

**ЎЗБЕКСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ЖОҚАРЫ ҲАМ ОРТА АРНАЎЛЫ
БИЛИМЛЕНДИРИЎ МИНИСТРЛИГИ**

Бердақ атындағы Қаракалпақ мәмлекетлик университети

Қол жазба хуқықында

УДК : 537.311.33+546.28

АМЕТОВ РУСЛАНБЕК АЙБЕКОВИЧ

**КРЕМНИЙ ТИЙКАРЫНДАҒЫ ПРИБОРЛЫҚ СТРУКТУРАЛАРҒА
РАДИАЦИЯНЫҢ ТӘСИРИНЕН КЕЙИН ДЕГРАДАЦИЯЛЫҚ
ПРОЦЕССЛЕРДИ ҮЙРЕНИЎ**

5A140204 « Конденсацияланған орталықлар физикасы хәм материалтаныў»

МАГИСТРЛИК ДИССЕРТАЦИЯ

МАК да жақлаўға рухсат

Магистратура бөлими баслығы:

_____ ю.и.к. доц. А.Гулимов

Кафедра баслығы:

_____ проф. Исмайлов Қ. А.

Илимий басшысы:

_____ проф. Исмайлов Қ.А.

Нөкис -2013 жыл

КИРИСИЎ	3
1.ӘДЕБИЙ ШОЛЫЎ	
1.1. Кремний тийкарында исленген диодлардың түрлери ҳәм ислеў принциплери.....	7
1.2 Кремний тийкарында исленген транзисторлардың түрлери ҳәм микроэлектроникада қолланылыўы.....	24
2. ЭКСПЕРИМЕНТ МЕТОДИКАСЫ.	
2.1. «МОДУЛЬ -2» модуляциялық дифференциаллаў методикасы.....	36
2.2. Деградацияға себепши параметрлерди анықлаў методы.....	40
2.3. Техника қәўипсизлиги.....	47
3. ЭКСПЕРИМЕНТ НӘТИЙЖЕЛЕРИ ҲӘМ ТҮСИНДИРИЛИҰИ.	
3.1. Сыртқы радиациялық тәсирлерден кейинги кремнийли приборлардың физикалық характеристикаларының өзгерисин изертлеў.....	49
3.2. Кремнийли приборлардың ислеў ўақтында ҳәм сыртқы тәсирлер нәтийжесинде болып өтететуғын деградациялық процеслерди үйрениў.....	58
4. ЖУЎМАҚ	61
5. ӘДЕБИЯТЛАР	63

К и р и с и ў

Жұмыстың актуальлығы. Бүгінгі күні илим хәм техниканың раўажланған бир дәўринде ярым өткізгішли материаллардан исленген әсбаплардың тутқан орны өз алдына. Себеби техниканың қайсы тараўын алмайық дерлик барлық жерде ярымөткізгішлер тийкарында жасалған әсбаплар ийелеген. Әсиресе арсенидгеллийден исленген әсбаплардың роли өз алдына. Бул материалдан жасалған ярымөткізгішли әсбаплар жоқары жийиликли әсбаплар жасаўға жүда қол келеди. Сол себепли илимий хәм практикалық жақтан арсенидгаллийден таярланған әсбапларды, әсиресе солардың ишинде арсенидгаллийли лавинлы диодлардың электрофизикалық қәсийетлерин изретлеў, олардың өзгешеликлерин анықлаў үлкен актуаль маселелерден болып есапланады. Әлбетте бул бағдар бойынша көп жұмыслар исленген. Дүньяның белгили усы бағдарға бағышланған журналларында дәўирли түрде илимий макалалар басылып шықпақта. Бирақ бул жұмыслардың көпшилиги арсенидгаллийли материалларды ямаса структураларды изертлеўге қаратылған. Ал таяр әсбапларды бузбаған ҳалда сол әсбаплардың электрофизикалық характеристикаларын изертлеў мүмкиншилиги хәмме методлар менен әмелге асырылабермейди. Сонлықтан бул магистрлик диссертацияда Украина миллий илимлер академиясына қараслы ярымөткізгішлер физикасы институтында исленип шығылған хәм бизиң университетимиз тәрәпинен ўақтында сатып алынған «МОДУЛЬ-2» методикасы сол жоқарыда айтылған маселелерди шешиўде өз имканыятларын берди. Усы себепли бул магистрлик диссертацияның тийкарғы объекти ылып арсенидгаллийли материал тийкарында таярланған диодлы сруктуралар алынды. Алдымызга қойылған мақсетке ерисиў ушын изретленип атырған диодларды бузбаған ҳалда жоқарыда айтылған хәм хәзирги күні кафедрамызда ислеп туррған “МОДУЛЬ-2” яғный модуляциялық дифференцияллаў методынан пайдаландық. Бул методтың ислеў принципи магистрлик диссертацияның 2 бабында қысқаша жазылған хәм блок-схемаларыда келтирилип көрсетилген. Магистрлик диссертация

темасының атынан көринип турғанындай бул жұмыс тек илимий жақтан емес ал практикалық жақтанда үлкен әхмийетке ийе. Себеби бүгінгі күні өндірісте іслеп шығып атырған ярымөткізгішли диодлар көпшилигі эксплуатация уақтында істен шығуы халлары болуы мүмкін. Усы істен шығуы жағдайын диагностика қылуыда әсбаптарды бузбаған халда сорл әсбаптардың физикалық характеристикаларын үйрениу хәм істен шығуы себебин анықлау бул хәм илимий хәм практикалық әхмийетке ийе. Сонлықтан бул магистрлік диссертация жұмысы Өзбекстан Республикасы Министрлер Кабинети тәрөпинен бундай жұмысларға қойылатуғын талаптарға толық жууап бөреді. Әлбетте бул магистрлік диссертацияның атынан көринип турғанындай дәстүрий вольтамперлік характеристиканың өзгешеликлері сол пробойға тийкарланған әсбаптардың іслеу принципінен келип шыққан халда қарастырылған. Магистрлік диссертация тийкарынан 3 баптан ибарат болып оның 1 бабы магистрлік диссертация темасына байланысly әдебиетларға шолуыға бағышланған. Ал 2 бабы болса бул эксперимент методикасына қаратылған. 3 бабы бул оригиналь бөлімі болып бул жерде алынған эксперимент нәтижелері хәм оның талқыланыуы берілген.

Жұмыстың мақсөти хәм уазыйпалары. Сыртқы тәсір нәтижесінде (радиацияның) кремнийлі диодлы структуралардың электрофизикалық қасиетлерінің өзгерісін изертлеу хәм сол изертлеулердің нәтижелері бойынша деградациялық процесслердің болуы механизмлерін түсіндирип беріу.

Жоқарыдағы қойылған мақсетке ерисиу ушын, төмендегі уазыйпалар орынланыуы керек;

1. Усы магистрлік диссертацияның темасына байланысly илимий монографиялар хәм белгілі физикалық журналларда жәрияланып турған илимий мийнетлерге әдебий шолуы жасау
2. Эксперименталлық методика менен жақыннан танысуы хәм сол методиканы басқаруыды үйрениу.

3. Эксперименталлық усыл менен алынған нәтижелерди физикалық көз қарастан усы ўақытқа шекемги бар физикалық моделлер жәрдемінде интерпретация (түсинндирийў) қылыў.

Изертлеў объекти. Бул жумыста изертлеў объекти сыпатында кремний материалынан жасалған диодлы структуралар алынды.

Изертлеў предмети. Кремнийли диодлы структуралардың электрофизикалық характеристикасын диагностикалық методлар жәрдемінде ўйренилип хәм олардың физикалық параметрлериниң өзгерисин изертлеў.

Изертлеў методикасы хәм усыллары. «МОДУЛЬ -2» модуляциялық дифференциаллаў методикасы

Изертлеў нәтижелериниң илимий тәрәптен жаңалық дәрежеси.

1. Радиацияның тәсири нәтижесінде кремнийли диодлық структуралардың параметрлериниң өзгериўи.
2. Радиация арқалы тәсирден кейинги кремнийли диодлы структуралардағы деградациялық процесслер.
3. Кремнийли диодлы структурадағы деградациялық процесслердиң сол диодлы структураның параметрлери арасындағы байланысты анықлаў.

Изертлеў нәтижелериниң әмелий әҳмийети хәм қолланылыўы.

Алынған эксперимент нәтижелери тийкарынан ярымөткизгишлер электроникасында таяр приборлардың физикалық характеристикаларын жақсылаў ушын технологиялық метод сыпатында қолланылады.

Жумыстың дүзилиси хәм қурамы. Жумыс кирисиў бөлими, 3 бап, жуўмақ хәм пайдаланылған әдебиятлар улыўма 66 беттен турады.

Орынлаған жумыстың тийкаргы нәтижелери. Алынған тийкаргы эксперимент нәтижелерге сыртқы радиациялық тәсирлерден кейинги приборлық структуралардың мәлим бир дозаларда жақсыланыўы хәм деградацияланыўы киреди.

Жуўмақ хәм усыныслардың қысқаша ұлыўмаластырылған көриниси. Изертленген кремнийли приборлы структуралардың мәлим радиациялық дозаларда параметрлериниң жақсыланыўы хәм деградацияланыўы технологиялық усыл сыпатында өндиристе қолланыўға усынылады.

I БАП. ӘДЕБИЙ ШОЛЫҰ

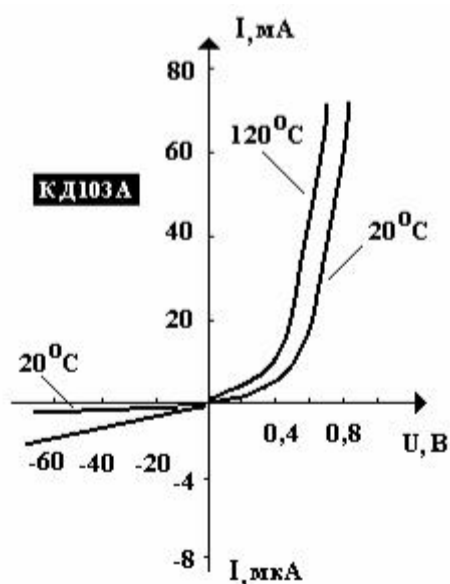
1.1. Кремний тийкарында исленген диодлардың түрлері хәм ислеў принциплери

Төменде 1 кестеде кремний элементиниң физикалық хәм химиялық қасиетлери ҳаққында мағлыўмат келтирилген. Si Атом номери 14.

• Көриниси	• Аморф ҳалатта ----- қоңыр порошок • Кристалл ҳалатта ---тоқ күл рең жалтырақ
• Молярлық массасы	• 28,0855 м.а.б. (г/моль)
• Атом радиусы	• 132 pm
• Ионланыў энергиясы (биринши электрон)	• 786,0(8.15) кДж/моль (эВ)
• Тығызлығы	• 2,33 г/см ³
• Салыстырмалы жыллылық сыйымлылығы	• 19,8 Дж/ (К/моль)
• Жыллылық өткизиўшеңлик	• 149 W/ (м к)
• Ериў температурасы	• 1688 К
• Ериў жыллылығы	• 50,6 кДж/моль
• Қайнаў температурасы	• 2623 К
• Қайнаў жыллылығы	• 383 кДж/моль
• Молярлық көлеми	• 12,1 см ³ /моль
• Кристаллық пәнжере дүзилиси	• Гексагонал
• Кристаллық пәнжере дәўири	• 5,430 Å
• Дебай температурасы	• 625,00 К
• Кристаллық структурасы	• D

Қадаған зона кеңлиги	300 К ----- 1,12 эВ 0 К -----1,17 эВ
Бөлме температурасындағы (300 К) ток тасыушылар қозғалыушаңлығы	- Электрон ----- 1500 см²/В*с - Геуекше (дырка) ---- 450 см²/В*с
Эффектив массасы m^*/m_0	- Электрон ----- 0,98 ----- 0,19 - Геуекше (дырка) ----- 0,16 ----- 0,49
Бөлме температурасындағы салыстырмалы өткизиушеңлиги	$\sigma = 3,7 \cdot 10^{-4} (\Omega \cdot \text{см})^{-1}$
Валентлиги	$3s^2 3p^2$

Туурылаушы диодлар



1 -сүүрет. КД103А типли туурылаушы диодтың вольт- ампер характеристикалары .

Туурылаушы диодлар өзгөрмели токты тұрақлы токқа өзгертиу үшін қолланылады. хәзирги ўақытта хәр қыйлы еллердиң санаатында 1700 А тоқларға хәм 2000 В дейин тұрақлы кернеулерге шыдаушы туурылаушы диодларды қолланады.

1-сүүретте КД103А типли туурылаушы диодтың 20⁰С хәм 120⁰С температуралардағы вольт-амперли характеристикалары келтирилген. Бул характеристикалардан көринип турғанындай, температураны

жоқарылатқан сайын диодлардан өтиўши токлар өседі.

