladi.

1.3.3. - su’wrette ko’rsetilgenindey lavinno-proletli diodlarda proboy bir tekli emes xarakterge iye boladi. M.B.Tag’aevtin’ ilimiy jumislarinda ko’rsetilgeninde kremniyden splavnoy texnologiyada tayarlanilg’an stabilitronlarda mikroplazmalardin’ sani 5 ten 15 ke shekem o’zgerip ha’m ol mikroplazmalardin’ diametrleri 0,5 mkm den 8 mkm aralig’inda boladi. Mine usinday jag’dayda mikroplazma bar jerde temperatura u’lken bolip, mikroplazma joq jerge salistirg’anda yag’niy birtekli toq bo’listirilip atirg’an jerge salistirg’anda ko’birek qizadi. Na’tiyjede yarimo’tkizgishli a’sbap sapasin jog’altip erterek isten shig’adi yag’niy diod yamasa diodli struktura degradastiyalanadi. Usi aytilg’anlardi esapqa ala otirip galliy arsenid ha’m kremniyden tayarlang’an stabilitronlardin’ ha’m p-n o’tkelli diodlardin’ sonday aq Shottki diodlarinin’ volt-amperlik xarakteristikasin o’lshew arqali bazibir elektrofizikaliq parametrlerdin’ o’zgerisi haqqinda mag’liwmatqa iye bolamiz. Eksperiment jumisin ju’rgiziw uaqtinda ha’m aling’an na’tiyjelerdi analizlew uaqtinda eki tu’rli xarakterge iye diodtin’ xarakteristikasi qarastirilg’an: Birinshi gruppa diodta keri bag’ittag’i volt amperlik xarakteristikada toqtin’ ma’nisi 10^{-7}A, ekinshi gruppa diodlarda mikroplazmalar sani birinshi gruppa diodlarg’a salistirg’anda ko’p, sa’ykes keri bag’ittag’i toqtin’ ma’nisi eki-u’sh da’reje ko’p, birinshi diodqa salistirg’anda. Endi usi eki gruppa diodtin’ volt-amperlik xarakteristikasinin’ ayriqsha o’zgesheliklerin analizleyik. V^0_{m1} ha’m V^0_{m2} - ler sa’ykes birinshi gruppa diodlarda proboy kernewinin’ eksperimentte aling’an ma’nisleri, V^0_{B1} ha’m V^0_{B2} - ler ekinshi gruppa diodlar ushin proboy kernewinin’ eksperimentte aling’an na’tiyjeleri komnata temperaturasinda.

Eger joqaridag’i diodlar ushin kernewdin’ temperaturaliq koeffistientinin’ $\beta = 7 \cdot 10^{-4} K^{-1}$ ekenin esapqa alsaq, onda eki tu’rli xarakterge iye diodlar ushin kernewdin’ eksperimentte aling’an ma’nislerin to’mendegishe formada jazamiz.

$$\Delta\varphi_{B1} = \varphi_{B1} - \varphi^0_{B} \approx \beta\varphi^0_{B1}\left(T - T_K\right) = 1{,}8\,B \qquad (1.3.4.)$$

$$\Delta\varphi_{B2} = \varphi_{B2} - \varphi^0_{B1} < \beta\varphi^0_{B2}\left(T - T_K\right) = 1{,}6\,B \qquad (1.3.5.)$$

$$\Delta\varphi_{м1} = \varphi_{м1} - \varphi^0_{м1} < \beta\varphi^0_{B1}\left(T - T_K\right) = 1{,}5\,B \qquad (1.3.6.)$$

$$\Delta\varphi_{м2} = \varphi_{м2} - \varphi^0_{м2} < \beta\varphi^0_{B2}\left(T - T_K\right) = 1{,}2\,B \qquad (1.3.7.)$$

(1.3.4.-1.3.7.) ten'sizliklerden paydalana otirip eki gruppa diodlar ushin to'mendegige iye bolamiz.

$$\Delta\varphi_{B1} > \Delta\varphi_{B2} \qquad (1.3.8.)$$

$$\Delta\varphi_{m1} < \Delta\varphi_{B1} \qquad (1.3.9.)$$

$$\Delta\varphi_{m2} < \Delta\varphi_{B2} \qquad (1.3.10.)$$

$$\Delta\varphi_{m2} < \Delta\varphi_{m1} \qquad (1.3.11.)$$

(1.3.8.) – (1.3.11.) ten'sizlikler soni an'latadi, eger temperaturanin' artiwi menen n-oblasttag'i ionizirovat etilgen donorlardin' konstentrastiyasi artsa, onda ol o'z gezeginde ko'lemlik zaryadlardin' qalin'lig'inin' kishireyiwine alip keledi, teren' qa'ddige iye energetikaliq urovenlerdin' bar boliwi esabinan. Solay etip (1.3.4.) ten'sizlik birinshi gruppa diodlarda ekinshi gruppa diodlarg'a salistirg'anda teren' qa'ddige iye energetikaliq urovenlerdin' ha'm olardin' konstentrastiyalarinin' kishi ekenin an'latatug'inlig'in ko'riwge boladi. Al (1.3.6.) ha'm (1.3.7.) ten'sizliklerdin' ma'nisi sonnan ibarat ekinshi gruppa diodlarda teren' energetikaliq qa'ddige iye urovenlerdin' bar ekenin. Teren' energetikaliq qa'ddige iye urovenlerdin' boliwi bul strukturaliq defektler menen baylanisli boliwida mu'mkin. Rossiyali ilimpaz Tuchkevichtin' ko'rsetkenindey termikaliq kernew diodti tayarlaw waqtinda konstrukstiyasi menen baylanisli bolip diod jumis islegen waqitlari primesler menen baylanisli bolg'an qosimsha urovenlerdin' elektrlik aktivlesiw itimallig'in arttiradi. Bug'an qosimsha stabilitronlar a'dette splavnoy-eritiw texnologiyasi menen tayarlanadi. Diod jumis islegen uaqitta

mikroplazma bar jerde kanallardin' temperaturasi komnata temperaturasinan shama menen 300^0 K ge joqari boladi ha'm toq tig'izlig'i bir neshe ma'rte u'lken boladi. Mine usi uaqitlari teren' qa'ddige iye urovenlerden o'tiwshi toqlar u'lken temperaturada generirovat etiledi. Solay etip a'debiyatlardin' ko'rsetiwinshe ha'r uaqit temperatura menen baylanisli bolg'an jilliliq turaqsizlig'i diodtin' isten shig'iwina alip keledi. Haqiyqatindada teren' energetikaliq qa'ddige iye urovenlerdegi mikroplazma kanallarinin' temperaturasinin' artiwi ionizastiyalang'an donorlardin' konstentrastiyasinin' ko'beyiwine alip keletug'inlig'i A.I.Shkrebtiydin' iilimiy jumislarinda ko'rsetilgen. Bunday prostessler o'z gezeginde tiyqarg'i emes toq tasiwshilardin' esabinan keri bag'ittag'i toqtin' mug'darinin' artip ketiwine alip keledi, toqtin' bunday u'lkeyiwi temperaturanin' u'lkeyiwine alip kelip yag'niy ko'lemlik zaryadlardin' ken'isligi kishireyedi, na'tiyjede proboy kernewi kishireyedi yag'niy lavinno-proletniy diodtin' degradastiyalaniwina alip keledi.

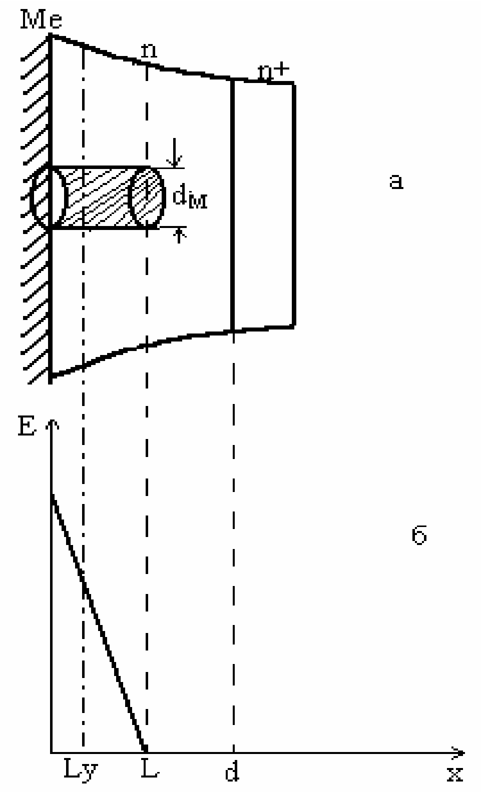
Solay etip yarimo'tkizgishli a'sbaplarda degradastiyaliq prostesslerge alip keliwdin' tiykarg'i sebeplerinin' biri strukturaliq defektler menen baylanisli bolg'an mikroplazma kanallarindag'i temperaturalardin' artip ketiwi sebepshi boladi. Mikroplazma bar jerde qiziw uaqti τ_m bir eki da'reje kishi uliwma diod boyinsha qiziw uaqtinan. To'mendegi 1.3.4. - su'wrette n-n^+ - strukturag'a iye Shottki diodinin' keri meza strukturasinin' ko'rinisi mikroplazma bar uaqitqa sa'ykes ko'rsetilgen (a) ha'm x-bag'itinda elektr maydaninin' bo'listiriliwi ko'rsetilgen. Bul jerde M-metall, n- d qalin'liqtag'i diodtin' bazaliq oblasti, d_m – stilindr formag'a iye mikroplazmanin' diametri, L_m – mikroplazmanin' uzinlig'i, L_u -ko'beyiw qatlaminin' qalin'lig'i. 1.3.4. - su'wrette Shottki diodlarinin' keri meza strukturasinin' ko'rinisi (a); E(x) bag'itinda elektr maydaninin' bo'listiriliwi (b) ko'rsetilgenindey formada boladi.

Demek 1.3.4.- su'wrette ko'rsetilgenindey mikroplzmanin' p-n o'tkelge qalay jaylasiwinada baylanisli elektro fizikaliq parametrlerdin' ha'r qiyli ma'niste o'zgeretug'inlig'in ko'rsettik. Misali 1.3.4. - su'wrette ko'rsetilgenindey toqtin'

o’tiw bag’itina keselep (poperechniy) jaylasqanba yamasa uzinina (prodolno) jaylasqanba bulda u’lken a’hmiyetke iye bolip esaplanadi eken. Demek 1.3.4.-su’wrette ko’rsetilgendey stilindr formadag’i kesesine jaylaskan dislokastiya menen baylanisli bolg’an mikroplazma yarim o’tkizgishli a’sbaplardin’ degradastiyalaniwina keri ta’sirin tiygizedi, uzinina jaylasqan mikroplazmalarg’a salistirg’anda.