Туўрылаўшы диодлардың дифференциал параметрлери. Туўрылаўшы диодлардың дифференциал параметрлери деп диодтан өтиўши токтың киши өзгерислерин усы өзгерислерди келтириўши себеплер менен байланыстырыўшы шамаларға айтылады. Диодтан өтиўши ток улыўма жағдайда еки ғәрезсиз өзгериўшилердің функциясы болады - бул түсирилген кернеў U хәм диодтың температурасы T . Бул ғәрезлиликти $S = f(U, T)$ түрде көрсетиўге болады. Ал кернеў хәм температура менен шәртленген токтың өзгериси төмендегише жазылыўы мүмкин

$$dI = \frac{\partial I}{\partial U} dU + \frac{\partial I}{\partial T} dT$$

dU хәм dT алдында турған дара туўындыларды S_U и S_T деп белгилеп, табамыз

$$S_U = \frac{\Delta I}{\Delta U} \quad S_T = \frac{\Delta I}{\Delta T}$$

Берилген жумысшы ноқат ушын диод характеристикасын табамыз

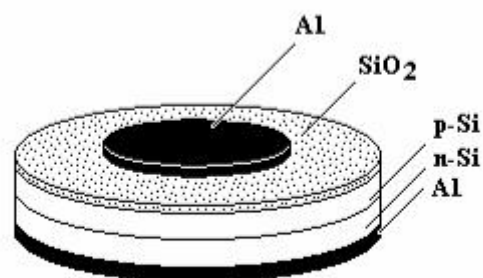
$$\Delta I = 15 - 11 = 4 \text{ мА} \quad \text{и} \quad \Delta U = 0,7 - 0,54 = 0,16 \text{ В}, \quad S_U = 4 / 0,16 = 25 \text{ мА / В}$$

$$\Delta T = 120 - 20 = 100 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad S_T = 4 / 100 = 0,04 \text{ мА / }^{\circ}\text{C}.$$

2 кестеге муўапық мысал ретинде Россияда исленип шыққан бир неше туўрылаўшы диодлардың параметрлери келтирилген

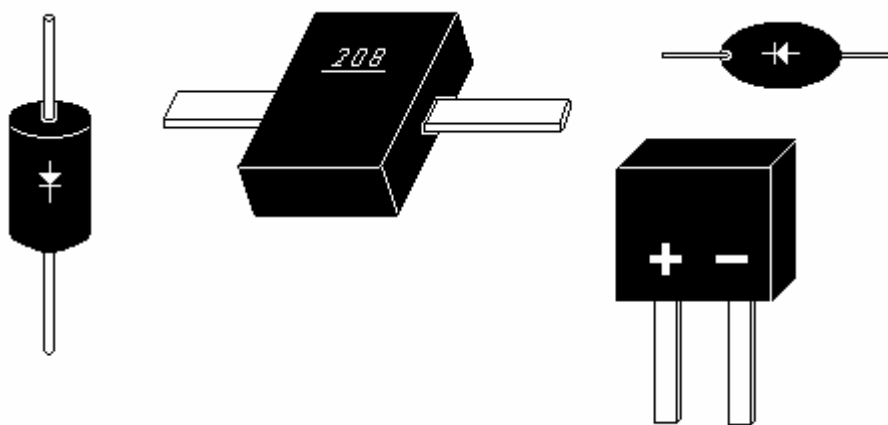
Диод типы	I пр, А	Uпр, В	I обр, мА	Uобр, В	f max, кГц
КДЭ05Б	0,3	1	0,1	400	0,5
КД209Ж	0,7	1	0,05	100	1
КД229И	0,7	1	0,05	200	1
КД21Ға	1	1	0,05	200	100
КД226Д	1,7	1,4	0,05	800	35
КД202К	5	0,9	0,8	400	5
КД202Р	5	1	1,5	600	5
Д242	10	1,25	3	100	1,1
Д246А	10	1	3	400	1,1
КД2999В	20	1	0,2	100	100
КД2997В	30	1	0,3	100	100

2-сүретте туұрылаўшы диодтың ең әпиўайы структурасы берилген. Бул жерде ярымөткізгішли подложка (тийкар) ретинде n тип өткізгішликке ийе болған кремний пластинасы қолланылған (n-Si). Бул пластинаның барлық бетинде p типке ийе болған қатлам



2- сүрет. Туұрылаўшы диодтың ең әпиўайы түри.

өсирилген (p-Si). Контактлер ретинде металл алюминий (Al) қолланылған. Сыртқы тәсірлерден қорғаныў ушын диодлы структураның барлық сыртқы бети диэлектрик қатламы менен пуўландырылған (SiO₂). 3-сүретте бир неше киши қуўатлы туұрылаўшы диодлардың сыртқы түри көрсетилген.



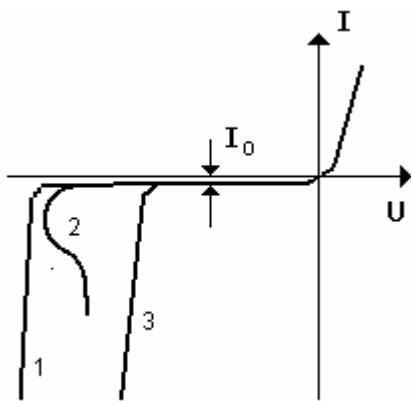
3 -сүүрет. Бир неше киши қуўатлы туўрылаўшы диодлардың сыртқы көриниси.

р-п өтиўдиң пробойы. Стабилитронлар

Стабилитронлар деп вольтамперли характеристикада өтиўши токтың кернеўден хәлсиз ғәрезлилиги участкасы бар болған ярымөткизгишли диодларға айтамыз. (4-сүўрет). Усындай участканың болғанында диодқа түсирилген кернеў турақлы болып калады. Әдетте, бул участкалар блкен кери кернеў областларда болады. Усындай участканың пайда болыўы ушын р-п өтиўдиң «пробой» кубылыс тийкарында турған физикалық механизмлер жатады. Электр пробойдың үш түри белгили. Бул лавиналық, жыллылық ҳәм туннелли пробой. (4) сүўретте диодтың вольт-амперли характеристикасының кери шақасында пробойдың усы участкалары көрсетилген. Бул жерде 1-лавинли, w- жыллылық, е- туннелли пробойлар сәйкес келеди. I_0 - киши кери кернеўлердеги диодтың кери тоғы. Пробой механизмлерди кеңирек қарастырайық.

Лавинли пробой. Бул жағдайда диодтағы кери кернеўди көтергенде р-п өтиў областдағы электр майдан кернеўлилиги өседи, усының менен бирге ярымөткизгиштеги ток тасыўшылар электр майдан күшлер тәсири астында қосымша энергияны алады. Егер р-п өтиўдиң көлемлик заряд областының

кеңлиги d еркин жүриу ұзындықтан l анағұрлым көп болса, онда ток тасыушылар еки избе-из тәсирлесу арасында еркин жүриу уақыты ишинде кристал решетка атомларды ионизациялауға хәм валент байланысларды бузуу ушын жететуғын кинетик энергияны алады. Усындай ионизация уақтында жаңа пайда болатуғын ток тасыушылардың жубайы (электрон хәм геуекше) күшли электр майданда тезленип және ионизация кубылысына өз блеслерин қосады.



4 -сүүрет. Диодтың вольт-ампер характеристикасы.

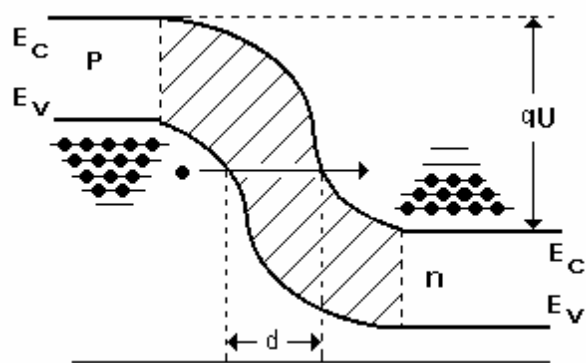
Бул еркин ток тасыушылар санының өсиуине алып келеди хәм р-п өтиу арқалы өтетуғын токтың өсиуине әкеледи. Ток тасыушылардың лавинли көбейуи менен анықланатуғын кери токтың тез өсиуи р-п өтиудің лавинли пробой кубылысы деп аталады. Лавинли пробой кубылысы кеңнен стабилитронларды ислегенде қолланылады. Бул ярымөткізгішли үскенелер кернеуді стабилизация қылу ушын пайдаланылады.

Тунелли пробой. Егер көлемлик заряд областының кеңлиги еркин жүриу

ұзындықтан жүдә аз болса ($d \ll l$), онда ток тасыушылар еркин жүриу уақыты дауамында ионизацияға жеткилики энергияны алып блгермей калады. Бундай өтиулерде тунелли пробой жүз береді. Бул эффектте бөлекше потенциал барьер бийикликтен киши болған энергияға ийе болып усы барьерди өтиу мүмкиншилигине ийе болады, егерде барьердің еки жағындада рухсат етилген энергетик қәдилери бар болса. Квант механикадан белгили болғанындай, бөлекшениң тунелли өтиудің итималлығы барьердің кеңлиги аз болған сайын көбейеди. Демек, тунелли пробой тар зоналы күшли легирленген ярымөткізгішлерде орын алады. Пробойдың тунелли механизмде токтың өтиуи 5 -сүүретте көрсетилген.

Егер кери кернеу p областтың өткізгішшилиік зонаның түбін p областтың валент зонасының төбесіне қарағанда көп түсіп кетсе, p областдағы валент электронлар ярымөткізгіштің қадаған етилген зонасынан n областдағы өткізгішшилиік зонаға туннель эффекті сияқты өтеді. Si хәм Ge тийкарында ісленген диодларда туннельли эффект $4E_g/q$ дан киші болған кернеулерде пайда болады. Егер бундай диодларда пробой $6E_g/q$ кернеулерде байқалса, онда пробой бул жағдайда тийкарынан ток тасыушылардың лавинли көбейуі менен шәртленеди.

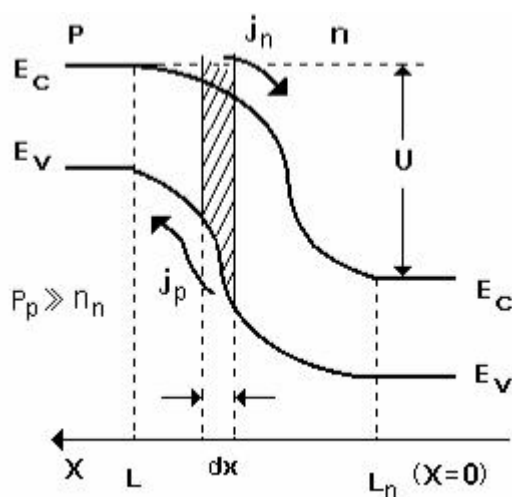
Жыллылық пробой. Бул жағдайда $p-n$ өтиуде қандай-да муғдарда жыллылық бөлиніп шығады. Нәтийжеде $p-n$ өтиудің температурасы көтеріледі. Бул ток тасыушылардың жыллылық генерация тезлігін көтереди хәм рухсат етилген зоналардағы ток тасыушылардың концентрациясының көбейуіне алып келеді. Демек, кери ток көбейеди хәм бул өз нәубетінде бөлиніп атырған жыллылық муғдарының хәм ток тасыушылардың концентрациясының көбейуіне алып келеді. Бул процесс жыллылық пробойды келтириуі мүмкін. $P-n$ өтиудің температурасы хәм кери ток шамасы арасында байланыс болғанлықтан жыллылық пробой шәртинде диодтың вольт - амперли характеристикасы кери дифференциал карсылық участкаға ийе болады. (участка 2. 4 -сүүретте). Бул участкада диодтағы кернеудің түсиуі, ток өсиуі менен азаяды. Әдетте $p-n$ өтиулердің кери токлары аз, хәм бул жағдайда пробой болмайды. Жыллылық пробой ярымөткізгіштің структурасын пүткіллей өзгертеді хәм $p-n$ өтиу бузылуы мүмкін. Ярымөткізгішли материалдың параметрлери хәм пробойдың кернеу шамасы арасындағы аналитик ғәрезлиікті табайық.



5 -сүүрет Пробойдың туннельли механизміндегі токтың өтиуі.

Бунның ушын симметрик емес p^+ - n өтиўдинң энергетик зона диаграммасын карастырамыз 6-сүүрет. Бул өтиўде пробойға сәйкес болған кери кернеў берилген деп есаплаймыз. Бул жерде x n областының көлемлик заряд қатламының шегарасынан есапланады. $p_p \gg n_n$ шәрти орынланғанда, көлемлик заряд тек n областда болады ҳәм жыллылық генерация тек усы областда болады, яғный бул шегарада геўекшели ток $x = 0$ тегисликте $j_p(0) = j_s$, бул жерде j_s – электр нейтраллық областдан n областқа кириўши геўекшелердинң тоғы. p областтың шегарасында электронлы токты $x=L$ тегисликте j_n нолге тең деп есаплаймыз. Алкен бекитиўши кернеўлерде p - n өтиўде жубайлардың генерациясы жүз бергенде өтиў арқалы ҳәм электронлы ҳәм геўекшели тоklar өтеди. Усы тоklarды табайық. P - n өтиўдинң n областында dx қалыңлыққа ийе болған қатламды бөлип алайық. 1 секундта усы қатламның бирлик майданынан n электронлар ҳәм p геўекшелер концентрациясы өтеди

$$n = \frac{j_n}{e\mu_n E}; \quad p = \frac{j_p}{e\mu_p E}$$



6-сүүрет. p - n -өтиўдинң энергетик диаграммасы.