Solay etip bul paragrafta kremniyden tayarlang’an lavinno-proletniy diodlarda mikroplazmanin’ payda boliw sebeplerin ha’m onin’ isten shig’iwinin’ sebeblerin a’debiyatlarda ko’rsetilgen ko’pshilik ilimpazlar ta’repinen aling’an na’tiyjelerden paydalana otirip analiz jasadiq.

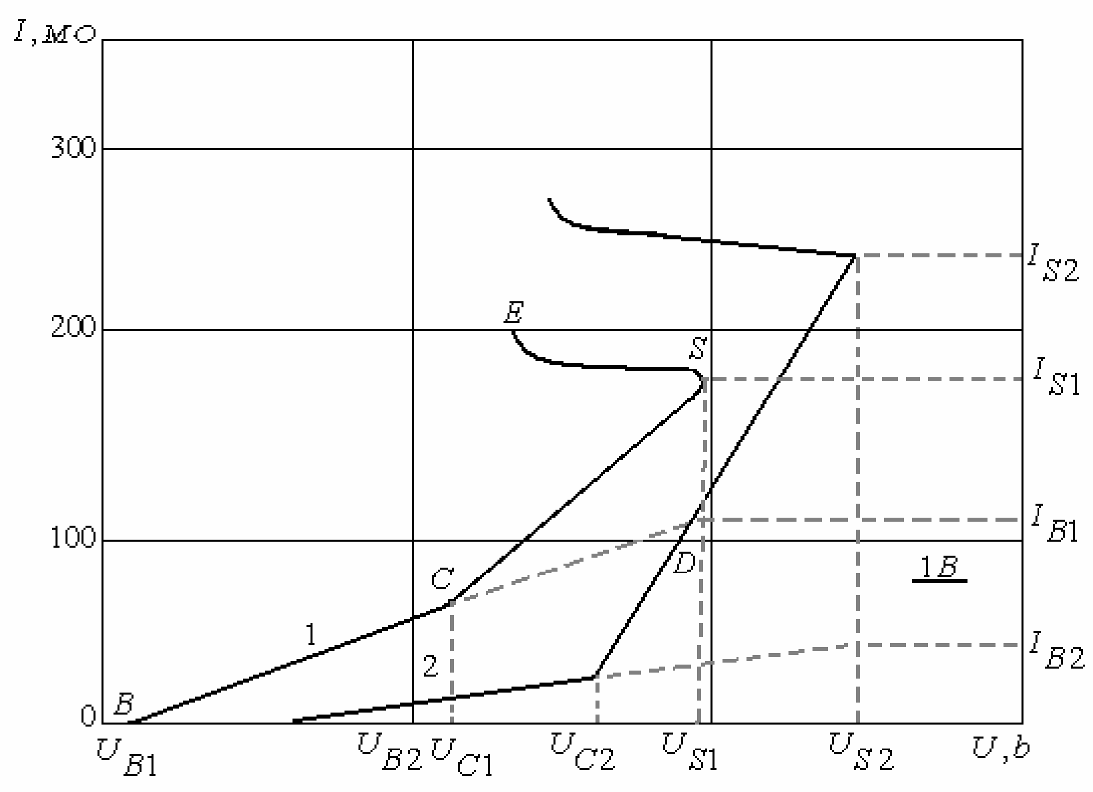
Mikroplazmanin’ payda boliw sebepleri ko’p uakittan berli izertlenilip kiyatirg’anina qaramastan, atap aytqanda 1966 jillarda Puritistin’ ha’m 1970 jillardan baslap N.S.Boltovest, V.N.Ivanov, A.E.Belyaev, R.V.Konakova, Ya.Ya.Kudrik, V.V. Milenin ha’m tag’ida basqalardin’ jumislarinda tolig’iraq eksperimentalliq jaqtan da’lilengen ha’m aling’an na’tiyjeler [8] jumista analizlengenligine qaramastan usi ku’nge shekem asa joqari jiyilikte islewshi Shottki diodlarinin’ sapasinin’ to’menlewine birden bir sebepshi bolg’an mikroplazmalardin’ bar ekenligi ha’m olardi sipatlawshi elektrofizikaliq parametrler haqqinda elege shekem toliq izertlenilmegenligine baylanisli magistrlik diplom jumisimizda usi ma’selelerdi analizlewdi tiykarg’i ma’sele etip qoydiq ha’m oni saplastiriw jollarin eksperimentalliq jaqtan izertlewdi maqset etip qoydiq.



1.3.4.- su’wrette keri meza strukturag’a iye lavinno-proletniy diodinin’ ko’rinisi (a) ha’m elektr maydaninin’ bo’listiriliwleri (b) ko’rsetilgen.

Galliy arsenid ha’m kremniyli yarimo’tkizgishli p-n o’tkellerde real jag’daydan toqtin’ ta’biyatinin’ awitqiwi ko’pshilik jag’dayda strukturadag’i defekt yamasa dislokastiyalardin’ bar boliwi sebebinen mikroplazmalardin’ bar boliwi menen tu’sindiriledi. Atap aytqanda M.B.Tag’aev, A.P.Derevenko, Yu.M.Filatovlar o’z ilimiy maqalalarinda real jag’daydan toqtin’ ta’biyatinin’ awitqiwin joqari da aytilg’an kemshilikler menen baylanisli bolg’an yarim o’tkizgishli materialdin’ qadag’an etiw zonasinda payda bolg’an ha’r qiyli teren’ energetikaliq qa’ddige iye bolg’an urovenler menen, dislokastiyalar menen ha’m tag’i basqada strukturadag’i defektler menen baylanistiriladi. Al bunday strukturadag’i defektler o’z gezeginde toq tig’izlig’inin’ ja’mlesken oblastlarin payda etip volt-amperlik xarakteristikanin’ real jag’daydan buziliwina (awitqiwina) alip keledi. A’dette bunday defektlerdin’ bar boliwi termogenerastion ta’biyatqa iye ziyat toqlardi payda etedi ha’m

na'tiyjede keri bag'ittag'i volt-amperlik xarakteristikanin' jumsaq «myagkomu» boliwina alip kelip na'tiyjede yarim o'tkizgishli a'sbaptin' degradastiyalaniwina alip keledi. Misali to'mendegi 1.3.5.-su'wrette mikroplazmalardin' bar boliwi esabinan volt-amperlik xarakteristikada ha'r tu'rli izlomlar payda bolip mikroplazmaliq proboy kernewinin' erte baslanatug'inlig'i ko'rsetilgen. Bul jerde sonni esletip o'tiw kerek mikroplazmali proboy qansha erte baslansa, yarimo'tkizgishli a'sbap sonshelli erte isten shig'adi, yag'niy yarimo'tkizgishli a'sbap degradastiyalanadi degendi an'latadi.



1.3.5.- su'wrette ku'sh siziqlarinin' bir tekli elektr maydanda bo'listiriliwi o'tkizgishlik bo'lekshenin' bar bolg'an jag'dayi ushin ko'rsetilgen

1.3.5.-su’wrette ko’rsetilgenindey o’tkizgishlikke qatnasatug’in bo’lekshe do’gereginde elektr maydaninin’ kernewligi artadi. Eger o’tkizgishlikke qatnasip atirg’an bo’lekshe, o’tkizgishlik ortaliqtan u’lken bolsa, onda o’tkizgishlik bo’lekshe do’geregindegi elektr maydaninin’ kernewligi u’sh ese artiq boladi, bir tekli ortaliqqa salistirg’anda $3E_0$. Sonin’ menen birge ekinshi fazanin’ qosiliwi o’tkizgishlik bo’lekshenin’ geometriyaliq razmerinede baylanisli. Bu’gingi ku’ni joqarida aytilg’an sebeplerge baylanisli proboy uchastkasi aldinda anomal toqlardin’ payda boliwin eksperimental izertlew ha’m oni analizlep u’yreniw u’lken a’hmiyetke iye ma’selelerdin’ biri bolip tabiladi, a’sirese u’lken quwatliliqqa iye lavinno-proletniy rejimde islewshi Shottki diodlari ushin u’lken a’hmiyetke iye, sebebi u’lken quwatliliqta isleytug’in, yarimo’tkizgishli a’sbaptin’ sapasi strukturadag’i defektlerdin’ sani menen baylanisli bolg’an mikroplazmalar menen ha’m anomal toqtin’ mug’dari menen aniqlanadi. Bazibir diod yamasa diodli strukturalarda anomal toqlardin’ u’lkenligi sonshelli, proboy uchastkada mikroplazmalar bayqalmay qalatug’in jag’daylarda ushirasadi.

Solay etip A.I.Shkrebtiydin’ ilimiy miynetlerinde ko’rsetilgenindey joqarida keltirilgen an’latpalar arqali mikroplazmalardin’ payda boliw sebeplerin ha’m mikroplazma kanallarindag’i temperaturasin taba aliw mu’mkinshiligine iye bolamiz. Al bul o’z gezeginde yarimo’tkizgishli a’sbaplardag’i degradastiyaliq prostesslerdi analizlewde ha’m olardi saplastiriwda u’lken a’hmiyetke iye ma’selelerdin’ biri bolip tabiladi. Sonliqtanda bul mashqalani magistrlik diplom jumisinin’ tiykarg’i maselesi etip qoydiq.

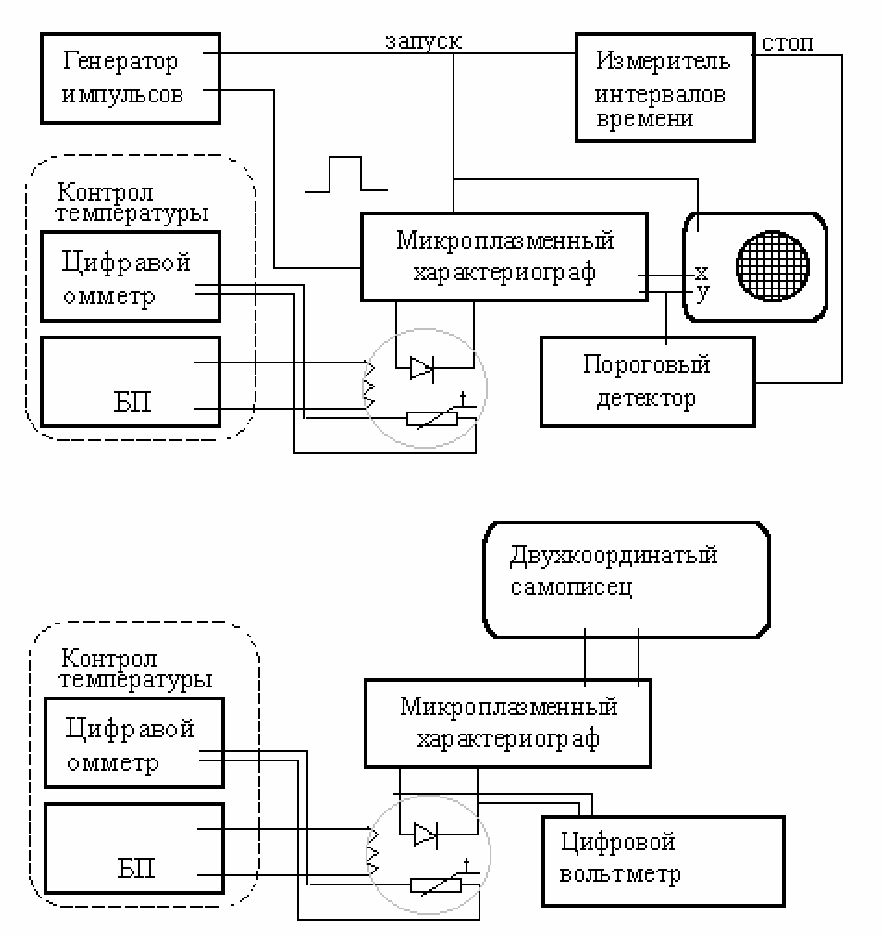
II - Bap. Eksperimentalliq metodika bo'limi

§2.1. Mikroplazmali xarakteriograf ja'rdeminde modulyatsiyaliq differentsiallaw metodikasinin' ayriqsha o'zgesheligi

Xarakteriograf "Model 2" o'tiw toklarin izertlew Modeli "Farada", ostsillograflar, sanli siyimliliq ko'pirleri, spektr analizatori, elektromagnitler, fotoelektrlik effektlerde fotolyuminestsentsiyani izertlew ushin JSVU-23, Specord 75 UR optikaliq a'sbaplar, rentgen strukturaliq izertlewler ushin qurilmalar, optikaliq a'sbaplar. Izertlew obektleri bular yarim o'tkizgishli kremniyli ha'm arsenid galliyli materiallar ha'm SVSH a'sbaplar, olar tiykarinda stabilitronlar.

Modulyatsiyaliq differentsiallaw metodikasinin' ja'rdeminde defektlerdin' jaylasiw ta'rtibin aniqlay otirip, defektlerdin' geometriyaliq razmerleri tuwralida mag'liwmatqa iye bola alamiz.

2.1.1.- su'wrette mikroplazmali xarakteriogrftin' blok sxemasi ko'rsetilgen. a- ostsillogrftin' ja'rdeminde volt-amperlik xarakteristikani o'lshew usili, b- A'dette



A’dette samopisets ja’rdeminde volt-amperlik xarakteristikani ha’m onin’ proboy ushastkasi aldinda differentsiallaw usili ko’rsetilgen.

a’debiyatlardin’ ko’rsetiwi boyinsha, atap aytqanda Grexov, Serejkin ha’m T.Ya.Puritislerdin’ ko’rsetkenindey [2, 16, 17] defektler menen baylanisli bolg’an toq tig’izlilig’inin’ ja’mlesken jerin mikroplazma dep ataladi.

Bul metodika tiykarinan joqaridag’i aytilg’andag’iday mikroplazmalardi aniqlawg’a esaplanilg’an. Sonliqtanda bul metodikani “mikroplazmali xarakteriograf” dep ataymiz.

Mikroplazmali xarakteriograf 2.1.1. - su’wrette ko’rsetilgenindey yarim o’tkizgishli strukturalardi ha’m sol struktura tiykarinda islengen a’sbaplardin’ (silovoy diodlardin’, quwatli tranzistorlardin’, tiristorlardin’) sapasin boljawda en’ bir u’lken a’qmiyetke iye metodikalardin’ biri bolip tabiladi. Ja’nede soni aytip o’tiw kerek, optikaliq metodikadan ayriqsha o’zgesheligi sonnan ibarat bul metodika ja’rdeminde strukturani yamasa sol struktura tiykarinda islengen yarim o’tkizgishli a’sbapti buzbay boljaw (diognostirovat etiw) mu’mkinshiligine iyemiz .

Mikroplazmali xarakteriograf metodi yarim o’tkizgishli strukturalardag’i lokalliq mikroplazmaliq proboy qubilisina tiykarlanip mikroplazmalardi xarakterlewde ju’da’ a’xmiyetli parametr bolg’an qosiliw (vklyushenie) kernewi, mikroplazmalardin’ jaylasiw ta’rtibi, qarsiliqlari ha’m geometriyaliq razmerleri tuwrali mag’liwmat aliwg’a mu’mkinshilik beredi. Mikroplazmali xarakteriograf ja’rdeminde joqarida ati atalg’an yarim o’tkizgishli diod ha’m diodli strukturalardin’ elektrofizikaliq parametrlerin aniqlawda ha’m ha’r qiyli sirtqi ta’sirler ja’rdeminde jaqlawda kerek bolg’an tiykarg’i metodikalardin’ biri bolip tabiladi.

A’debiyatlardin’ ko’rsetiwinshe atap aytqanda Rossiyali ilimpazlar Grexov, Serejkin, Ukrainali ilimpazlar R.V.Konakova, Yu.A.Txorik, Pribaltika ilimpazlari T.Ya.Puritislerdin’ ko’rsetiuleri boyinsha yarim o’tkizgishli diod ha’m diodli strukturalarda mikroplazmalar ha’r qiyli defektler menen baylanisli bolip p-n o’tkel

boyinsha mikroplazmanin’ jaylasiw ta’rtibi defektlerdin’ tiyipine baylanisli boladi.Joqarida ati ko’rsetilgen ilimpazlar p-n o’tkeldin’ ko’lemindegi mikroplazmalardin’ payda boliwin dislokatsiyalar menen baylanistirg’an bolsa, al son’g’i jillari atap aytqanda N.L.Dmitruk ha’m M.B.Tag’aevlardin’ jumislarinda ko’rsetilgenindey mikroplazmalardin’ payda boliwi metall menen yarim o’tkizgish shegarasindag’i betlik birteksizlikler (relefler) menende baylanisli boladi. Atap aytqanda M.Tag’aevtin’ doktorliq jumisinda metall menen yarim o’tkizgish shegarasindag’i betlik birteksizlikler yag’niy mikroreleflerdin’ biyikligi h>20nm bolg’an jag’dayda mikroplazmaliq kernewge ku’shlirek ta’sir etedi yag’niy proboyliq kernew kishireyip proboy erte baslanadi. Al bul parametr tuwrali mag’liwmatqa iye boliw ha’m olardi saplastiriw yarim o’tkizgishler elektronikasinda u’lken a’hmiyetke iye ma’selelerdin’ biri bolip tabiladi.

Ja’nede qosimsha soni aytip o’tiw kerek mikroplazmanin’ jaylasiw ta’rtibin, geometriyaliq razmerlerin aniqlay otirip mikroplazma kanallarindag’i temperatura haqqindada toliq mag’liwmatqa iye boliwg’a boladi. A.I.Shkrebtiydin’ jumisinda ko’rsetigenindey mikroplazma bar jerdegi temperatura sanaatta tayarlang’an tayar lavinno-proletniy diodlarda shama menen 600K ge shekem jetedi. Demek mikroplazmani toshkaliq jilliliq orayi dep esaplawg’a boladi. Solay etip mikroplazma bar jerde toq tig’izlig’i, basqa bir tekli jerlerge salistirg’anda anag’urlim u’lken boladi:

$$T(r,\ t) = As\ \frac{T_{мм}}{t} \exp\left(- \frac{r2}{4\left(X/C_p \right) t} \right) \qquad (2.1.1.)$$

Bul jerde T-temperaturada, r-aktiv mikroplazmag’a shekemgi araliq X/C_p temperatura o’tkizgishlik, A_s-jilliliq o’tkizgishlik aktivligin xarakterlewshi koeffitsent, mikroplazmanin’ qosiliw waqtida. Endi mikroplazmalardin’ sani ko’p bolg’an jag’day ushin

$$T(r,\ t) = As \sum_{i=1}^{j=1} \frac{Tmni}{(t - t_i)} \exp\left(- \frac{(r - r_i)^2}{4\left(X/C_p\right)(t - t_i)} \right) \qquad (2.1.2.)$$

r_i-i- mikroplazmanin’ jaylasiw aralig’i,

t_i-i-ti mikroplazmanin’ qosiliw waqti.

Bunnan soni ko’riwge boladi j-shi mikroplazmanin’ qosiliw momentinde T – temperatura mikroplazmanin’ sanina ha’m qosiliw waqtinin’ uzaq dawam etiw uaqtina baylanisli yag’niy U < Uj. Joqarida aytilg’aninday mikroplazmanin’ qosiliw kernewi, T-g’a keri baylanista boladi. Solay etip ha’r bir mikroplazmanin’ qosiliw waqtininin’ impulstin’ soziliw uaqtina, kernewge baylanislilig’in bile otirip, en’ bir a’hmiyetli protsess bolg’an mikroplazmalardin’ jaylasiw aralig’in aniqlay alamiz. Bul yarim o’tkizgishli a’sbaplardi diagnostirovat etiwde juda’ ken’nen en jayg’an metodikalar qatarina jatadi. Al bizlerdin’ pitiriw qa’niygelik jumisimizda teoriyaliq ha’m eksperimental tu’rde mikroplazma kanallarindag’i temperaturani ha’m mikroplazmanin’ qosiliw kernewi siyaqli parmetrlerdi aniqlaw menen sheklenemiz. Yag’niy bul metodika ja’rdeminde voltamperlik xarakteristikani diferentsiallay otirip, ha’r qiyli temperaturalarda $\Delta u(T)$ - baylanislig’i aniqlanadi. Usi maqsette bul metodika “mikroplazmenniy xarakteriograf” Ukraina milliy Akademiyasina qarasli yarim o’tkizgishler fizikasi institutinda proffessor Yu.A.Txorik ha’m proffessor R.V.Konakovalardin’ basshilig’inda razrabotka etilgen. $\Delta U(T)$ baylanisliliqti aniqlaw ushin volt-amperlik xarakteristikasi ha’r qiyli temperaturalarda differentsiyalanadi [18]. Mikroplazmanin’ qosiliw kernewin aniqlaw, diodqa tu’sip atirg’an impulsli

nagruzkadan son’ mikroplazmanin’ kanallarindag’i temperaturani aniqlawg’a mu’mkinshilik beredi. Proboy kernewinin’ temperaturag’a baylanislilig’in aniqlaw ushin rezistivniy qizdirg’ish (nagrevatel) qollaniladi. Usi maqsette izertlenip atirg’an p-n o’tkelge impulsli kernew qosiladi, mikroplazma kernewinen ziyat boliwi ushin mikroplazmanin’ ha’r qiyli jasaw uaqti menen – τ ha’m bunnan son’ mikroplazmanin’ qosiliw kernewin o’lshew qaytalanadi.

Bunday metodika menen mikroplazmalardin’ jaylasiw ta’rtibin aniqlaw ha’m olardin’ bazibir geometriyaliq razmerleri tuwrali mag’liwmat aliwdin’ metodikasinin’ blok – sxemasinin’ ha’r qiyli variantin joqarida 2.1.1.- su’wrette ko’rsetilgen.