бул жерде μ_n ҳәм μ_p - сәйкес түрде электрон ҳәм геўекшелердинң қозғалыўшаңшылығы; E – электр майданның кернеўлиги. ҳәр бир усындай ток тасыўшылар αdx жубайларды генерация қылады. Бул жерде α - ионизация тезлиги, яғный бирлик узынлыққа сәйкес келетуғын электронлар ҳәм геўекшелер концентрациясының көбейиўи

$$\alpha_n = \frac{1}{n} \frac{dn}{dx}$$

$$\alpha_p = \frac{1}{p} \frac{dp}{dx}$$

1 секундта генерацияланған ток тасыушылардың жубайлар саны төмендегіше жазылады

$$gdx = \left(\frac{j_n}{e\mu_n E} + \frac{j_p}{e\mu_p E} \right) \alpha dx = \frac{\alpha j}{e\mu E} dx \quad (1)$$

жоқарыдағы аңлатпаны келтирип шығарғанда биз $\mu_n = \mu_p$ хәм $J = J_n + J_p$ деп есапладық.

Енди геуекшелер ушын үзликсизлик теңлемесинен пайдаланамыз, себеби бизде р-п өтиудің р области қарастырылып атыр хәм бул жерде тийкарғы емес ток тасыушылар болып геуекшелер болады

$$\frac{dp}{dt} = g + \frac{1}{e} \frac{\partial j_p}{\partial x} - \frac{p - p_o}{\tau_p} \quad (2)$$

Булл (2) теңлемеге мууапық, стационар режимде $\frac{dp}{dt} = 0$, рекомбинация

жоқ болғанда $\frac{p - p_o}{\tau_p} = 0$, хәм dx участкада токтың көбейиуі бул

катламда генерацияланған жубайлардың санына тең болады

$$\frac{\partial j_n}{\partial x} = - \frac{\partial j_p}{\partial x} = -eg \quad (3)$$

ямаса (1) мууапық, $g = \frac{\alpha j}{e\mu E}$ болғанлықтан, dx участкадағы ток өзгерисин сүүретлеуши аңлатпаны аламыз

$$\frac{\partial j_p}{\partial x} = \frac{\alpha j}{e\mu E} \quad (4)$$

Бул жағдайда геўекшели ток n областдан узақласқан сайын өседі, ал электронлы ток оған жақынласқан сайын өседі. Толық ток тұрақты болып қалады. (4) теңлемени интеграллап, n областының қалыңлықтың барлығында табамыз

$$j_p(x) = j_s + \frac{j}{e\mu E} \int_0^x \alpha dx \quad (5)$$

бул жерде j_s - интеграллаудың тұрақтысы. Бул тұрақтының физикалық мәнісі - электрнейтраллық областдан n областқа кириўши геўекшели токтың басланғыш шамасы. $X=L$ тегисликте токтың геўекшели дүзиўшиси толық токқа тең болғанлықтан $j_p(L) = j$, (5) теңлемени төмендегише жазыўға болады

$$j(1 - \frac{1}{e\mu E} \int_0^L \alpha dx) = j_s \quad (6)$$

M деген көбейиў коэффициенті түсинигин пайдаланып ҳәм ол бир геўекше неше жубайларды көрсететуғын шама

$$M = \frac{j}{j_s}$$

(6) аңлатпаны төмендегише жазамыз

$$1 - \frac{1}{M} = \frac{1}{e\mu E} \int_0^L \alpha dx \quad (7)$$

күшли электр майданларда ҳәр бир геўекше бир жубайды генерация қылғанда ҳәм бир электрон және бир жубайды пайда еткенде p - n өтиўдеги ток шексиз өсе береді, яғный $M \rightarrow \infty$ ҳәм пробой жүз береді. (7) теңлемеден көринип тұрғанындай, $M \rightarrow \infty$ шәрти болады

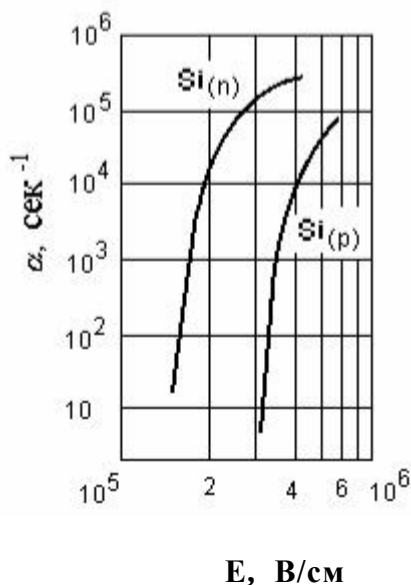
$$1 = \frac{1}{e\mu E} \int_0^L \alpha dx \quad (8)$$

Бул теңдеме лавинли пробой теңлемеси деп аталады. L шамасы p хәм n областдағы ток тасыўшылардың концентрациядан хәм түсирилген кернеў шамасынан ғәрезли болады

$$L = \sqrt{\frac{2\varepsilon\varepsilon_0 U(n+p)}{enp}} \quad (9)$$

бул жерде : ε - диэлектр синирийшилик, ε_0 -электр турақлысы, хәм ол $8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м тең, e - электронның заряды, $1,62 \cdot 10^{-19}$ К. Электр майдан кернеўлилик шамасының түсирилген кернеўден ғәрезлилигинен пайдаланып $E = E(U)$, p хәм n областдағы ток тасыўшылардың концентрациясы хаққындағы экспериментал берилгенлер (9) жәрдемінде (8) лавинли пробой теңлемени шешиўге болады, хәм бул бизге түсирилген кернеў хәм ярымөткизгиштиң параметрлери арасындағы аналитик ғәрезлиликте табыў ушын мүмкиншилик береді. $\alpha = \alpha(E)$ шамасы электр майданының кернеўлиликтен ғәрезли болады. Анығырақ айтқанда, ионизация тезлиги төмендегише болады

$$\alpha = \alpha(E) = \alpha_n(E) + \alpha_p(E)$$



**7 -сүүрет. α параметрдин
майданнан ғәрезлиликлери**

Бирақ көпшилик жағдайларда $\alpha_n(E) = \alpha_p(E)$ деп қабыл етиледі. Si деги электрон хәм геўекшелер ушын $\alpha(E)$ ғәрезлиликлери 7 - сүүретте келтирилген. Лавинли пробойдың басланғыш участкаларында (4-сүүреттеги горизонтал участкадан вертикал участкаға өтиў) - барлық ток қысқа ўақытлы хәр қыйлы импульслар менен алып барылады. Бул микроплазмалық өтиў.

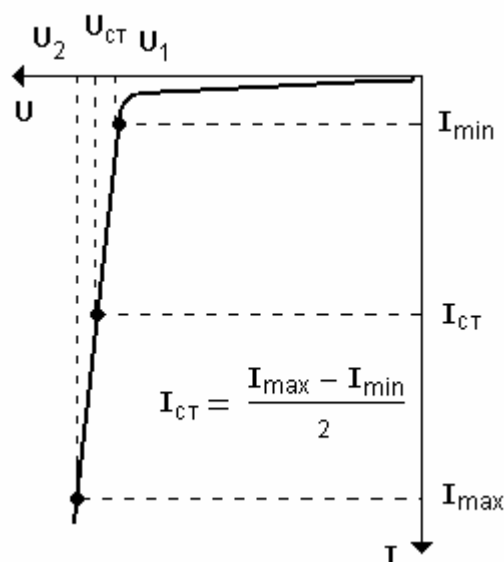
Микроплазмалық лавинлы пробой p - n өтиўде локализацияланған

дислокация областлерда пайда болады. Дислокациялардың бар болыуы зарядлардың топланыуына әкеледи. Нәтийжеде электр майдан кернеуликтиң локаллық көбейиуи жүз береди хәм лавина р-п өтиудің қалған бөлегинде ертерек пайда болады. Соны айтыу керек, егер р-п өтиу областы қандай-да дислокацияларға ийе болмаса, лавиналық пробой өтиу майданында бир текли болмауы мүмкин. Бул ярымөткізгіштің қалыңлығы бойынша киритпелердің бөлистириуиниң статистикалық флуктуациялар сыяқлы болыуы мүмкин.

Стабилитронлардың тийкарғы параметрлери. Стабилитронлардың тийкарғы параметрлери ретинде төмендегилер болады: $U_{ст}$ - стабилизация кернеудің номинал мәниси; $I_{ст}$ - стабилизацияның номинал тоғы, I_{min} - стабилизацияның минимал тоғы; I_{max} - стабилизацияның максимал тоғы; R_d - дифференциал қарсылық; T_KH - кернеудің темпертуралык коэффиценти, P_{max} - максимал қууатлылық. Стабилизацияның номинал тоғы төмендеги аңлатпа менен анықланады

$$I_{cm} = \frac{I_{max} - I_{min}}{2}$$

бул жерде I_{min} - пробой турақлы болып қалатуғын ен киши ток, I_{max} - стабилизацияның максимал тоғы, бул токтың мәниси шашыраудың қууатлығы менен анықланады. Номинал, максимал хәм минимал токлардың хәмде стабилизация кернеудің анықлау методикасы 8 -сүүретте көрсетилген.



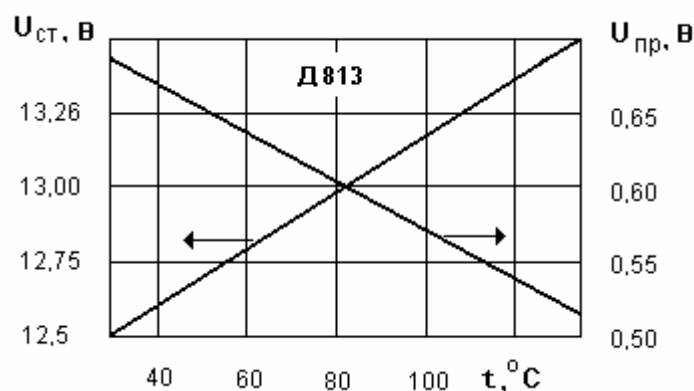
8 -сүүрет. Стабилизация кернеўдин анықланыўы.

R_d дифференциал қарсылық бул жерде пробой областдағы стабилитронның вольт - ампер характеристиканың ийилиўин характерлейди, яғный ол стабилизация дәрежесин көрсетеди. Идеал жағдайда $R_d = 0$ хәм стабилитрон арқалы өтиўши токтың өзгерислери кернеўдин өзгерислерине әкелмейди. Кернеўдин температуралық коэффициентин (КТК) температура өзгергендеги стабилизация кернеўдин өзгерисин көрсетиўши шама. ҳәлсиз легирленген ярымөткизгишлерде еркин жүриў узынлығы ток тасыўшылардың кристал решетка соқлығысыўлары менен анықланады. Температура өскен сайын, еркин жүриў узынлығы азаяды. Киши еркин жүриў узынлықларда ток тасыўшылар валент байланысларды ионизация қылыў хәм энергияға ийе болыў ушын электр майдан кернеўлиликлер р-п өтиўде жоқарырақ шамаға ийе болыў керек. Демек, пробой кернеў шамасы температура менен өседи. күшли легирленген ярымөткизгишлерде еркин жүриў узынлығы киритпелердин ионизацияланған атомлар зарядында ток тасыўшылардың шашыраўы менен анықланады. Сонлықтан, бул жерде пробой кернеўдин температуралық ғәрезлилиги биринши гезекте қадаған етилген зонаның кеңлигиниң температуралық ғәрезлилиги менен анықланады. Қадаған етилген зонаның кеңлиги температура өсиўи менен азаяды, туннеллениў итималлығы өседи хәм пробой кернеўи азаяды. Пробой кернеўдин

температуралық ғарезилиги пробой механизмди анықлаў ушын қолланылады. Стабилизация кернеўдиң температуралық коэффициентини %/град-ларда өлшенеди ҳәм төмендеги аңлатпа жәрдемінде анықланады

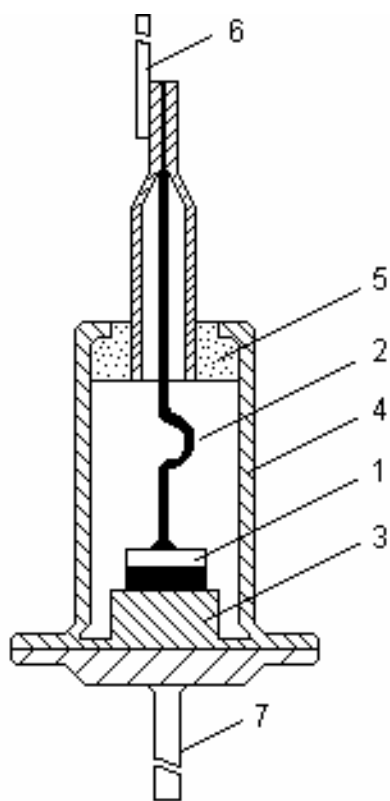
$$КТК = \frac{dU}{dT} \frac{1}{U} 100 \text{ \% / град}$$

Бул жерде U - стабилизация кернеўи; dU – температура өсиўи менен стабилизация кернеўдиң өзгериси; dT - температураның өсиўи. Стабилизация кернеўдиң температуралық өзгерислерин төмендегише усулларда компенсациялаўға болады. Биринши усулда р-п өтиўдеги кернеўдиң түсиўи температура менен сызықлы азаяды 9 -сүүрет. Егер оң кернеўдиң температуралық коэффициентине ийе болған стабилитрон кери кернеўлерде ислетилсе ҳәм оған избе-из туўры ислеўши диод қосылса, онда температура өсиўи менен стабилизация кернеўиниң өсиўи туўры кернеўлерде ислеўши диодтағы кернеўдиң түсиўи менен компенсацияланады. Бундай компенсация усылы Д813 типли стабилитронларда қолланылады. Бул стабилитронларда кери кернеўлерде ислеитуғын тийкарғы диод пенен избе-из еки туўры кернеўлерде ислеитуғын компенсациялайтуғын р-п өтиўлер қосылған. Кернеўдиң температуралық коэффициентини (КТК) усындай стабилитронларда 0.001 %/град тең болады.

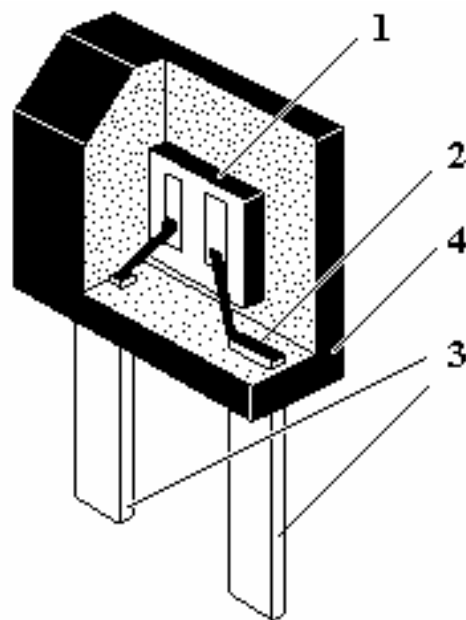


9 -сүүрет. Д 813 стабилитрон ушын стабилизация кернеў ҳәм туўры кернеўлердиң температурадан ғарезилиги.

Шашыраў қуўатлықты көтеріў хәм жыллылық режим жумысын жақсылыў ушын р-п типли ярымөткізгишли кристалл жыллылықты алып турыўшы, радиатор ролин атқарыўшы корпусың металл тийкарында орнатылады (10 -сүүрет). Бул радиаторлар алюминийден ямаса мыстан исленеди. Орталықтың қәлеген температурасында р-п өтиўдиң температурасы усы стабилитрон ушын максимал температурасынан көп болмаўы керек. 10 -сүүретте аз қуўатлыққа ийе болған стабилитрон көрсетилген. Бул жерде п- р-п өтиў кристал, бул п типли Si кристалл 0,025 –0,12 ом·см қарсыллыққа ийе, w- ишки вывод, e- радиатор, г- герметизацияланған корпус, t- айна изолятор, 6-7 – сыртқы выводлар. Д808, Д813, Д814, Д818 хәм басқалар усындай конструкцияға ийе болады. Кейинги ўақытларда стабилитронларды ислегенде оксид айна хәм пластмассалар герметизация ушын қолланылып келмекте.



10 -сүүрет. Металл герметизацияланған стабилитрон.



11 -сүүрет. Пластмасса герметизацияланған стабилитрон.

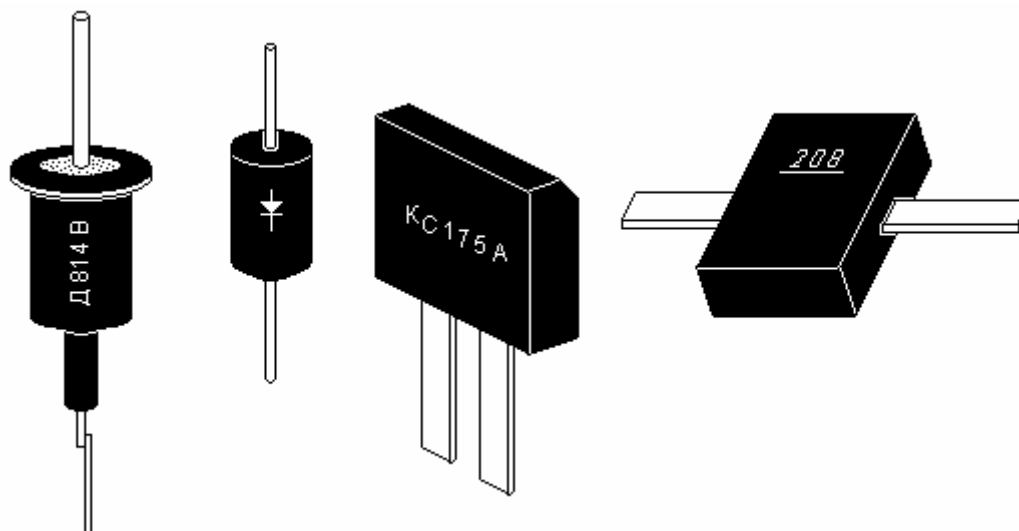
11-сүўретте пластмасс корпусқа ийе болған стабилитрон көрсетилген. Бул жерде 1- кристал, 2- ишки выводлар, 3- сыртқы выводлар, 4- пластмасс корпус. (КС175 стабилитронлар).

Ең жоқары жумыс температурасы ретинде көп кремний стабилитронларда 120°C температура болады. Жумыс ислейтуғын температуралар диапазоны $-50: 100^{\circ}\text{C}$ болады. Кең зоналы ярымөткизгишлер тийкарында (GaP, GaAs) ислейтуғын стабилитронлар $250: 300^{\circ}\text{C}$ температураларда ислейди.

3 кестеде аз қуўатлы стабилитронлардың тийкарғы характеристикалары келтирилген (Si, Ge):

Стабилитрон типи	U ст, В	I max, мА	I min, мА	Rд, Ом	ТКН, %/ град	Pmax, мВт
Д808	7-8,5	33	1	6	+ 0,07	280
Д811	10-12	23	2	15	+ 0,06	280
Д813	11,5-14	20	1	18	+ 0,1	280
Д814 А	7-8,5	40	2	6	+0,07	340
Д814 Б	8-9,5	36	1	10	+0,08	340
Д814Д	11,5-14	24	2	18	+0,095	340
КС13қа	3,3	хә	3	65	-0,1	300
КС139А	3,9	70	3	60	-0,12	300
КС147А	4,7	58	3	56	-0,08	300
КС156А	5,6	55	3	46	-0,05	300
КС168А	6,8	45	3	28	+0,06	300
КС175А	7,5	18	3	20	+0,06	300
КС175Ж	7,5	17	3	16	+0,04	150
КС182А	8,2	15	4	14	+0,07	125
КС191А	9,1	15	3	18	+0,08	150
КС210Б	10,0	14	3	22	+0,07	150
КС212Ж	10,8	12	0,5	13	+0,09	125

12 -сүўретте ең кең қолланатуғын аз қуўатлы стабилитронлардың сыртқы көринислери көрсетилген.

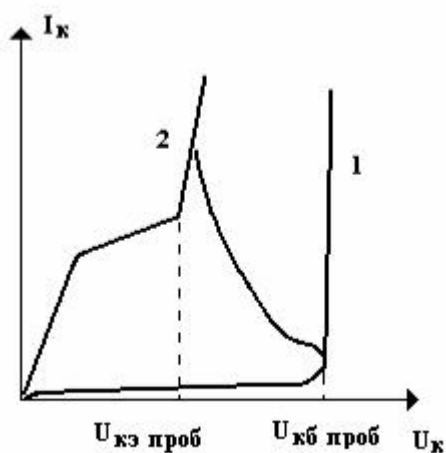


12-сүрөт. Бир нече стабилитронлардың түрі.

1.2 Кремний тийкарында исленген транзисторлардың түрлери хэм микроэлектроникада қолланылыұы

Лавинлы транзисторлар.

Лавинлы транзисторлар өзиниң структурасы бойынша әдеттеги биполяр транзисторлардан хеш ажыралмайды. Бирақ, лавинлы транзисторлардың вольт - ампер характеристикасы әдеттеги транзисторлардың вольт- ампер характеристикаларынан парық қылады, себеби лавинлы транзистордың коллектор өтиұи лавинлы пробойға сәйкес келиұши кернеұлерде ислейди.



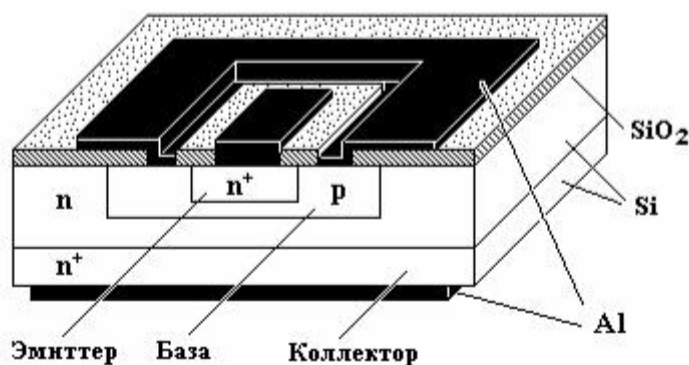
Жоқарыда көрсетилгениндей р-п өтиұде блкен кери кернеұлер болғанда ток тасыұшылар кристал решетка атомларын урып ионизацияға (ударная ионизация) жететуғын энергияға ийе болады. Усы менен бирге генерацияланған ток тасыұшылар коллектор токты көбейтеди. Бул ток базадан коллекторға бағытланған геұекшелердиң тоғы хэм коллектордан базаға өтиұши электронлар ағымынан

13-сүрөт. Лавинлы транзистордың шығыс вольт-ампер характеристикалары.

ибарат болады. Базадан геўекшелердің кетиўи хәм оған электронлардың келиўи база областында терис зарядтың пайда болыўына әкеледи. Бул эмиттер өтиўдің потенциал барьердің кемейиўине әкеледи. Соның менен бирге база-эмиттер өтиў тоғының өсиўине хәм коллектор токтың көбейиўине әкеледи. Өширилген эмиттер жағдайда барлық коллекторлық ток кери кернеў тәсири астында турған коллектордың р-п өтиў хәм база арқалы өтеди. Кери кернеў тәсири астында турған өтиўдың қарсылығы үлкен болады, сонлықтан лавинлы транзистордың вольт- ампер характеристикасы кери кернеў тәсир астында турған өтиўдың характеристикасына ұқсас болады (13-сүўрет 1 ғәрезлилик, басланғыш стадия). Коллекторлик кернеўди $0 < U_k < U_{кб.проб}$ диапазонда көбейткенде, транзистор арқалы өтиўши ток көп емес өседи. U_k коллекторлик кернеўди $U_{кб.проб}$ шекем көбейткенде коллекторлық өтиўдің лавинлы пробой қубылысы хәм токтың тез пәт пенен өсиўи басланады (13-сүўрет, ғәрезлилик 1, вертикал участка). Токтың өсиўи менен эмиттер өтиўдің қарсылығы азаяды хәм транзистордың вольт - ампер характеристикасы (ғәрезлилик 2) 13-сүўретте келтирилген иймек түрин алады. Өширилген база жағдайда барлық ток эмиттер өтиў арқалы өтеди. Лавинлы пробой участкада коллектор токтың өсиўи (приращение) эмиттер токтың өсиўинен көп болады. Яғный базадан коллекторға геўекшелердің тоғы хәм коллектордан базаға электронлар токлардың қосындысы эмиттерден базаға өтиўши геўекшелердің тоғынан көп болады. Усындай токлардың қатнасығы транзистордың базасы терис хәм коллектордың оң зарядланыўына әкеледи. Коллектордың оң зарядының көбейиўи коллекторлық кернеўдің азайыўына әкеледи. Коллекторлық кернеўдің азайыўы токтың өсиўи менен транзистордың вольт- ампер характеристикасында терис дифференциал қарсылық участкасына әкеледи.

Қуўатлы биполяр транзисторлар.

Қуўатлы транзисторлар деп шашыраўдың шекленген қуўатлығы 1Вт дан көп болған транзисторларға айтамыз. Бул жерде 1 ден 10 Вт қа шекем транзисторлар орташа қуўатлықтағы транзисторлар деп аталады, ал булардан көбирек шамаға ийе болған транзисторлар блкен қуўатлықтағы транзисторлар деп аталады. Қуўатлы транзисторларда шашыратыўшы қуўатлықтың өсиўи менен р-п өтиўлердиң температурасы өседи. Үлкен температураларда транзистор бузылады. Соңлықтан қуўатлы транзисторларды конструкциялағанда транзистордың кристалынан жыллылық қашыртыўының жақсылаўына бағытланған хәр қыйлы әмеллер қолланылады. Заманагөй қуўатлы биполяр транзисторлар - бул тийқарынан электронлы типтеги кремний тийқарында исленген п-р-п транзисторлар. Қуўатлы транзисторлар вертикал шөлкемлестирниўге (организацияға) ийе болады, яғный эмиттер хәм база выводлар пластинаның жоқарғы бөлегинде жайласады, ал коллектордың выводы оның төменги бөлегинде жайласады. Қуўатлы биполяр транзистордың типикалык структурасы 14-сүүретте көрсетилген.