§2.2. Voltamperlik xarakteristikani modulyatsiyaliq differentsiallaw metodikasi

Bul metodika ja’rdeminde yarim o’tkizgishli diod ha’m diodli strukturalardin’ voltamperlik xarakteristikasinin’ tuwri ha’m keri bag’ittag’i iymekliklerin o’lshey otirip kerek ushastkamizdin’ birinshi yamasa ekinshi tuwindisin o’lshey alamiz. Endi bizler bul metodika ja’rdeminde yarim o’tkizgishli diod ha’m diodli strukturalardin’ elektrofizikaliq xarakteristikalarin differentsiallaw metodinin’ jan’a ilimiy mag’liwmatlar aliwg’a mu’mkinshilik beretug’inlig’i haqqinda qisqasha toqtap o’temiz. Yarim o’tkizgishlerdin’ zonaliq strukturasinin’ ayriqshalig’i volt-amperlik xarakteristikadag’i siziqli emesliklerdin’ payda boliwina alip keliwi mu’mkin. Bul volt-amperlik xarakteristikadag’i siziqli emesliklerdi izertlew yarim o’tkizgishlerdin’ zonaliq strukturasi haqqinda ha’m zaryad tasiwshilardin’ qizdiriw protsessleri haqqinda bahali mag’liwmatlar aliwg’a mu’mkinshilik beredi. Biraq salistirmali joqari maydanlarda volt-amperlik xarakteristikasinin’ ko’rsetilgen siziqli emes oblastlari ha’lsiz ayrilip turadi. Bunday izertlewler ushin tiykarinan ha’r qiyli modulyatsiyaliq metodlar, misali: ekinshi ha’m u’shinshi garmonikaliq o’lshew, garmonikanin’ awisiwi sinxronli detektorlaw qollaniladi. Bul metodlardin’ birinin’ mazmuninda volt-amperlik xarakteristikani differentsiyallawg’a alip keledi.

Ko’pshilik jag’daylarda yarim o’tkizgishlerdi izertlewde eksponentsial ushastkalar parametrlerin aniqlaw za’ru’r. Buni eksponentsialliq ko’rsetkishke proportsionalь bolg’an xarakteristikalari boyinsha modulyatsiyaliq differentsiallaw metodi arqali an’sat a’melge asiriladi:

$$(I^{I}/I)(U):(I^{II}/I)(U) \quad \text{ha'm} \quad I(U) \qquad (2.2.1.)$$

xarakteristikalar uliwmaliq tu’rge iye, onin’ yarimo’tkizgishler fizikasinda ushirasatug’in bo’legi:

$$\begin{aligned} I &= U^{n}\exp(U/U^{I})^{jm} \\ \gamma(U) &= U(U)d/du = (I^{II}/I^{I} - I^{I})n^{+1} \end{aligned} \qquad (2.2.2.)$$

funktsiyasin izertlew ja’rdeminde analizlewi mu’mkin.

Bul izertlewler modulyatsiyaliq metodlar ja'rdeminde a'melge asiriladi. Tunnellik spektroskopiya ha'm elektroshag'ilisiw usag'an yarim o'tkizgishler fizikasinin' eksperimental bo'limlerinin' bir-biri menen baylanisi sonda, olardag'i izertlenip atirg'an xarakteristikalar siziqli emesliklerden tisqari u'lken emes lokalli iyiliwlerge ha'm xarakteristikalarinda u'zilislerge iye boladi.

Bul lokalliq siziqli emeslikler ha'r qiyli fizikaliq ta'biyatqa iye bolip ol materialdin' defektliligi menen baylanisli boladi. Tunnellik spektraskopiya metodi menen ko'rsetilgenindey olar qadag'an etilgen qa'ddilerdin' bar boliwi menen baylanisqan boladi. Joqarida aytip o'tilgen jag'daylarda xarakteristikalarda bir teksizliklerdin' boliwi xarakteristikalardin' joqari tuwindilarin aniqlawg'a alip kelinetug'in modulyatsiyaliq metodlar menen aniqlanadi.

Modulyatsiyaliq differentsiyallaw metodi qadag'an etilgen zonadag'i qa'ddilerdi, xarakterlik jog'altiwlar ha'm sol boyinsha betlik qatlamdag'i qosimtalar boliwin ha'm yarim o'tkizgishtin' zonaliq strukturasinin' ayriqshaliqlarin aniqlawg'a mu'mkinshilik beredi.

Yarim o'tkizgishli lavino-proletli diodlardin' kishi lokal oblastlarinda siziqli emesliklerinin' aniqlawdin' sezgir metodi modulyatsiyaliq differentsiyallaw bolip tabiladi. Volt-amperlik xarakteristikada bunday siziqli emesliklerdin' boliwi toqtin' o'tiw mexanizminin' almasiwi, lokal toq o'tiwshi ushastkalardin' qosiliwi yag'niy mikroplazmaliq toq o'tiwshinin' bir tekliliginin' buziliwin bildiriw mu'mkin. Sonliqtan volt-amperlik xarakteristikasinin' siziqli emesliklerin esapqa aliw degradatsiyaliq protsesslerdin' mu'mkinshilikleri ha'm tezligi haqqinda juwmaq shig'ariwg'a, yag'niy volt-amperlik xarakteristikanin' proboy ushastkasinda isleytug'in SVSH-dep atalatug'in joqarg'i jiylikte isleytug'in diodlardin' isenimliligin aniqlawg'a mu'mkinshilik beredi.

Metodika ideyasi sonnan ibarat diod arqali In2 togi garmonikasin og'an awisiw kernewi U_0 menen birge izbe-iz modulyatsiyalaniwshi jarg'i tis ta'rizli signal U_2 s8n25 berilgende aniqlawdan ibarat. Eger $U_2 << U_0$ bolsa, onda $I_2(U_0)$ birinshi garmonika amplitudasi $dI/dU(U_0)$ birinishi tuwindig'a proportsionalь boladi.

Bul tuwindilar modulyatsiyasiz o’lshengen tuwri volt-amperlik xarakteristikadan aliniwida mu’mkin edi. Biraq lavinli proboydi u’yreniwde bul ha’r bir mikroplazmanin’ qosiliwinda joqarilap baratug’in shawqimnin’ ha’dden tis joqari qa’ddide boliwinan qiyin ma’sele bolip tabiladi ha’m tek g’ana modulyatsiyaliq metod, bul ma’seleni sheshiwge mu’mkinshilik beredi.

Mikroplazmaliq proboydi modulyatsiyaliq izertlew ushin qollanilatug’in elektronliq shama 2.1.2. - su’wrette ko’rsetilgen. Ol izbe-iz tutastirilg’an, barlig’i birge signal deregi blogin payda etetug’in razvertka generatori U(5)-1: turaqli awisiw deregi U_0-2: ses jiyliginin’ modulyatsiyasinin’ generatori-3 ten turadi. U_0-ma’nisi UB praboy kernewine jaqin ornatiliwi mu’mkin ha’m son’inan mikroplazmalardin’ differentsial iymekliklerinin’ ha’m volt-amperlik xarakteristikasin aliw ushin ΔU_0 kishi intervalda tolqinli tu’rde jayiladi. Bunda ΔU eki koordinatani “Samopisets” -8 din’ x koordinatasin basqariw ushin qollaniladi. Tok u’lgisi jer menen signal dereginin’ shig’iwi arasinda o’lshenetug’in u’lgidegi kernewde minimal qa’telikke iye bolatug’in 4-operatsiya ku’sheytkish penen o’lshenedi.

Operatsion ku’sheytkishtin’ shig’iw signali statikaliq Volt-amperlik xarakteristikani du’ziw ushin qollaniw mu’mkin yamasa sinxronli detektor-5 ja’rdeminde qayta islewden son’ differentsial g’a’rezliginin’ grafiklerin du’ziw ushin qollaniladi.

Birinshi tuwindi o’lshenetug’in jag’daylarda awisiw kernewi jiyilikti ko’beytkishte 6-tu’rlendirilgen eki eselengen jiyiliktegi $U_2$2 signal menen modulyatsiyalanadi. $U_2$2 eki jag’dayda da sinal sipatinda qollaniladi.razvertka kernewi x samopisetssiz “kernew” iye boladi. Kernewdin’ kishi modulyatsiyanin’ ma’nisi mikroplazmaliq shawqimnin’ statistikaliq qa’siyetlerine ku’shli ta’sir etedi. Volt-amperlik xarakteristikanin’ ekinshi tuwindisinin’ grafigi ha’r bir jan’a mikroplazmanin’ qosiliwina sa’ykes keletug’in ushqir “pik” lerden turadi. Bul “pik” lerdin’ sanin u’lgidegi mikroplazmalardin’ toliq jiynag’i aniqlaydi. $I_2$2 shig’iw signali diodtin’ mikroplazma menen baylanispag’an differentsial qarsilig’i

boliw sebebinen qosimsha jarg'i tis ta'rizli signallardan turadi. Bul signal U_0 funktsiyasi bolip, ol mikroplazmanin' "pik" lerden an'sat ajiratilatug'in boliwi mu'mkin. Solay etip modulyatsiyaliq metod mikroplazmalardin' qosiliwina proboyliq kernewdi ha'm mikroplazmalardin' sanin aniqlawg'a ha'm ha'r bir bo'lek mikroplazmag'a sa'ykes keletug'in tok basqishlari ha'm o'tkizgishligin aniqlawg'a mu'mkinshilik beredi. Mikroplazmaliq proboy diodtin' biraz defektli toshkalarinda bolatug'inlig'i sebepli mikroplazmalar sani ha'm proboydin' differentsial iymekliliklerinin' uliwma formasi diodtin' jumis oblastinin' defektliligin xarakterleydi.

Bul tiykarda biraz qizg'an mikroplazmalardag'i bo'lip shig'ariwg'a, olardin' temperaturasin ha'm degradatsiya intensivligin bahalaw mu'mkin bolg'anliqtan bul mag'liwmatlardi diod isenimliligin ha'm sapasin boljaw ushin qollaniwg'a boladi. Ja'nede bunday volt-amperlik xarakteristkalardi aniqlaw metodi diodta proboydin' ha'r qiyli kernewine iye oblastlardi aniqlawg'a mu'mkinshilik beredi al bul (U v) proboy kernewge diodtin' jumis islew quwatlig'i tikkeley baylanisli.

Ha'r bir bunday oblastqa $d^2I/dU^2(U_0)$ g'a'rezliligindegi maksimumlar ha'm $dI/du(u_0)$ g'a'rezligindegi basqishlar sa'ykes keledi. Usi xarakteristikalari boyinsha proboy bir teksizligin, jumis retinde en' qizg'an oblasttin' temperaturasin bahalawg'a boladi ha'm potentsial isenimli emes bolg'an diodlardi ayiriwg'a mu'mkinshilik beredi.

Lavinalik proboydi rawajlandiriw jag'dayinda (sonin' ishinde termokompensatsiyalang'an stabilitronlardi) diodliq strukturalarg'a qoyilg'an kernewdin', toktin' ekinshi tuwindisina g'a'rezliligi izertlendi. Ekinshi tuwindinin' iymekliginin' formasi onin' konstruktorliq-texnologiyaliq tayarlaniwina ha'm ayirim u'lgilerdegi lokalliq defektlerine baylanisli boladi.

Eksperimentalliq g'a'rezlikti eki ma'rte differentsiallaw yamasa bir ma'rte differentsiallaw, a'dette arnawli apparattin' ja'rdemi menen alip bariladi, bul metod juqa strukturalardin' an'latiliwi dep ataladi.

Yarimo’tkizgishler elektronlarda bul metod birinshi ma’rte 1960-jili tunellik diodliq volt-amperlik xarakteristikanin’ analizlewde qollanildi ha’m waqittin’ o’tiwi menen dI/dU differentsialliq o’tkizgishlikti ha’m toktin’ d^2I/dU^2 ekinshi tuwindisi qoyilg’an kernew boyinsha tunellik spektroskopiyanin’ tiykarg’i klassikaliq instrumenti boldi.

Son’inda lovinlik proboy jag’dayinda r-n o’tiwinde toktin’ o’tiwin u’yreniw ushin bul metod qollanildi. Jumista r-n jag’dayindag’i mikrostrukturalardin’ a’hmiyetliliginin’ keri awisiwdag’i d^2 I/dU^2 diodlardin’ volt-amperlik xarakteristika-nin’ ekinshi tuwindisinin’ Modeli ko’rsetilgen. Bul Modeldin’ tiykarin r-n o’tiwindegi paralel jalg’ang’an birdey mikrostrukturalar quraydi. Olardin’ ha’r qaysisi kernewine (U pr) iye bolip ha’m qosiliwli o’siw haldag’i Omliq xarakteristikag’a iye. Ha’r bir mikroo’tiwdi qosiw birinshi tuwindili sekirmeli ha’m volt-amperlik xarakteristikanin’ qisqa ekinshi tuwindisinin’ qisqa elementar shin’lari menen alip bariladi.

d^2 I/dU^2 iymekligin r-n- o’tiwi ushin mikroo’tiwlerdin’ elementar shin’larinin’ qosindisinan turadi ha’m keri kernewdin’ o’siwinin’ proboy oblasttag’i ken’eyiw efekti menen aniqlanadi. Bul jumista kremniy diodi volt-amperlik xarakteristikanin’ ekinshi tuwindili iymekligi analizlengen. Saqlawshi kolьtsosinin’ diametri 50 mkm bolip r-n o’tiwi izzertlendi ha’m ha’r qiyli proboy kernewine iye plastinalar n-oblastin legirleniw da’rejesinin’ o’zgeriwi menen alindi. Ko’rsetilgen diopazondi proboy tunellik ha’m lavinlik zaryad tasiwshilardin’ ko’beyiwi sebebinen tiykarlang’an.

Toktin’ ekinshi tuwindisinin’ qoyilg’an kernewge g’a’rezliligi ustanovkada u’yrenildi ha’m onin’ islewinin’ tiykarg’i siziqli o’siwshi awisiwshi diodliq strukturag’a berilgen tok signlainin’ ekinshi ma’rte diferentsiyalaniwin tiykarlang’an. Diod arqali o’tetug’in tok 10-20 mA o’lshemi menen shegaralanadi. d^2I/dU^2 iymekligi lavinlik proboyda ha’r qiyli formag’a iye bolip yamasa bir neshe maksimumlarg’a ten’. 15-20 mA toklardag’i son’g’i maksimum strukturadag’i

izbe-iz qarsiliqlardin’ ta’sirin tiykarlang’an. Maksimumlar ishinde d^2I/dU^2 g’a’rezliligi u’lken toklar oblastinda tek bir maksimumg’a iye boladi. Izertlew protsessinde volt-amperlik xarakteristika ekinshi tuwindisinin’ iymeyiw formulasinin’ keri toktin’ seziliwindegi diodlardin’ to’men jiyiliklili qa’ddi menen baylanislilig’i an’latiladi. Mikrosxema K5 38 UNZ ja’rdeminde Ish-shumovoy kernew aniqladi ha’m ol 0,1-10 Gts aralig’in quradi. Izzertleniwshi u’lgiler termostatqa qoyilip ha’m stabillik tok generatori arqali tok ag’ip turdi. Shumovoy kernewdin’ shamasi (Ish) real jag’daylardi u’lken ken’ oblastlarda boladi, ayirim u’lgilerdi bir neshe on mikrovolt quraydi.

Ideyalliq xarakteristikada d^2I/dU^2 diodlardin’ shumi ku’sheytkishtin’ o’zinin’ menshikli shumlarinan ajiralmaydi. Al u’lgilerdin’ ekinshi tuwindig’a iye anomalliq iymekliginde ha’r qiyli ma’niske iye 0 den 100-mkV qa shekem shamalarg’a ten’ boladi. Pribordin’ shuminin’ qa’ddin ag’ip o’tip atirg’an toktan g’a’rezligin izzertlewde tiykarg’i diqqat 10 mA bolg’andag’i kernewdin’ shuminin’ ma’nisi o’zinin’ menshikli shuminin’ ma’nisine ten’ bolg’an u’lgilerge awdarildi.

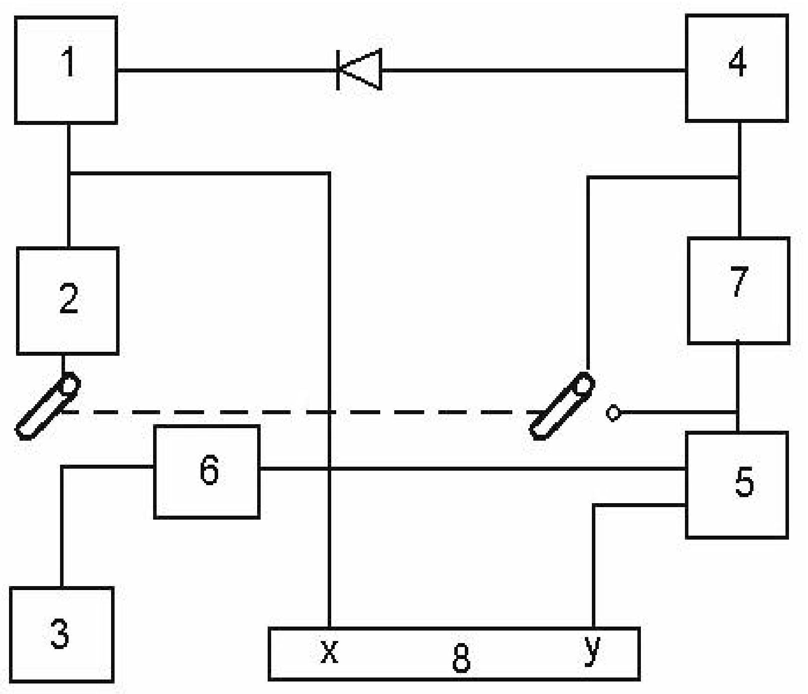
I-keri toktin’ barliq diapozoninda salistirmali da’rejede volt-amperlik xarkteristikanin’ shuminin’ ekinshi tuwindisinin’ iymeklik formasi kishi. Bunday na’tiyje r-n o’tiwi tunellik mexanizmge iye proboyda aling’an. Diodlardin’ shuminin’ kernewi diferentsialliq voltmetr V2-34 de kishi jiylikte o’lsheniwi. Usilarg’a tiykarlanip toktin’ kernew boyinsha ekinshi tuwindisinin’ iykemligi diodtin’ strukturalardag’i urilip shiqqan shumlarina baylanisli bolip, onin’ intensivligi keri toktin’ shamasina qaray o’zgeredi. Aling’an na’tiyjeler aling’an kernewi nominal 6,5 Voltqa ten’ bolg’an termokompensirovanliq stabilitronlar ushin qolayli boladi. Bul priborlar ushin r-n o’tiwindegi kompensatsiyalaniwshi tuwri awisiwshi d^2I/dU^2 iykemliginen formasina ta’siri qalay boladi. Eger r-n o’tiwine tiykarg’i izbe-iz qosiwg’a bolatug’in bolsa, Modellestiriw ja’rdemi menen kompensatsiyalawshi d^2I/dU^2 r-n- o’tiwshi kirgiziw ekinshi tuwindinin’

iykemligine o’zinin’ az ta’sirin tiygizedi, onin’ idialliq xarakteristikasi kolokola obrazniy formada qaladi 2.1.2. - su’wrette ko’rsetilgenindey.

d^2I/dU^2 g’a’rezliginin’ formasinin’ diodtin’ shuminin’ qa’ddi o’z-ara baylanislilig’in esaplap volt-amperlik xarakteristikanin’ ekinshi tuwindisinin’ praktikada ha’r qiylilig’inin’ sebebin aniqlawg’a boladi. Plastinalarg’a kristallarg’a bo’linbesten buring’i strukturasi ku’tilmegen na’tiyje berdi. d^2I/dU^2 plastinadag’i xarakteristikasi da’l qaytalanadi ha’m ha’r bir plastina ushin turaqli tiptegi spektri alindi.

Plastinanin’ orayliq oblastin shama menen radiusinin’ 2/3 aralig’i baqlanadi.

Pereferiyde berilgen iymeklik jin’ishke shin’lardi payda etip plastinanin’ shetine kelgende shin’lar sani ko’beygen. Shhin’lardin’ formasi ha’m o’lshemi elementar shin’larg’a sa’ykes keliwi jumista ko’rsetilgen, al bunday a’hmiyetliligi boyinsha plastinanin’ bunday maydan boyinsha bo’listiriliwi r-n o’tiwinin’ lokalliq defektlerine baylanisli boladi. d^2I/dU^2 nin’ ha’r qiyli tiptegi xarakteristikalarg’a bir proboy kernewinde qarastirildi. Eger plastinalar birdey texnologiyada tayarlang’an bolsa, olardan aling’an iymeklikleri birdey boladi. Keri kernewge toktin’ ekinshi tuwindisinin’ g’a’rezligi bul xarakteristikani lokalliq defektler menen emes, al tiykarinan plastinanin’ konstruktivlik-texnologiyaliq protsessler menen baylanistiradi.



2.1.2.-su'wret. Mikroplazmaliq proboydi modulyatsiyaliq izertlew ushin qollanilatug'in elektronliq sxema.

Volt-amperlik xarakteristikanin' ekinshi tuwindisinan aling'an iymekliklerdin' spektrleri, konstruktivlik-texnologiyani lavinlik proboy rejiminde (proboydin' kernewi 5-7V) kishi jiyilikli proborlardi tayarlaw kelesi izertlewlerdin' 3 tiykari bolip esaplanadi. Ha'zirdin' o'zinde-aq d^2I/dU^2 formasinin' kernewi g'a'rezligi derlik urilip shig'arilg'an shumnin' qatnasin seziwshi indikator xizmetin atqaradi.1. 5÷7 V proboy kernewindegi u'lgiler ushin r-n o'tiwindegi keri kernewden kishi jiyilikli shumnin' g'a'rezsizligi ha'm d^2I/dU^2 toktin' ekinshi tuwindisinin' keri kernewge g'a'rezsizligi u'yreniledi.