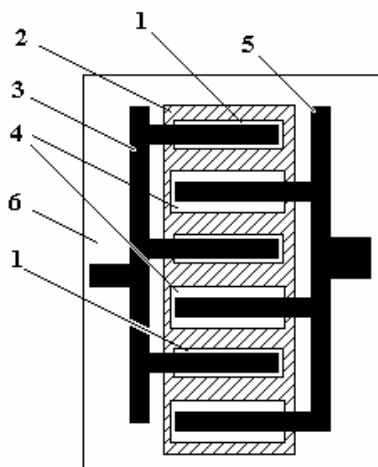


14-сүүрет. Қуўатлы биполяр транзистордың вертикал структурасы.

Усындай структура база областы киши қалыңлықта ислениўи мүмкин. Бул транзистордың жумысшы характеристикалары базаның ток өткерийү коэффициентиниң көтерилийүи сыяқлы болады. Және, коллектордың вертикал жайласыўы жақсы жыллылық қашыртыўды тәмийинлеп береди хәм бул жыллылық процессти жақсылайды. Эмиттер токтың блкен

тығызлықтарында қуатты транзисторларда база тоғы хәм көбейеди. База токтың көбейиуи база қарсылықтағы кернеудің түсиуиниң өсиуине алып келеди. Пайда болған электр майдан эмиттердің орайлық бөлегинен оның периферияларына бағытланған болады. Бул майдан коллекторда қозғалып атырған тийқарғы емес ток тасыушылардың ағымын эмиттердің сыртына қысып шығарады. үлкен ток тығызлықларда қысып шығарыу эффекти сыяқлы, эффектив түрде тек эмиттердің сыртқы областы ислейди. Бул сыртқы областының майданы эмиттердің ҳакыйкый майданынан анағурлым аз болады.

Қысып шығарыу эффекти сыяқлы қуатты транзисторлардың жұмыс характеристикаларын жақсылау ушын берілген эмиттер майдан ушын эмиттерлеуши областының калай болса да көп майданын алыу зәрур. Жәнеде, эмиттерден база электродқа шекемги қашықтықты азайтыу керек болады. Бул шәртлер транзисторлардың арнаулы конструкцияларында орынланады. Усыған мысал ретинде кекилли **(гребенчатый)** структураға ийе болған транзисторлар бола алады. Усындай транзисторларда эмиттер хәм база бир неше участкалар түринде исленеди. Бул участкалар бир биринен базы бир қашықтықта жайласады хәм улыума контакт бенен бириктириледі. 15-сүүретте кекилли структураға ийе болған биполяр транзистордың конфигурациясы көрсетилген. Бул жерде 1- базалық областлар, 2- коллектордың улыума катламы, 3- база областының алюминий металлизациясының улыума шинасы, 4- эмиттер областлар, 6- ярымөткізгішли подложка.

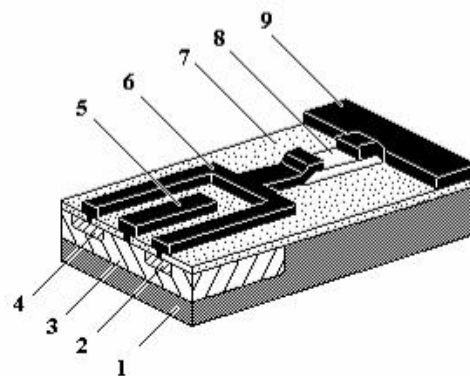


**15-сүрөт. Кекилли
структураға ийе болған
биполяр транзистор.**

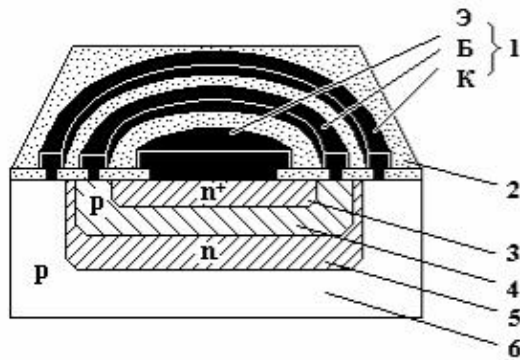
инжекциясына алып келеди хәм бул усы эмиттерли өтиўдин вольт-амперли характеристикасына тәсир жасайды. Буннан қутылыў ушын транзистор структурасына хәр бир эмиттер менен избе-из жайласқан стабилизация қылыўшы резисторлар киритиледи. Егер қәлеген эмиттер арқалы ток өсетуғын болса, онда усы эмиттерге избе-из жайласқан резисторда кернеўдин түсиўи өседи. Усындай өсиў эмиттерли өтиўдеги туўры кернеўдин азайыўына хәм оннан өтиўши токтын шеклениўине алып келеди.

Кекилли структураға ийе болған транзисторларда эмиттердин бөлек областлар арасындағы токтын бөлистирилиўи бир тексиз болыўы мүмкин. Бул төмендегише түсиндириледи. Егер эмиттерлердин бири басқа эмиттерлерге салыстырғанда көбирек токты инжекцияласа, онда ярымөткизгишли кристалл усы эмиттердин қасында күшлирек ысып баслайды. Температураның көбейиўи ток тасыўшылардың көбирек

16-сүретте метал стабилизация қылыўшы резисторға ийе болған транзистор структурасының элементи көрсетилген. Бул жерде 1- подложка, 2, 4 – эмиттердің бөлек областлары, е - база областы, 5- базаның метал (алюминий) выводы, 6- эмиттердің выводы, 7- диэлектрикли қорғаўшы төсек (ең қолланатуғын SiO_2), 8- стабилизация қылыўшы резистор, 9 - улыўма эмиттерлик шина. Куўатлы транзисторлардың базалық хәм эмиттерлик қатламларының бир бирине карата өз-ара жайласыўының хәр қыйлы вариантлары бар. Барлық бул конструкцияларда ең блкен шашыратыўшы куўатлықты алыў ушын эмиттер периметриниң оның майданына қатнасы хәм усы периметрдің база майданына қатнасы максимал көп болыўы керек. 17-сүретте мысал ретинде дөңгелек электродларға ийе болған куўатлы транзистордың конструкциясы берилген. Бул жерде 1- эмиттердің (Э), базаның (Б) хәм коллектордың (К) алюминийден исленген электродлары, 2- қорғаўшы диэлектрик төсек, 3-



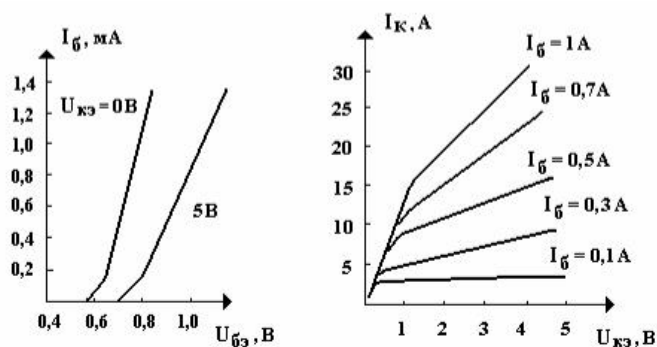
16-сүрет. Стабилизация қылыўшы метал резисторға ийе болған биполяр транзистор структурасының элементи.



17-сүүрет. Дөңгелек электродларға ийе болған биполяр транзистордың структурасы.

n^+ - эмиттердің эмиттерлик областы, 4- базалық p- область, 5 - эмиттерлик n область, 6 - p типли подложка. Базы бир жағдайларда қуўатлы транзисторларды ислегенде p типли ярымөткизгигишли подложкаларда қолланылады. 18-сүүретте КТ935А қуўатлы биполяр транзистордың кирис

хәм шығыс вольт - ампер характеристикалары хәм оның тийқарғы максимал шекленген эксплуатациялык параметрлеры көрсетилген



18-сүүрет. КТ935А транзистордың кирис хәм шығыс вольт- ампер характеристикалары.

КТ935А транзистордың максимал шекленген параметрлери.

Коллектордың турақлы тоғы	25 А
Базаның турақлы тоғы	10 А
Коллектордың импульс тоғы	30 А
Базаның импульс тоғы	15 А
Эмиттер-база турақлы кернеуі	5 В
Эмиттер-база импульс кернеуі	6 В
Коллектор-эмиттер турақлы кернеуі	80 В
Коллектор-эмиттер импульс кернеуі	100 В
Коллектордың турақлы қуыатлығы	60 Вт
өтиўлердиң максимал температурасы	150°C

4-кесте ҳәр қыйлы мәмлекетлер тәрәпинен исленип шығарылып атырған қуыатлы биполяр транзисторлардың салыстырмалы параметрлери көрсетилген.

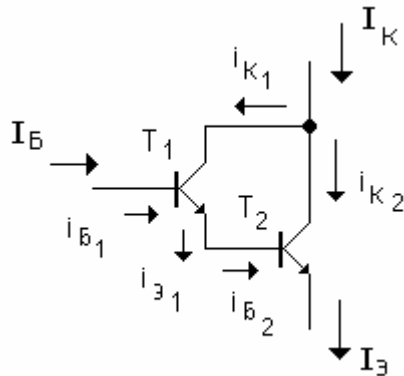
4-кесте

Тип	Аналог	P _{max} (Вт)	U _{кб max} (В)	I _{к max} пост. (А)	I _{к max} имп. (А)	h _{21 э}
КТ8259Б	МЈЕ3008	70	700	8	15	60
КТ8260Б	МЈЕ3009	90	600	12	24	65

қуыатлы, жоқары волтлы транзисторлардың кемшилиги - бул олардың киши ток өткерий коэффиценти болып есапланады. Бул кемшиликтен қутылыў ушын қуыатлы, жоқары волтлы транзисторларды конструкциялағанда Дарлингтон схемада қосылған транзисторлар қолланылады. Усындай өзгешеликке ийе болған транзисторды

қарастырамыз 19-сұйрет. УЭ схемада қосылған транзистордың ток бойынша күшейіуінің коэффициенті төмендегіше анықланыуы мүмкін

$$B = \frac{I_K}{I_B}$$



19-сұйрет. Дарлингтон схемада транзисторлардың қосылуы.

Токлар көрсетілген.

Сәйкес түрде Дарлингтон схемаға кириуіші хәр бир транзистор ушын коллекторлық токлар болады:

$$I_{K1} = B_1 \cdot I_{B1} \quad I_{K2} = B_2 \cdot I_{B2}$$

Барлық схеманың толық коллекторлық тоғы хәр бир транзисторлардың коллекторлық токларының қосындысына тең болғанлықтан $I_K = I_{K1} + I_{K2}$ хәм биринши транзистордың эмиттерлік тоғы шамасы екинши транзистордың

базалық тоғына тең болатуғынын есапқа алып, яғнай $I_{B2} = I_{E1}$, коллектордың толық тоғы төмендегіше болады

$$I_K = B_1 \cdot I_B + B_2 (B_1 + 1) I_B$$

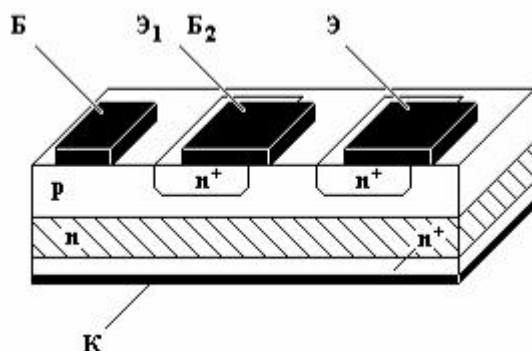
Енди, ток бойынша күшейіуінің коэффициенті түсинигин қолланып табамыз

$$B = B_1 + B_2 + B_1 \cdot B_2$$

Бул келтирилген аңлатпадан көринип турғанындай, Дарлингтон схемада қосылған транзисторлардың ток бойынша күшейіуінің коэффициенті хәр бир транзистордың күшейіуі коэффициентінен көп болады. 20-сұйретте бир ярымөткізгішли подложкада таярланған Дарлингтон схемада қосылған транзисторлардың структурасы берілген.

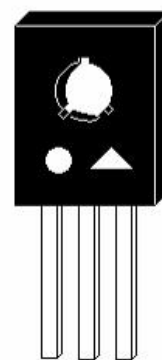
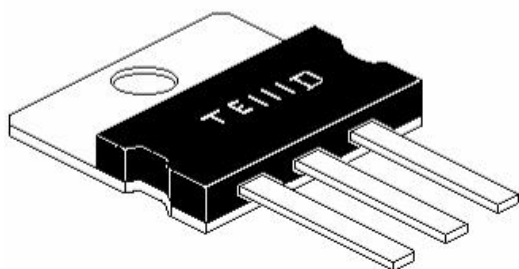
Қууатлы биполяр транзисторлардың жийиликли характеристикаларын жақсылау ушын коллектор-база р-п өтиудің майданын азайту керек, ал жыллылық режимди жақсылау ушын оны

көбейтиу керек. Усы еки бир бирине қарама қарсы мәселелерди шешиу ушын бир кристалда исленген избе-из қосылған киши қууатлы транзисторлар жыйындысы қууатлы транзисторларды береді. Мысал ретінде, бир заманогей қууатлы транзистор ушын жоқ арыдағы технология бойынша қолланыу нәтийжесінде 4,5 ке 6,65 мм өлшемлерге ийе болған кремний кристаллары қолланылды. Бул кристалда өлшемлери 1,25 ге 0,24 мм болған 24 базалық областлар жайласады. хәр бир усындай областқа кеңлиги 12 мкм хәм узынлығы 220 мкм болған 40 эмиттерлер жайласады. Еки қоңсылас эмиттер арасындағы қашықлық 18 мкм тең. Кристалдың улыума майданы 30 мм^2 төрт есе коллекторлық өтиулердин суммар майданынан көп болады ($7,2 \text{ мм}^2$), бул кристалдың киши жыллылық қарсылығын хәм жақсы жыллылық алып қашыуды тамийинлеп береді. Усындай транзистордың шекленген коллекторлық кернеуи 100В тең, коллекторлық максимал ток 50А хәм максимал шашыратыушы қууатлық болады 200Вт.