2. Keri bag'ittag'i kernewge volt-amperlik xarakteristikanin' ekinshi tuwindisinin' ideyalliq formasi bo'linip alindi. Kishi toqlarda o'siwshi eksnonentani quraydi, al u'lken toq diapazoninda xarakteristika kolokolo tu'rge sa'ykes keledi.

3. Proboy rejiminde islewshi r-n-o'tiwindegi d^2I/dU^2 iymekliktin' uqsaslig'i qoyildi bul qubilis defektler ha'm qosimta kiritilgen kiritpe (primesli) derektegi shum menen baylanisi boladi.

Solay etip bul metodika ja’rdeminde aktiv (raboshiy) oblasttag’i defektler tuwrali u’lken da’lliktegi ko’p (unikalniy) mag’liwmatlar aliwg’a boladi ha’m ken’ masshtabtag’i yarim o’tkizgishli a’sbaplardi – Shottki diolarin, silovoy diodlardi, quwatli tranzistorlardi, tiristorlardi ha’m lavinniy diodlardi diagnostirovat etiwde, strukturani buzbastan bul a’sbaplardin’ elektrofizikaliq parametrleri tuwrali mag’liwmat aliwda yarim o’tkizgishler elektronikasinda ken’nen qollanilatug’in metodikalar katarina jatadi ha’m yarimo’tkizgishli a’sbaplardi diognostirovat etiwde ken’nen qollaniladi.

III – BAP. EKSPERIMENTE ALING’AN NA’TIYJELER

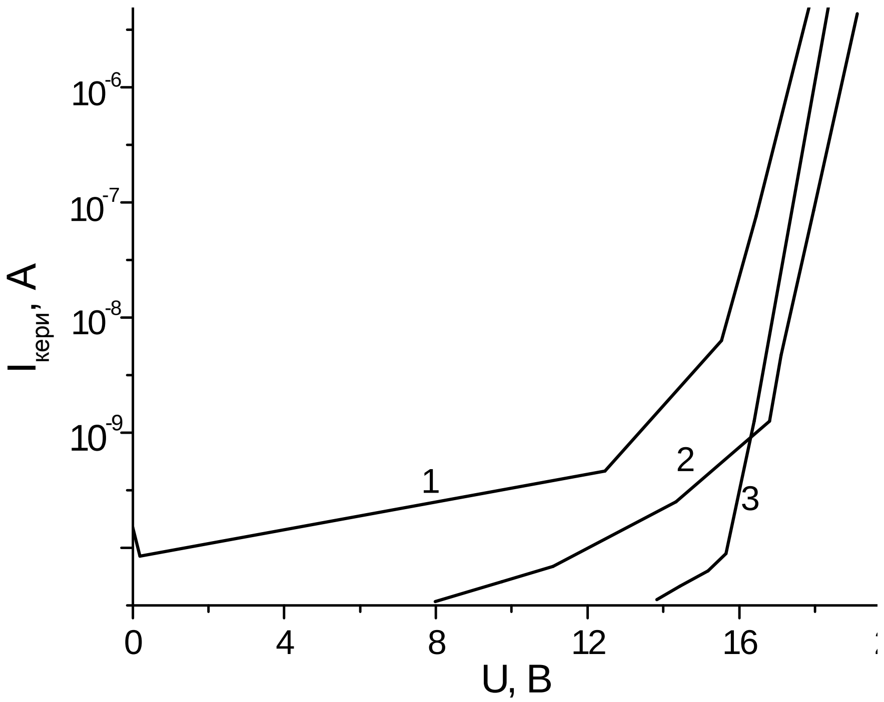
§3.1. Kremniyli LPD g’a ultrases ta’sirin qarastiriw

A’dette a’debiyatlarda ko’rsetilgenindey, strukturaliq defektlerge baylanisli bolg’an ba’rinen ko’birek labino-proletniy diodlardin’ tesiliwi birtekli bolmaydi ha’m ol bir qatar mikroplazmalardin’ (MP) qosiliwi aqibetinde bolip o’tedi. Ko’p jag’daylarda birtekli emes tesiliwdi p-n o’tiwde strukturaliq jan’alanbawdin’, birinshi gezekte dislokatsiyalardin’ boliwi menen baylanistiradi. Bul jag’dayg’a atap aytqanda labino-proletniy diodlardi uzaq dawam etken elektrotermoshinig’iwlar (elektrotrenirovka) ha’m termikaliq emes ta’sir etiw sha’rtlerinde, sonday-aq joqari energiya bo’leksheleri menen nurlandiriw barisinda izertlengen na’tiyjeler ko’rsetip turipti. Labino-proletniy diodlardi ultrasesli qayta islew na’tiyjesinde mikroplazma dereklerinin’ ayirimlari yamasa tolig’i menen jumis oblastinan uzaqlasadi, sonday-aq keri toq shamasi bir neshe ta’rtipke to’menleydi. Bizin’ qarastirip atirg’an jag’dayimizda ultrasesli qayta islew +50 temperaturada Piezokeramikaliq tu’rlendirgish ja’rdeminde 14 MGts jiyilikke o’tkerildi. Diodqa kiritilgen ultrases quwatlilig’i tu’rlendirgishke berilgen joqari jiyiliktegi kernew amplitudasinin’ o’zgeriwi menen o’zgerip bardi. Izertlew obektleri bolip $p^+ - p - n - n$ struktura tu’rindegi kremniyden tayarlang’an diametri 30 mkm bolg’an eki araliqli labino-proletniy diodi qollanildi.

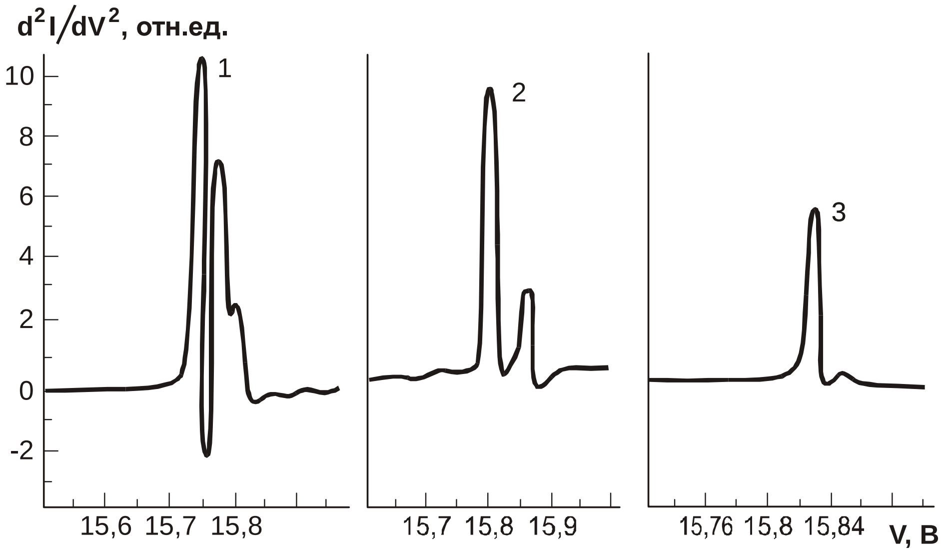
3.1.1.-su’wrette ko’rinip turipti, da’slepki volt-amperlik xarakteristikasi (VAX) proboy ushastkasi aldin differentsiallag’animizda iymekliklerge xarakterli bolg’an shin’lar tu’rinde eki ma’rteli differentsiyalawda payda boliwshi ha’r qiyli iymekliklerge (naklonlarg’a) iye u’sh oblastqa iye bolg’anlig’i ko’rinip tur (3.1.2.-su’wrette ko’rsetilgenindey). O’sip bariwshi ultrases intensivligi menen birinin’ izinen biri dawam etken eki ultrasesli qayta islewden keyin VAX dag’i buziliw ha’m olardin’ tuwindisindag’i shin’lardin’ kishireygenligin yamasa joq bolip ketkenligin ko’riwge boladi.

Baqlanip atirg’an effektti bizin’ pikirimizshe to’mendegishe tu’sindiriwge boladi. Real yarimo’tkizgishli diod, sonin’ ishinde labino-proletniy diod p-n o’tiwdi tayarlawdin’, og’an kontaktlewdin’ ha’m diodti korpusqa jiynawdin’ texnologiyaliq tsiklinde quralatug’in strukturaliq-ten’salmaqli emes sistemadan turadi yag’niy joqarida keltirilgen texnologiyaliq tsikl dawaminda bazibir kemshilikler orin aladi. A’sbapliq strukturag’a ultrasesti kiritiw waqtinda kristall pa’njerenin’ jan’alanbawi bar bolg’an orinlarinda onin’ effektivli jutiliwi bolip o’tedi ha’m ol jutiliw defekt bar jerde jaqsi orinlanadi.

Keyingi bul jag’daylar toshkaliq defektlerdi ha’m olardin’ komplekslerin, sonday-aq klaster payda boliwlar ha’m dislokatsiyalardi bildiredi. Na’tiyjede, sonin’ ishinde dislokatsiyalar menen o’z-ara ta’siri na’tiyjesinde toshkaliq defektlerdin’ ha’m olardin’ komplekslerinin’ qayta quriliw protsessleri bolip o’tiwi mu’mkin boladi.



3.1.1.-su’wret. Labino-proletniy diodlardin’ VAX-nin’ keri shaqalari: 1-da’slepki; 2- 2V, 160 kGts, +50 bolg’anda bir saat dawaminda ultrasesli qayta islewden keyin; 3- 5V, 160kGts, +50 bolg’andag’i ultrasesli qayta islewden keyin.



3.1.2.-su’wret. VAX-si 3.1.1.- su’wrette keltirilgen labino-proletniy diodlar ushin d^2I/dV^2 (V) g’a’rezlilik. Qayta islew parametrleri su’wrettegidey.

Jaqtiliq nurlandiriwshi ha’m tu’nnelli diodlarda ultrasesli qayta islewlerden keyin toktin’ tu’nnellik ha’m termogeneratsiyaliq komponentinin’ to’menlewi baqlandi. Bul VAX-nin’ tuwri ha’m keri shaqalari parametrlerin jaqsiladi yag’niy keri bag’ittag’i toqtin’ mug’dari azaydi, faktor idealnosti dep ataliwshi parametr birge jaqinladi. Biraq, soni da aytip o’tiwimiz kerek, ultrasesli qayta islewdin’ ko’shkilik tesiliw oblastinda VAX-na stabilitronlarg’a ta’siri sezilerlik da’rejede baqlanbadi (Ultrasesli qayta islewdin’ tu’nnellik ha’m termogeneratsiyaliq toqlarg’a ta’siri bolg’anda da).

Usig’an baylanisli, ultrasesli qayta islew na’tiyjesinde aling’an ko’shkili tesiliwdin’ birtekliliginin’ jaqsilaniwi p-n-o’tiw oblastinda basqada strukturaliq qayta quriwlardin’ payda boliwi yag’niy tayarlaw texnologiyasinin’ aqibetinen dep pikir ju’rgizemiz.

Bizin’ pikirimizshe, itimalliqqa jaqinirag’i, bul dislokatsiyalardin’ qaldiqli maydanlarda ha’m ultrases ta’repinen jaritilg’an serpimli belgi o’zgeriwshi kernewlilik maydanlarinda orin o’zgertiw protsessleri bolip esaplanadi. Usig’an uqsag’an ultrases ta’siri astinda kremniydin’ ko’lemli kristallarinda orin o’zgertiw

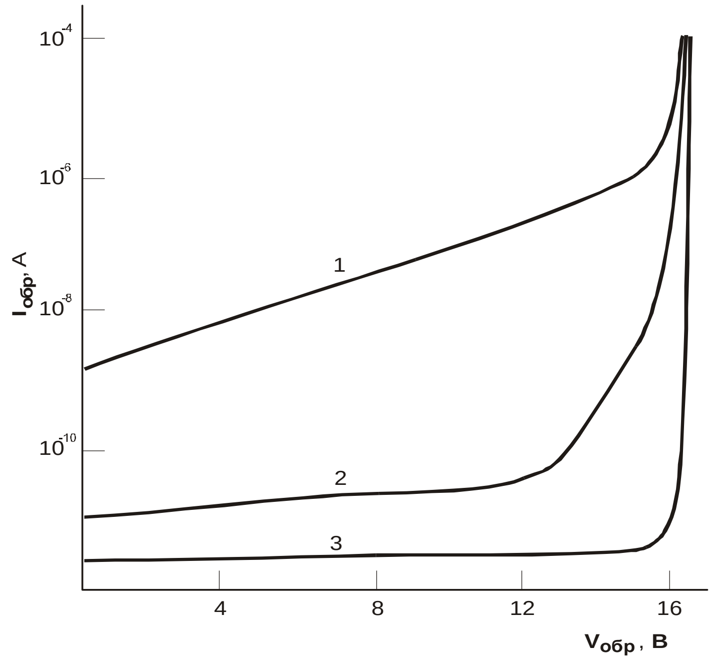
effektleri (dislokatsiyalardin’ ko’beyiwide) bizge belgili. Eger bul boljawdan kelip shig’atug’in bolsaq, onda p-n-o’tiw oblastinan MP dereklerin joq etiw dislokatsiyalardin’ mezastrukturalardin’ qaptal betine (onnan keyingi qatiriliwi yamasa annigilyatsiyasi menen) yamasa p-n-o’tiwge parallel bolg’an sa’ykes bolmag’an dawamlilig’inin’ xarakteri labino-proletniy diodlarda ultrasesli qayta islew na’tiyjesinin’ onin’ dawamlilig’inan g’a’rezliligi menen kelisimli halda boladi. Ha’tteki bir qansha labino-proletniy diodlarda jetkilikli da’rejedegi joqari intensivliktegi ultrases bolg’anda da MP bir saat dawamindag’i qayta islewlerden keyin g’ana jog’alip ketedi. Izertlenilgen labino-proletniy diodlarda ko’shkili tesiliw birtekliliginin’ jaqsilaniwi menen bir qatarda tu’nnellik ha’m termogeneratsiyaliq toklardin’ pa’seyiwide baqlandi. Dislokatsiyalardin’ orin o’zgertiwi rekombinatsiyaliq oraylar rolin atqariwshi toshkaliq defektlerdin’ p-n-o’tiwden «ag’ip ketiwi» menen a’melge asirilatug’ini bizge aniq. Ultrasesli qayta islew ta’sirinde yadroliq nurlaniwdin’ kremniyli p-i-n defektlerinin’ jumis oblastinan qosimtalardin’ podlojka ko’lemine «ketiwi» baqlanadi.

Ultrasesli qayta islewden keyin payda bolg’an labino-proletniy diodlardin’ p-n-o’tiw oblastindag’i defektlerdin’ birlikli ha’m bekkem bolatug’inin aytip o’tiw a’hmiyetli. Diodlardin’ VAX-si uzaq dawam etken (bir jilg’a shekem) saqlawlar ha’m onnan keyingi sinawdan keyinde derlik o’zgermedi. Demek bul jerde strukturadag’i sirtqi ta’sirden son’g’i o’zgerisinin’ turaqli ekenligin ko’riwge boladi.

Kremniyli labino-proletniy diodlarda MP-ni joq etiwde ultrasesli qayta islewlerdin’ ta’siri keri bag’ittag’i toqtin’ kemeyiwinin’ ha’m ko’shki araliq diodlarda ko’shkili tesiliw birtekliliginin’ ko’beyiwinin’ termikaliq bolmag’an usillarinin’ barlig’in boljawimizg’a mu’mkinshilik beredi.

§3.2. Kremniyli stabilitronlarg'a Ultrases ta'sirin qarastiriw

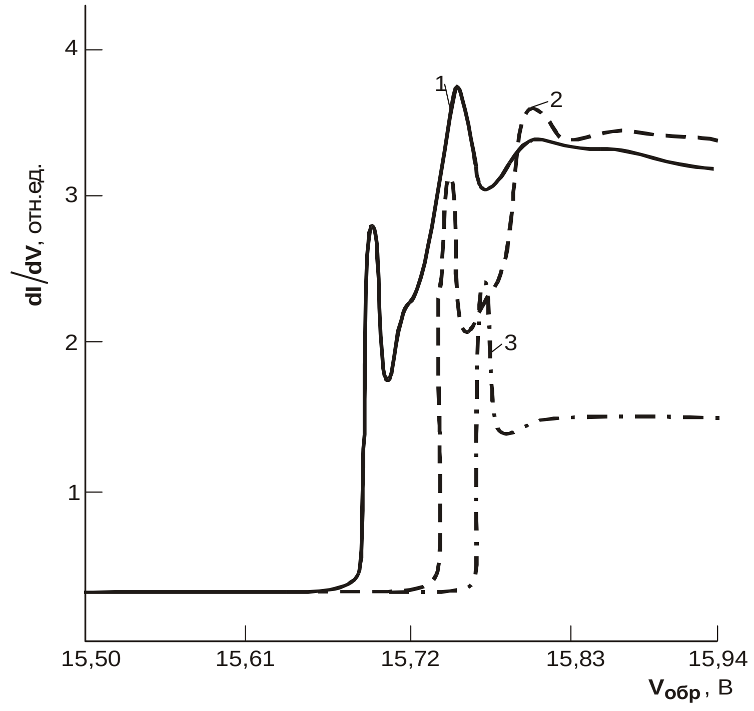
Kremniyli quymali stabilitronlar LPD dan jumis oblasti u'lkenligi menen ayirilip turadi. Usi stabilitronlarg'a ultrases ta'sirin qarastiriw u'lken a'hmietke iye. To'mendegi 3.2.1.-su'wrette stabilitronnin' ultrasesli qayta islewden aldin'g'i ha'm keyingi VAX-nin' keri shaqalari ko'rsetilgen.



3.2.1.-su'wret. Kremniyli labino-proletniy diodlardin' VAX-nin' keri

shaqalari: 1- da'slepki; 2, 3- ultrasesli qayta islewden keyin sa'ykes tu'rde 1V 160 kGts 1saat, 2V 160 kGts 1saat, 5V 160 kGts 1saat rejimlerde.

Su'wretten ko'rinip turg'aninday, izbe-iz islengen ultrasesli qayta islewler keri tokti bir qansha kemeytedi. Stabilitronlardi elektr maydaninda uslap turiwda uteshka tog'inin' bir ta'rtipke kemeyiwin esapqa almag'anda olardin' VAX-na sezilerli ta'sir etedi.



3.2.2.-su’wret. Kremniyli LPD diodlardin’d^2I/dV^2 g’a’rezliligi: 1-da’slepki;

2, 3- ultrasesli qayta islewden keyin sa’ykes tu’rde 1V 160 kGts 1saat, 2V 160 kGts 1saat, 5V 160 kGts 1saat rejimlerde.

Al 3.2.2.-su’wrette kremniyli LP diodlardin’ da’slepki ha’m ultrasestin’ ha’r

qiyli dozalarina g’a’rezliligi keltirilgen. Ta’jiriybe arqali aniqlang’aninday, kremniyli quymali stabilitronlardi tan’lang’an dozalar diapazoninda ultrasesli qayta islew voltamperlik xarakteristikasinin’ keri shaqasinda awisiq toqti bir qansha kemeytedi, biraq tesiwdin’ juqa strukturasin o’zgertpeydi. Mikroplazmalar quyilma diodlarda ta’rtip boyinsha kremniydin’ strukturaliq defektler oblastina

jaylastirilg'ani sebepli, tan'lap aling'an jiyilik ha'm energiya diapazonlarinda ultrasesli qayta islew dislokatsiyalardin' aktiv oblastta konservativ bolmag'an orin awistiriwina alip kelmeydi, biraq stabilitronnin' parametrlerin jaqsilay otirip toshkaliq defektlerdin' akustoximiyaliq getterleniwin stimullaydi dep juwmaq shig'ariwimizg'a boladi. Keltirilgen na'tiyjelerge tu'sinik beriw ushin quyma p-n-o'tiwlerde strukturaliq defektlerdin' ta'biyatin esapqa aliw kerek. Bul stabilitronnin' OPZ-de sozilg'an siziqli defektler (dislokatsiyalar). Olardin' ha'reketshen'ligi to'men. Sonliqtan yarimo'tkizgish ko'leminde defektler menen baylanisli bolg'an zaryadlang'an bo'lekshelerdin' ha'reketin olardin' payda boliw temperaturasina jaqin bolg'an temperaturalarda g'ana (yag'niy u'lgi suwip baslag'an temperaturada) aniqlaw mu'mkin. Biraq, bul jumista qollanilatug'in ultrasesli qayta islew rejimlerinde ultrasesli kremniy arqali jutiliwinda bunday temperaturalarda erisiw mu'mkin emes.

Solay etip, aling'an na'tiyjeler ko'rsetilgenindey, ultrasesli qayta islew komnata temperaturasinda kishi jumis maydanina iye kremniyli diffuziyaliq LP diodlarda ko'plegen protsesslerdi stimullaydi. Bunday jag'dayda qosimta-defekt strukturasin qayta quriw, defektler komplekslerinin' qulawi, qayta quriw ha'm (ayirim jag'daylarda) dislokatsiyalardin' annigilyatsiyasi ha'm tag'i basqada fizikaliq protsessler a'melge asiriladi dep shamalaw mu'mkin. Bul zaryadti ko'shiriw mexanizminin' generatsiyaliq - rekombinatsiyaliqtan diffuziyaliqqa o'zgeriwine alip keliwi mu'mkin ha'm bul kishi maydannin' kremniyli p-n-o'tiwler tiykarinda ideal Shokli diodlarin du'ziwge mu'mkinshilik beredi dep ayta alamiz.Islep shig'ilg'an kishi maydannin' yarimo'tkizgishli a'sbaplar parametrlerin jaqsilaw metodikasi olardi tayarlawdin' texnologiyaliq tsiklinde qollaniliwi mu'mkin.