**20-сүүрет. Бир подложкада
Дарлингтон схемада
таярланған
транзисторлардың
конструкциясы.**

21-сүүрет. Базы бир қууатлы биполяр транзисторлардың сыртқы көринислери.



р-п өтиўге ийе болған майданлы фототранзистор

Р-п өтиўге ийе болған майданлы транзистор блкен сезгирликке ийе болған жақтылық қабыллағыш сыпатында қолланылыўы мүмкин. Усы жағдайды қарастырамыз.

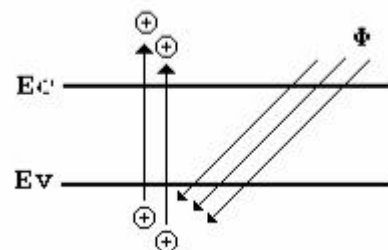
Ярымөткізгишке фотонлар энергиясы қадаған етилген зона енинен көп болған жақтылық пенен тәсир еткенде, ярымөткізгиште электрон-геўекшели жубайлардың генерациясы пайда болады (22-сүўрет). Жақтылық пенен

козған электронлар валент зонадан өткізгишлилик зонаға өткериледи хәм бул еркин электронлар санын көбейтеди- Δn . Валент зонада еркин геўекшелер көбейеди - Δp . Еркин ток тасыўшылардың санының өзгериўи ярымөткізгиштиң толық электрөткізгишлилигин σ көбейтеди.

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

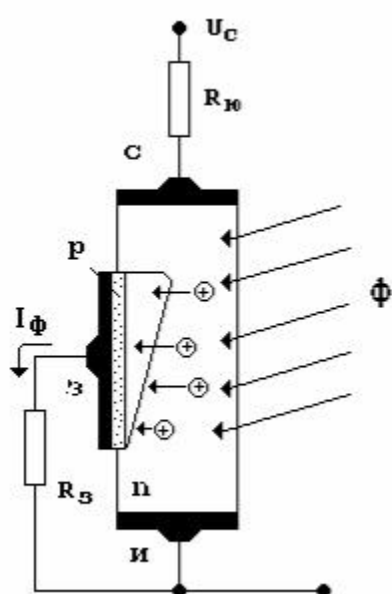
бул жерде n , p - жақтылық жоқ болғандағы электрон хәм геўекшелердің концентрациялары.

Егер ярымөткізгиште электр майдан бар болса, онда фотогенерацияланған ток тасыўшылар айырылады хәм усы майданда қарама қарсы таманларға дрейфлейди. Жақтылық қабыллағыш ретинде майдан транзистордың қолланылыўы 23-сүўретте көрсетилген.



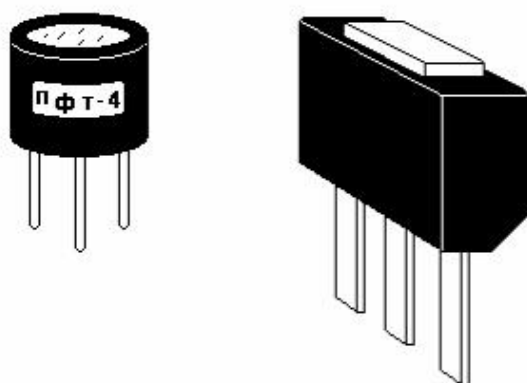
22-сүўрет.

Ярымөткізгиштеги ток тасыўшылардың фотогенерациясы.



23-сүўрет. Майданлы фототранзистор.

Ток өткізіуші каналды жақтылық пенен тәсир еткенде электрон-геуекше жубайлардың генерациясы пайда болады. Кери кернеу тәсир астында турған затвор р-п өтиудің электр майданы генерацияланған ток тасыушыларды айырады. Геуекшелер ярымөткізгіштің р областына өтеди хәм затвор шынжырында dI_{ϕ} фототокты пайда етеди. Электронлар транзистордың сток таманына кетеди. Еске салып өтсек, транзистор канал арқалы ток өткенде, затвордың р-п өтиуі затвор хәм исток арасында кернеу тусирилмегенде хәм кери кернеу тәсири астында болады. Фототок затвордың сыртқы қарсылығы R_3 арқалы өткенде усы затворда $dU_3 = dI_{\phi} R_3$ кернеу түсиуін пайда етеди. Затвордағы кернеудің түсиуі канал арқалы өтиуші токтың өзгериуіне алып келеди. Демек, транзистордың сток тоғы $dI_c = S dI_{\phi} R_3$ тең болған шамаға өзгереді. Усы менен бирге фототок $S R_3$ рет көбейеди. Сондай есе майдан фототранзистордың сезгирлиги фотодиодтың сезгирлигинен көп болады. Сыртқы кернеуді көтерип майдан фототранзистордың сезгирлигин көтериуге болады. Бирақ, усы менен бирге затвордың уақыт турақлысы $\tau = R_3 C_{зи}$ көбейеди, яғный бул транзистордың тез ислеуі азаяды. 24-сүүретте майдан фототранзисторлардың сыртқы кориниси берилген.



**24-сүүрет. Хәр қыйлы
корпусларда исленген
майданлы
фототранзисторлардың
сыртқы көриниси.**

II БАП. ЭКСПЕРИМЕНТ МЕТОДИКАСЫ.

2.1. «МОДУЛЬ -2» модуляциялық дифференциаллау методикасы

Ярым өткізгіштің зоналық структурасының айрықшалығы вольт-амперлік характеристикадағы сызықты емесліктерді үйреніу ярым өткізгіштің зоналық структурасы хәм заряд тасыушылардың тәсиріндегі қызыу процесслери хаққында бақалы мағлыуатларды алыуға мүмкіншилик береді. Бирақ хәтте салыстырмалы жоқары майданларда вольт-амперлік характеристиканың көрсетілген сызықты емесліклери хәлсиз ажыралады. Буннан тысқары, бундай сызықты емесліклер параметрлериниң жийиликли ғәрезлиликлери үлкен қызығыушылық туудырады. Бундай изертлеу ушын тийкарынан хәр қыйлы модуляциялық методлар, мысалы екінши, үшінши гармоникалы өлшеу, гармониканың ауысыуы, синхронлы детекторлау қолланылады. Бул методлардың бәриниң мазмунында вольт-амперлік характеристиканы дифференциялауға алып келді. [3] Көпшилик жағдайларда ярым өткізгішлерді изертлеуде экспотенциал участкалар параметрлерин анықлау зәрүр. Бул экспонентаның көрсеткишине пропорционал болған характеристикалары бойынша модуляциялық дифференциялау методы арқалы аңсат әмелге асырылады.

$(I/I) (U) : (I_0/I) (U)$ хәм $I (U)$ характеристикалары улыуымалық түрге ийе, оның ярымөткізгішлер физикасында ушырасатуғын бөлеги:

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

$$\varphi(U)U(U)d\varphi/dU=(I''/I'-I'/I)_n+1$$

функциясын изертлеу жәрдемінде анализлениуи мүмкин. Бул изертлеулер модуляциялық методлар жәрдемінде әмелге асырылады.

Модуляциялық дифференциялау методы қадаған етилген зонадағы қәддилерді, характерлік жоғалтыулар хәм сол бойынша бетлик қатламдағы

қосымталар болыуын хәм ярымөткізгіштің зоналық структурасының айрықшалықтарын анықлауға мүмкіншілік береді.

Ярым өткізгішли диодлардың киши локал сызықлы емесліклерін анықлаудың сезгір методы модуляциялық дифференциялау болып табылады. Вольт-амперлік характеристикада бундай сызықлы емесліклердің болыуы ток өтіу механизмлерінің алмасыуы, локал ток өтіуші участкаларының қосылуы (МП), ток өтіудің бір теклигінің бузылуын билдіріуі мүмкін. Сонлықтан вольт амперлік характеристиканың сызықлы емесліклерін есапқа алу деградация процесслердің мүмкіншіліктері хәм тезлігі хақында жуымақ шығаруға, яғнай вольт-амперлік характеристиканың пробой участкасында ісleyтуын диодлардың ісенімлілігін анықлауға мүмкіншілік береді.

Метод идеясы диод арқалы өтіуші I_{nw} тоғи гармоникасын диодқа U_0 ауысыу кернеуі менен бірлікте ізбе-із модификациялаушы жарғы тис тәрізлі сигнал берілгенде анықлаудан ібарат. Егер $U_\infty \ll U_0$ болса, онда $I_0(U_0)$ бірінші гармоника амплитудасы $\partial I / (\partial U / U_0)$ бірінші туындыға пропорциональ, екінші амплитудасы I_{27} вольт-амперлік характеристиканың екінші туындысына пропорциональ. Бул туындылар модуляциясыз өлшенген туыры вольт-амперлік характеристикадан алынуы да мүмкін еді. Бірақ ловинлі пробойды үйреніуде бул хәр бір микроплазманың қосылуында жоқарылап баратуын шауқымның хәдден тыс жоқары қәддиде болыуы себеплі қыйын мәселе болып табылады хәм тек ғана модуляциялық метод бул мәселені шешіуге мүмкіншілік береді.

Микроплазмалық пробойды модуляциялық ізертлеу үшін қолланылатуын электролық схема 6-сүўретте көрсетілген. Ол ізбе-із тутастырылған, барлығы бірге сигнал дерегі блогин пайда ететуын развертка генераторы $(U_0(+)-1)$, тұрақлы ауысыу дерегі U_0-2 , іс жийілігінің модуляциясының генераторы 3 тен турады U_0 мәнісі U_0 пробой кернеуіне жақын орнатылуы мүмкін хәм соңынан микроплазмалардың дифференциал иймекліклерін хәм вольт-амперлік

характеристикасын алыў ушын U_0 киши интервалда толқынлы түрде жайылады. Бунда ΔU еки кординаталы «Самоцисең»-8 диң X координатасын басқарыў ушын қолланылады.

Ток үлгиси жер менен сигнал дерегиниң шығыўы арасында өлшенетуғын үлгидеги кернеўде минимал қәтеликке ийе болатуғын 4-операцион көрсеткиш пенен өлшенеди. Операцион көрсеткиштиң шығыў сигналы статикалық вольт-амперлик характеристиканы дүзиў ушын қолланыў мүмкин ямаса синхронлы детектор -5 жәрдемінде қайта ислеўден соң дифференциал ғәрезлилик дүзиў ушын қолланылады. Биринши туўынды өлшенетуғын жағдайда аўысыў кернеўи жийиликти көбейткиште 6 түрлендирилген еки еселенген жийиликтеги U_2 сигнал менен модуляцияланады $U_{2\infty}$ еки жағдайда да сигнал сыпатында қолланылады.

Развертка кернеўи X самописең кернеўине барады. Кернеўдиң киши модуляциялық мәниси микроплазмалық шаўқымның статистикалық қәсийетлерине күшли тәсир етеди.

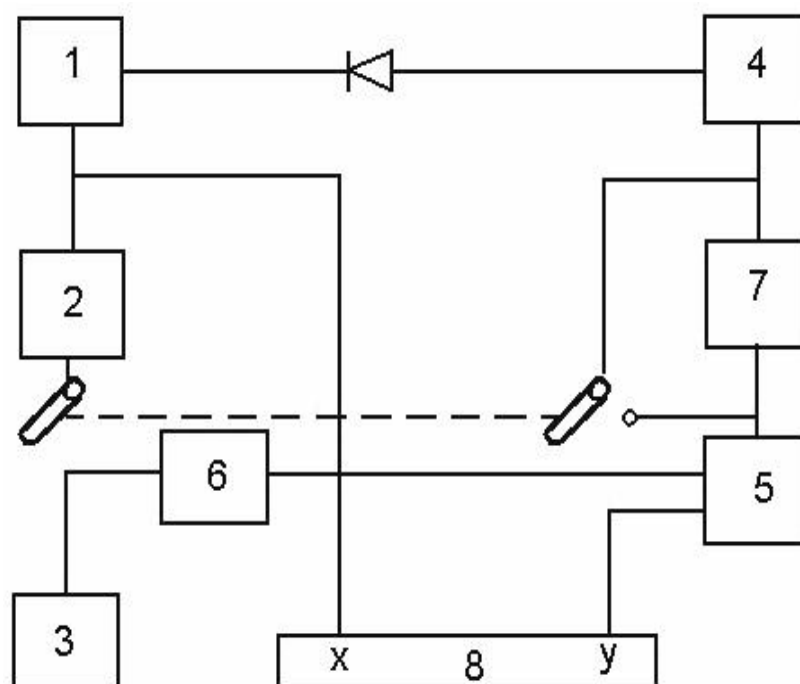
Вольт-амперлик характеристиканың екинши туўындысының графиги хәр бир жаңа микроплазманың қосылыўына сәйкес келетуғын ушқыр «пик»лерден турады. Бул «пик»лердиң санын үлгидеги микроплазмалардың толық жыйнағы анықлайды. I_{27} шығыў сигналы диодтың микроплазма менен байланыспаған дифференциал қарсылығы болыў себебинен қосымша жарғы тис тәризли сигналдан турады. Бул сигнал 16 функциясы болып ол микроплазмалық «пик»лердиң аңсат ажыратлыған болыўы мүмкин.