Izertlewdin' a'hmiyetli bag'dari bular ha'r qiyli impulsli jilliliq ta'sirlerde payda bolatug'in yarimo'tkizgishte soqqi tolqini maydaninda defektler generatsiyasin u'yreniwdin' dawami bolip esaplanadi; bul mexanizm planar strukturalardi lazerli qayta islewde, lampa menen ku'ydiriwde, sonday-aq SVSH-

qayta islewde ayriqsha a’hmiyetke iye. Bul bag’dardag’i izertlewler defektler termodinamikasinin’ bir qansha fundamentalliq mashqalalarin, yarimo’tkizgishli a’sbaplardin’ degradatsiyasinda strukturaliq aniq emesliklerinin’ rolin ha’m bir qansha basqa mashqalalardi sheshiwde tiykarg’i roldi atqariwi mu’mkin.

Izertlewler na’tiyjeleri O’zbekstan Respublikasinin’ elektron sanaatinda, magistrant ha’m stajer izertlewshi-izleniwshiler ushin, sonday-aq yarim o’tkizgishler bag’dari bakalavr studentleri ushin paydali material boladi dep esaplaymiz.

Juwmaq

Jumista kremniyli diodlarindi ultrasesli qayta islewler menen stimullang'an defektlerdi atermikaliq jol menen getterirlew yag'niy defektlerden tazalaw aniqlandi. Ol toq o'tkeriw mexanizminin' almasiwina generatsiyaliq-rekombinatsiyaliqtan diffuziyaliqqa komnata temperaturasinda-aq o'zgeriwine ha'm ko'shkili tesiwdin' birtekliligini bir qansha o'siwine alip keletug'inlig'i ko'rsetildi.

Ultrasesli terbelislerdin' defekt podsistemasi menen o'z-ara ta'sir etisiw protsessinde kislorod penen, atap aytqanda A-oraylar ha'm tag'i basqalar menen baylanisqan toshkaliq defektlerinin' ha'r qiyli kompleksleri a'hmiyetli rol oynaydi. Solay etip, ko'shkili tesiw rejiminde islewshi yarimo'tkizgishli a'sbaplardi akustoximiyaliq usillardi qollaniw arqali getterlew yag'niy yarimo'tkizgishli a'sbaptin' parametrlerinin' jaqsilaniwin ta'miyinlewi mu'mkin.

Ta'jiriybe arqali aniqlang'aninday, kremniyli quymali stabilitronlardi tan'lang'an dozalar diapazoninda ultrasesli qayta islew VAX-nin' keri shaqasinda awisiq toqti bir qansha kemeytedi, biraq tesiwdin' juqa strukturasin o'zgertpeydi. Mikroplazmalar quyilma diodlarda ta'rtip boyinsha kremniydin' strukturaliq defektler oblastina jaylastirilg'ani sebepli, tan'lap aling'an jiyilik ha'm energiya diapazonlarinda ultrasesli qayta islew dislokatsiyalardin' aktiv oblastta konservativ bolmag'an orin awistiriwina alip kelmeydi, biraq stabilitronnin' parametrlerin jaqsilay otirip toshkaliq defektlerdin' akustoximiyaliq getterleniwin stimullaydi dep juwmaq shig'ariwimizg'a boladi.

Paydalanilg’an a’debiyatlar

1. 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. Kiev:, Intas. 2002, 192p.

2. I.V.Grexov, Yu.N.Serejkin. Lavinniy proboy p-n perexoda v poluprovodnikax Leningrad, «Energiya» 1980, 152s.

3. Dvureshenskiy A.V., Kashurin G.A., Nidaev E.V., Smirnov L.S., Impulsniy otjig poluprovodnikovix materialov . //M,: Nauka. 1982. 208 S.

4. Bayimbetov F.B., Djumamuxambetov N.G. Mexanizm vozdeystviya lazernix impulsov na poluprovodniki $A^{III}B^{V}$. //Fizika i ximiya obrabotka materialov. -1999. -№1. -S.38-40.

5. Gotra Z.Yu., Oseredko S.A. Upravlenie svoystvami poverxnostnix sloev v texnologii mikroelektroniki s pomoshyu lazernogo izlusheniya. Zarubejnaya elektronnaya texnika, 1985, №12, s.3-50.

6. T.Ya.Puritis, I.E.Ozolinya, R.Ya.Krike, Ya.P.Murans, Ya.K.Balodis Mikroplazmennie yavleniya v kremnievim elektronno-diroshnom perexode Izvestiya Akademii nauk Latvii, Seriya fizisheskix i texnisheskix nauk, 1966, str. 383-390

7. Prognozirovanie nadejnosti poluprovodnikovix lavinnix diodov R.V.Konakova, P.Kordosh, Yu.A.Txorik i dr. Kiev: Naukova dumka.- 1986, 188s.

8. Zaytsevskiy I.L., Konakova R.V., Ribalka V.V., Sherbina L.V. Ispolzovanie metodiki modulyatsionnogo differentsirovaniya dlya issledovaniya neodnorodnostey VAX kremnievix LPD Mikroelektronika, 1980, tom 3, №9, s.253-258.

9. Bayimbetov F.B., Djumamuxambetov N.G., Mexanizm vozdeystviya lazernix impulsov na poluprovodniki $A^{III}B^{V}$. FXOM, 1999, №1, s.38-40.

10. Ametov B., Bekbergenov S., Dawletmuratov B.K., Dawletmuratov B.B.,

Saparova G.G., Tagaev M.B. Protsess obrazovaniya i rasprostraneniya udarnoy volni pri impulsnom lazernom oblushenii v CdTe

11.Tagaev M.B. Vliyanie elektrotrinirovki na elektrisheskie xarakteristiki kremnievix stabilitronov UzFJ, 1998, №5, S.41-44.

12.Tagaev M.B., Ismaylov Q.A. Kremnievie diffuzionnie diodi s voltampernimi xarakteristikami, blizkimi k idealnim. Jurnal texnisheskoy fiziki, 1998, 68, №10, s.131-132

13. B.Tag'aev. Vliyanie oblusheniya gamma kvantami ^{60}Co i bistrimi elektronami na velishinu kritisheskoy plotnosti toka kremnievix p-i-n diodov.- Uzbekskiy fizisheskiy jurnal, 1996, №5-6, str. 102 – 104.

14. Tagaev M.B., Bekbergenov S.E., Kamalov A.B., Kudrik Ya.Ya., Kulish N.R., Malish N.I., Konakova R.V., Milenin V.V. Vliyanie lazernoy obrabotki s maloy plotnostьyu energii izlusheniya na VAX diodov Shottki Pt-n-n^+-GaAs. VI Mejdunarodnaya naushnaya konferentsiya "Radiatsionno-termisheskie effekti i protsessi v neorganisheskix materialax" Tomsk, Rossiya, 8– 15 avgusta, 2008 goda. –S. 495-497.

15.Tagaev M.B., Kamalov A.B., Bekbergenov S.E., Nasirov M.U. Vliyanie lazernoy i ultrazvukovoy obrabotok na elektrofizisheskie svoystva diodnix struktur Cr-GaAs. Materiali X Mejdunarodnoy konferentsii «Fizika poluprovodnikov tonkix plenok». Ivano-Frankovsk, Ukraina, 15-21 maya 2005 g, s.123.

16. Ismailov Q.A., Tagaev M.B., Statov V.A., Bekbergenov S.E. Rol mikrorelefa v izmenenii xarakteristik oksidsoderjashix barierov Shottki Sr-GaAs pod vliyaniem vneshnix vozdeystviy. Materiali konferentsii «Fotoelektrisheskie yavleniya v poluprovodnikax 2004». Tashkent. 20-21 aprelya 2003 g, s.35-36.

17. Vyatkin A.P., Voronkov V.P., Kuleshov S.M., Maksimova N.K., Yanovskiy V.P., Yakubenya M.P. Fiziko-ximisheskie vzaimodeystviya v kontaktax palladiy-arsenid galliya, podvergnutix impulsnomu lazernomu otjigu. //POVERXNOST. Fizika, ximiya, mexanika. -1986. -№8. -S.111-114.

18. Djamanbalin K.K., Dmitriev A.G. Dislokatsionnaya priroda Tunnelnogo

izbitoshnogo toka v strukturax GaAs-Ni, modifitsirovannogo lazernim izlusheniem. FTP, 2000, t.34, vip.8, s.976-977.
19. Zaytsevskiy I.L., Konakova R.V., Ribalka V.V., Sherbina L.V. Ispolzovanie metodiki modulyatsionnogo differentsirovaniya dlya issledovaniya neodnorodnostey VAX kremnievix LPD Mikroelektronika, 1980, tom 3, №9, s.253-258.
20.T.Ya.Puritis, I.E.Ozolinya, R.Ya.Krike, Ya.P.Murans, Ya.K.Balodis Mikroplazmennie yavleniya v kremnievim elektronno-diroshnom perexode Izvestiya Akademii nauk Latvii, Seriya fizisheskix i texnisheskix nauk, 1966, str. 383-390.
21.Prognozirovanie nadejnosti poluprovodnikovix lavinnix diodov R.V.Konakova, P.Kordosh, Yu.A.Txorik i dr. Kiev: Naukova dumka.- 1986, 188s.
22. Ismailov Q.A., Tagaev M.B., Kamalov A.B., Bekbergenov S.E. //Vliyanie lazernoy obrabotki na elektrisheskie xarakteristiki bariernix kontaktov k GaAs. Materiali IX Mejdunarodnoy konferentsii «Fizika poluprovodnikov tonkix plenok». Ivano-Frankovsk, Ukraina, 19-24 maya 2003 g, s.79-80.
23. Tag'aev M.B. i dr. Vzaimodeystvie i samoorganizatsiya dislokatsiy i mikroplazm v barierax Shottki i p-n perexodax bolshoy ploshadi. - Materiali mejdunarodnaya naushno-praktisheskaya konferentsiya "Strukturnaya relaksatsiya v tverdix telax", Vinnitsa, Ukraina, 2003, str. 122.
24.Ismaylov Q.A., Tagaev M.B., Kamalov A.B. O relaksatsii vnutrennix mexanisheskix napryajeniy v strukturax metal – GaAs. Materiali mejdunarodnaya naushno-praktisheskaya konferentsiya "Strukturnaya relaksatsiya v tverdix telax", Vinnitsa, Ukraina, 2012, str. 220-222.
25. Jalelova K.M. Izmenenie parametrov barierov Shottki Mo-GaAs, stimulirovannoe mikrovolnovim izlusheniem Magistrantlar toplami, 2012