Солай етип модуляциялық метод микроплазмалардың қосылыўында кернеўди хәм олардың санын анықлаўға хәм хәр бир бөлек микроплазмаға сәйкес келетуғын ток басқышлары хәм өткизгишлилигин анықлаўға мүмкиншилик береді. Микроплазмалық пробой диодтың бираз дефектли точкаларында болатуғынлығы себепли микроплазмалар саны хәм пробойдың дифференция иймекликлериниң улыўма формасы диодтың жумыс областының дефекттилигин характерлейди. Бул тийкарда бираз қызған микроплазмаларды бөлип шығарыўға, олардың температурасын хәм

деградация интенсивлигин бахалау мүмкин болғанлықтан бул мағлаўматларды диод исенимлигин хәм сапасын болжау ушын қолланыўға болады.

Туўынды вольт-амперлик характеристикаларды анықлау методы диодта пробойдың хәр қыйлы кернеўине ийе областларды анықлауға мүмкиншилик береді. Хәр бир бундай областқа $\partial^2 I / \partial u^2 (V_0)$ ғәрезлилиндеги максимумлар хәм $d I / du (V_0)$ ғәрезлилиндеги басқышлар сәйкес.

Усы характеристикалары бойынша пробой бир текли емеслигин жұмыс режиміндеги ең қызғын областтың температурасын бахалауға болады хәм потенциал исенимлі емес болған диодларды ажыратыўға мүмкиншилик береді.



25-сүүрет. Микроплазмалық пробойды модуляциялық изертлеу ушын қолланылатуғын схема

2.2. Деградацияға себепши параметрлерди анықлаў методы

Биз бул параграфта электрлик характеристикасының дифференциаллаў методының жаңа илимий информация алыўға мүмкиншилик беретугыны ҳаққында қысқаша тоқтап өтемиз.

Ярымөткизгишли диодлардың характеристикалары Ом нызамының бузылыўына ҳәм вольт-амперлик характеристикада сызықлы емесликлердің пайда болыўына алып келеди. Усы сызықлы емесликлерди үйрениў ярымөткизгиштин зоналық структурасы ҳәм ток тасыўшылардың қыздырыў процесси ҳаққында баҳалы информациялар алыўға мүмкиншилик береді. Бирақ салыстырмалы жоқары майданларда вольт-амперлик характеристиканың көрсетилген сызықлы емес областлары ҳәлсиз айырылып турады.

Усыған уқсас изертлеўлерде тийкарынан ҳәр қыйлы модуляциялық методлар қолланылады (екинши ҳәм үшінши гармоник, гармоник араласыўы, синхронлы детекторлаў). Бул методлардың барлығы вольт-амперлик характеристиканы дифференциаллаўға алып келеди [7].

Илимий изертлеў жүргизгенде өлшенетуғын характеристикалар курамалы, сызықлы емес болып есапланады, және де бунда бир ўақыттың өзінде бир неше механизмлер бирликте қатнасады. Сонлықтан нәтийжеде алыўдың бир этапы-бул қандайда болмасын бир механизмін қатнасыўы болып өткен участка характеристикасын алыў болып есапланады. Бундай анализ жүдә көп мийнт талап етеди. Әдетте ол ҳәр қыйлы сызықлы емес масштабларда графиклер дүзиўге алып келеди (ярым логарифмлик, екилик логарифмлик ҳәм тағы басқалар).

Ярымөткизгишлерди изертлегенде жийи-жийи экспоненциаль участкалардың парметрлерин өлшеўге туўра келеди. Буны $(I'/I)(U)$; $(I''/I)(U)$ ҳәм $I(U)$ характеристикаларын модуляциялық дифференциаллаў методы жәрдеминде аңсат әмелге асырыўға болады (Бул характеристикалар өз гезегинде экспонента көрсеткишине пропорциональ болады). Бул

изертлеулер модуляциялық методлар жәрдеминде әмелге асырылады. Булар эксперименттің нәтижелерінің анализін әдеуір әпйұайыластырады хәм әдеуір дәлилерек етеди.

Тунельли спектраскопия хәм электрошағылысыұ қусаған ярымөткизгиш физикасының хәр қыйлы эксперименталь бөлімлерінің бир-бири менен байланысы сонда, олардағы изертленип атырған характеристикалар сызықлы емес, және де улыұма сызықлы емесліклерден тысқары үлкен емес локаллы ийилиулерге хәм характеристикаларында үзіліслерге ийе участкаларды байқауымыз мүмкин.

Бул локалдық сызықлы емесліклер участкасы физикалық тәбиятка ийе. Тунельлик спектроскопияда олар қадаған зонада рұхсат етилген қәддилердің бар болыуы менен хәм усы қәддилердің қатнасыұында қосымша ток тасыушы каналлардың пайда болыуы менен байланысқан.

Оже хәм рентгенлик спектраскопияда бул сызықлы емесліклер қоздырыушы электронлардың энергиясы шығынының болыуы менен байланыслы хәм эмиттирленген хәм шағылысқан электронлардың энергетикалық бөлістирилиуінде көринеди.

Барлық корсетілген жағдайларда характеристикаларда бир текли емесліклердің бар болыуы модуляциялық методлар жәрдеминде анықланады. Бул өлшенип атырған характеристикалардың жоқары тәртіпли тууындыларын анықлауға алып келеди.

Солай етип, модуляциялық дифференциаллау методлары қадаған зонадағы қәддилерди изертлеуге мүмкиншилик береді. Сондай-ақ характерли шығынларды хәм олар бойынша бетлик қатламдағы қосымталардың бар екенлигин хәм ярымөткизгишлердің зоналық структураларының айрықшалықларын анықлауға мүмкиншилик жаратып береді.

Соңғы жыллардағы изертлеулердің көрсетиуінше үлкен геометриялық өлшемлердеги Шоттки тосқынының вольт-амперлик характеристикасының кері шақасын тийкарынан микроплазмалар деп аталыушы киши пробой

областлары анықлайды. Әдетте бул ерте пробой (жумсақ пробой) көпшилик илимпаз изертлеушілердің пикири бойынша кристаллық решеткадағы дефектлер менен байланысly болады [8, 9].

Көпшилик изертлеушілердің нәтийжесинде микроплазмалар Шоттки тосқынында үлкен токлардың өтип кетуіне себепши болады, сондай-ақ улыўма Шоттки тосқынының пробойлық кернеуінен көп киши кернеулерде айырым-айырым микроплазмалар пайда болыуы мүмкин [10, 11]. Шоттки тосқынының прбойлық кернеуіне жақынлаған сайын жоқарыда айтып өтилген микроплазмалар арқалы белгили бир шамадағы ток өтеди. Бул ток Шоттки тосқынында қосымталардың диффузиясы болып өтетуғын хәм сәйкес әсбаптың электрлик характеристикаларының өзгериуіне алып келетуғын температурағы шекем хәмде локаллық қызыуын пайда етеди.

Шоттки тосқынының сапасын характерлеу ушын биринши микроплазманы пайда етиуши кернеу шамасын, сондай-ақ микроплазманың басқада параметрлерин анықлауымыз керек болады.

Соңғы ўақытлары микроплазмалық кубылыслардың айрықша мақсетте қолланыулары үйренилмекте. Усыларға байланысly микроплазманың параметрлерин анықлау өз алдына фундаменталлық хәм практикалық жақтан илимпазларда қызығыушылық туўдырмақта.

Айтып өтилген мәселелерди орынлау ушын микроплазмалық характериограф

деп аталыушы микроплазманың физикалық қәсийетлерди анықлайтуғын арнаўлы қурылманың эксперименталь нәтийжелернин анализлеуимиз керек. Бул микроплазмалық методтың ислеу принципи хәм блок схемасы алдыңғы параграфта қысқаша айтылып өтилген еди.

Микроплазмалық характериограф тийкарынан токлардың пульссацияланыуын хәм секириулерин пайда ететуғын микроплазманың қәсийетлерин, сонда ақ вольт-амперлик характеристиканың тиклигин өлшейди. Вольт-амперлик характеристикадағы корпуска орнатылған

ярымөткизгішліктерде, яғни таяр ярымөткизгіш аспаптарда бақылау мүмкін.

Микроплазма пайда болуы менен келип шығатуы токтың секиріктері 10-100 мкА шамасында болады, ал микроплазма арқылы кірітілген қосымша қарсылықты сипаттауы вольт-амперлік сипаттаманың өсімі 10 кОм шамасында болады.

Құрылманың әпідәйістәрілуына алып келетуы тәйқарғы факторлар төмендегілерден ібарат:

1. Микроплазманың вольт-амперлік сипаттамасы осциллограф экранында градиентіленген координаталық көшірлерде сызылады, бұл вольт-амперлік сипаттаманың берілген участкасының шамасын бақылауға мүмкіншілік береді.

2. Басланғыш утечка тогының вольт-амперлік сипаттамаға тәсір етіуін компенсациялау мүмкіншілігін береді, сондай-ақ алдын, төмен кернеулерде пайда болған микроплазма арқылы өтіуші токты компенсациялауға мүмкіншілік береді. Булар Шоттки тосқынының басқа микроплазмаларының тәсірін есепке алмағанда қалған (тек ғана бірінші емес) микроплазманың вольт-амперлік сипаттамасын қорығуға мүмкіншілік береді.

3. Микроплазманың вольт-амперлік сипаттамасының параметрлерін (микроплазманың пробойлық кернеуінің шамасын, микроплазманың тогының секирік шамасын, микроплазма қарсылығын) ізертлеудің қолайлы ілажлары қорылған. Сондай-ақ параметрлерді анықлаудың бір бөлігі тұрақты токта алып барылады, ал бұл өлшеулердің дәллігін арттырады.

Микроплазмалық сипаттамограф микроплазмалардың жеке сипаттамаларын (дифференциал қарсылығын- R_s , жұмысты іслеу режиміндегі микроплазма арқылы өтеуы токты $- \Delta I$) анықлауға мүмкіншілік береді. і-ші микроплазманың дифференциал қарсылығы вольт-амперлік сипаттаманың сызықты участкасының іймейіуі

бойынша анықланады. Егерде $R_{s1}, R_{s2}, \dots, R_{si}$ вольт-амперлик характеристиканың ізбе-із участкаларының қарсылықтары болса, онда сәйкес микроплазмалардың қарсылықтары төмендегідей болады:

$$R_{МП} = R_{si} / (R_{si} - R_{si})$$

Жұмыс іслеу режимінде микроплазма арқалы өтіуші токты вольт-амперлик характеристиканың сәйкес участкасын жұмыс іслеу кернеуіне ($U_{ж}$) шекем экстраполяциялау жолы менен анықлауға болады:

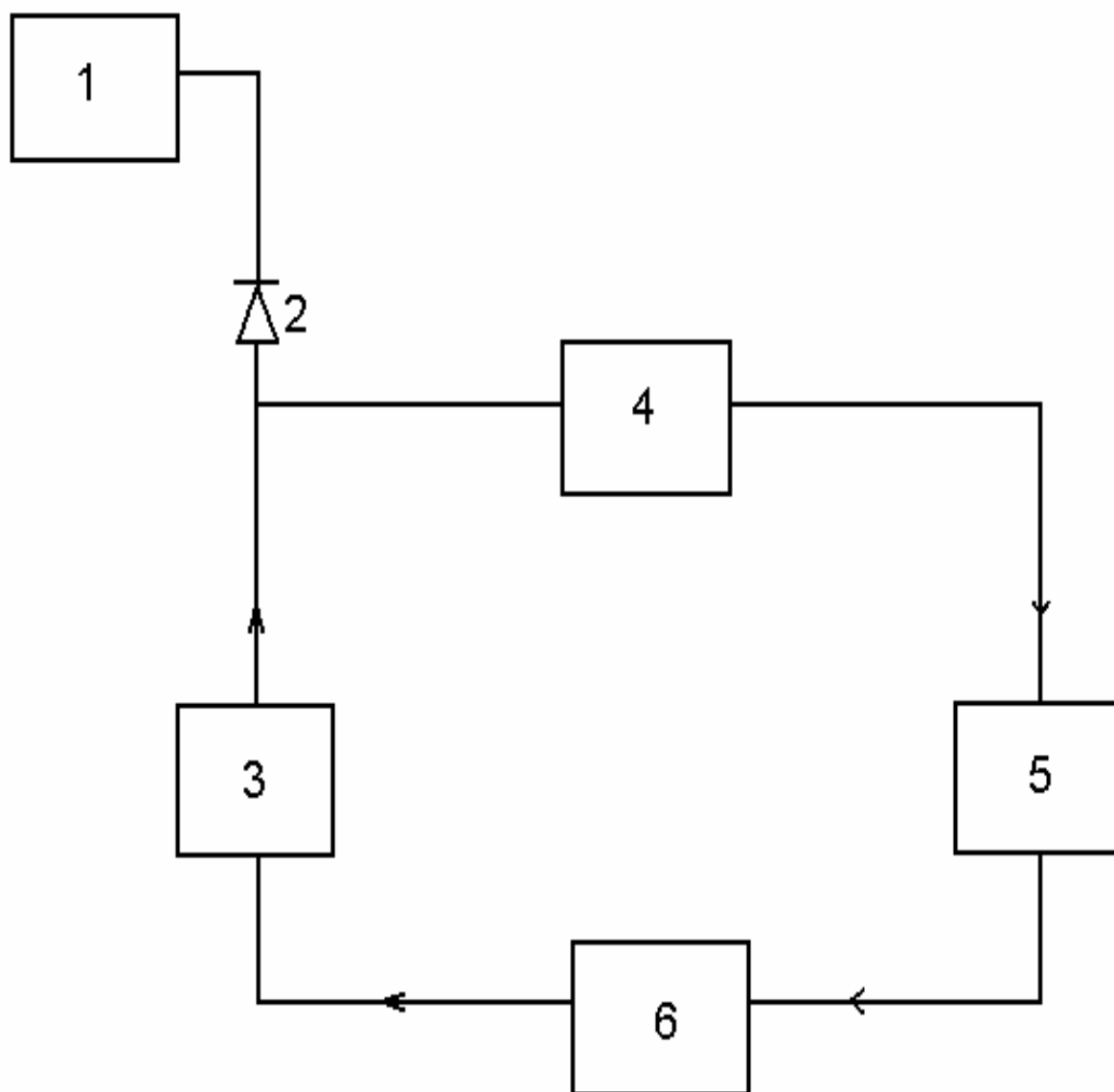
$$I_{МП} = (U_{ж} - U_{МПi}) / R_{МП}$$

Характериографтың блок-схемасы 8-сүретте көрсетілген. Ол төмендегіше істейді: тұрақты кернеу дерегі 1-ден 2-ге кернеу беріледі. Сондай-ақ диодқа жарғы тис тәрізлі ток генераторы 3-ден жиілігі $f_{қайт}$ болған жарғы тис тәрізлі ток импульстары беріледі, ол осциллографтың шығуы точки менен синхронланған болады. Диодтағы кернеу шығуы қарсылығы жоқары болған хәм аз сыйымлылыққа ие болған кең полосалы күшейткіш 4 жәрдемінде күшейтіледі. Соны усы сигнал $f_{қайт} > 20$ жиілікте амплитудалы жиіликли характеристикасын күшейтетуғын күшейткіш 5-ге барады. Усы ўақытта осциллограф 6 экранда R_{si} вольт-амперлик характеристиканың участкалары сүрөтленеді: ўақыт кошері (абцисса) ұлгі 2 арқалы өтетуғын токқа сәйкес келеді, ал координата ұлгідегі кернеуіге сәйкес келеді. Амплитудалы жиіликли характеристиканың $f > 20_{қайт}$ жиілігінде жоқарылауы вольт-амперлик характеристикаға тәсир етпейді, бірақ жоқары жиіликли кернеу қураушылары бар жерлерде, яғный микроплазмалардың қосылуы орынларында вольт-амперлик характеристикада жайылулардың пайда болуына алып келеді.

Жоқарыда айтып өтілген характероиграф тек ғана микроплазма характеристикаларын өлшеп қоймастан микроплазмалардың бар екенлігін хәм диодлардың вольт-амперлик характеристикасын оператив қадағалап барады, ал микроплазмалардың характеристикалары арасындағы корреляцияны есапқа ала отырып, ұлгілердің сапасы, ісенімлілігін хәм де

пробой участкасында ислеўши, мысалы, лавинли-пролетлы диодлардың узак ислеўшилигинде болжап бере алады.

Сондай ақ бул методтың басқа методлардан және бир утымлы тәрепи, яғный егер биз осцилографта көрген микроплазмаларымыз сол прибордың актив областындағы дефектлер менен байланыслы деп есапласақ, онда сыртқы тәсирлердің нәтийжесинде анығырыгы базы бир оптималь режимлерде (радиацияның дозасы, күшли майданлардың ушлап турған ўақыты х.т.б) микроплазмалар саны азаяды. Ал бул өз нәўбетинде логикалық жақтан анализ жүргизгенимизде микроплазмалар санының азаяўы сол прибордың актив областында дефектлердің қозғалысқа келип сол актив областтан шығып кетиўи деген пикирге алып келеди. Себеби көпшилик илимпаз изертелўшилердің (усы тараўда көп мийнетлери бар) пикири бойынша егер биз термогенерацион токтың үлкен болыўын пробой участкасындағы жумсақ пробойдың (микроплазманың) пайда болыўы менен байланыстырақ онда микроплазманың санының азаяўы хәмде токтың сезилерли дәрежеде әдеўир төмен түсиўи бир бирине тиккелей байланыслы процесс. Егерде ондай жағдайда биз хәр бир микроплазмаға бир дефектен сәйкес келеди десек онда микроплазманың азайыўы булл сол прибордың жумысшы областынан дефектлердің зыянсыз областқа кетиўи деп түсинемиз.



27- сүўрет. Микроплазмалық характериографтың блок - схемасы.

1 - турақлы кернеў дереги; 2 - диод; 3 - жарғы тис тәризли ток генераторы; 4 - күшейткиш; 5 - амплитудалы - жийиликли характеристиканы күшейткиш; 6 - осциллограф.

2.3. ТЕХНИКА ҚӘҮИПСИЗЛИГИ ХӘМ МИЙНЕТТИ ҚОРҒАҰ

Техникалық қәуіпсізлікті сақлау қағыйдалары

§ 1. Сыртқы факторлардың тасиринен сакланыу

Радияция, Лазер, СВЧ нурын шығаратуғын үскенелер менен ислескенде төмендегидей қәуіпсізліклер ушырауы мүмкин: Электр хәм жарылыу, өрт алыу қәуіпсери.

Булардан электр тәрәпинен қәуіпсиз жоқары кернеуліклердеги (Вольтлы) азықландыру системасы, лампа накаливания азықландыру шынжыры хәм регистрациялаушы фотоэлектрон көбейткиштин жоқары кернеулі шынжырлары мысал бола алады.

II Электр қәуіпсізліги

а. Күшлениуши хәм жактыртқыш электр тармақларын койылған шәртлерге мууапық орнатуу.

б. Электр тоғынан жаракатланыудан қорғаныу затлары менен тәмийнлеу. Қорғаныу затларын көрсетилген уакытларда сынақтан өткеріу.

в. Жоқары жиийиликли (СВЧ) генераторлары хәм үскенелердин электромагнит бөлип шығаруу кууат ағымының тығызлығын өлшеуди өткеріу.

г. Хәр бир мейли ол профессор оқытушыма, техник –лаборантпа ямаса магистрме техника қәуіпсізлігинин талаптарын билиу бойынша жыллық аттестациядан өткеріу.

д. Оқу орынлары хәм оның бөлимлеринде электр хожалығына жууапкер адамлардың бекитилгени хаққындағы буйрықлардың болыуы.

III Радиация қауіпсізлігі

а. Ионлық бөліп шығарыу дерегі менен іслеу уактында керекли болған хужжетлер дизими.

- Радиация қауіпсізлігі хызметин дүзиу хақында буйрык

§ 2. Тәжірийбе өткізиуде қауіпсізліктің сақланыуы

Биз тәжірийбе өткізген үскенелердің басым көпшилигинде ҳәр қыйлы кернеуде іслейтуғын электр үскенелери пайдаланылды. Сонлықтан биринши гезекте электр қауіпсізлігин сақлауға керегинше итибар берилди. Барлык электр үскенелери сәйкес өткізгишлер арқалы жер менен тутастырылды. Жумыс орынланатуғын үскенелер жанында еденге резина ямаса тахтадан жасалған төсек төселди. Тәжірийбелерди орынлауға инструктаждан өткен, ал жоқары кернеудеги үскенелерде іслеуде арнаулы курсты оқып қадағалаулардан өткен рұхсатнамасы бар кәнигелердің қатнасуында жумыс алып барылды.

Радиация нуры менен іслескенде оннан шашырап шығыуы мүмкин ямаса изертлеп атырған объекттен шағылысып нур түсиуі мүмкин болған орынлар қара материаллар менен тосылды (жауып қойылды).

III БАП. ЭКСПЕРИМЕНТ НЭТИЙЖЕЛЕРИ ХӘМ ТҮСИНДИРИЛИҮИ

3.1. Сыртқы радиациялық тәсірлерден кейинги кремнийли приборлардың физикалық характеристикаларының өзгерисин изертлеу

Биринши әдебий шолыу бөлиминде айтып өтилгениндей лавинно-пролетный диодлардың сонша дәрежеде көп изертлениуіне қарамастан, лавиналық пробойлық режимде іслеуші ярым өткізгішли әсбаптардың деградацияға алып келіуші кубылыстардың физикалық себептерін елеге дейін толық анықталмаған. Сонлықтанда микроплазманың пайда болыуы, микроплазманың қатнасуында вольт-амперлік характеристиканың айрықша өзгешеліктерін изертлеу елеге шекем өзінің айрықша өзгешеліктері менен хәм фундаменталлық хәм прикладной таманнан әхмийеттілігін жоғалтқан жоқ. Усы айтылғанларды есапқа ала отырып қәнийгелік пәткеріу жұмысымызда тийкарғы мәселе етип усы машқалаларды қарастыруды мақсет етип қойдық. Әсиресе технология менен байланысly болған дислокация хәм оның динамикасы ҳаққында елеге шекем толық мағлыұмат жоқ.. Радиациялық геттерирования бир қанша дәрежеде алға илгерлеуіне қарамастан елеге дейін дефектсиз кремнийди алыу мәселесі толық шешілмеген. Сонлықтанда кремнийли ямаса галлий арсенидди ярым өткізгішли материалларды изертлегенімізде олардың электрофизикалық параметрлерінің сапасының төменлеп кетіуін сол технология менен байланыстырамыз хәм себептерін изертлейміз. Демек хәр қыйлы дефектлер менен байланысly ярым өткізгішли әсбаптардың сапасының төменлеп кетіуін яғный деградацияланыу процессін изертлеу хәм оның механизмдерін түсіндіріу ярым өткізгішлер электроникасында хәм микроэлектроникасында үлкен әхмийетке ийе мәселелердің бири болып табылады.

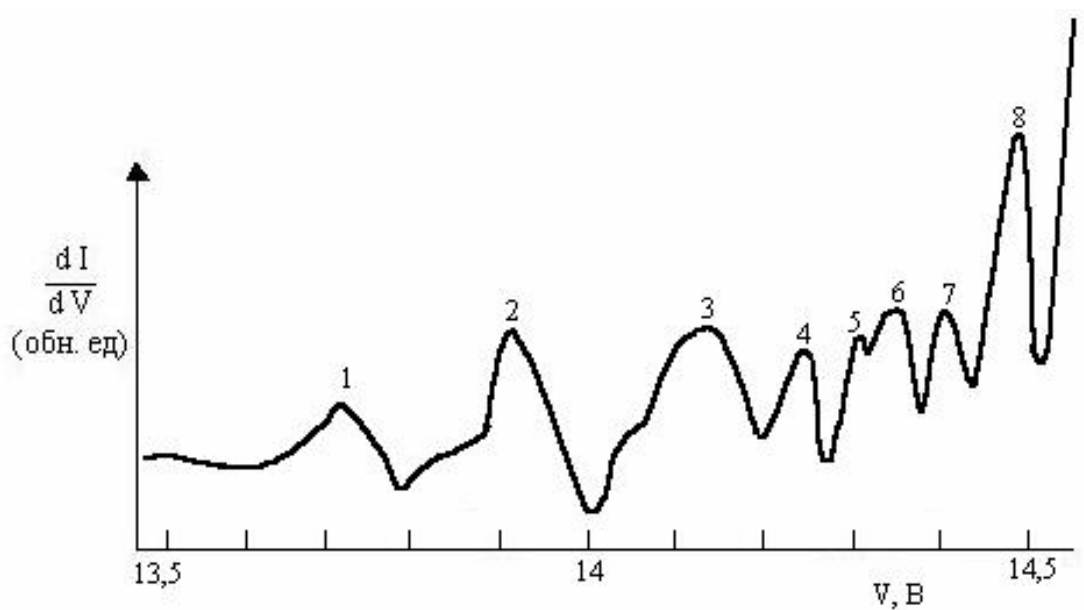
Бизиң қәнийгелик питириў жумысымыздың мақсетиде усы мәселелерди анализлеп оның физикалық мәнисин түсиндириўден ибарат болып есапланады.

Изертленилген объектимиз кремнийли p^+-n-p^+ диодлы структура болып табылады. Бундай диодлы структураны изертлегенимизде бизлерге көбирек қызықлы областы киши легирленген область n – областы болып есапланады, концентрациясы шама менен $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Биз питириў қәнийгелик жумысымыздың екинши бөлимде айтылған методика жәрдеминде кремнийли диодлы структураның кери бағыттағы вольт-амперлик характеристикасын өлшедик, кейин микроплазмалы участкаларын бөлек айырып көрсетиў мақсетинде кери бағыттағы вольт-амперлик характеристиканың пробой участкасы алдын екинши бөлимде көрсетилген методтка - микроплазмалы характериограф жәрдеминде биринши хәм екинши туўындыларын өлшедик. Экспериментте алынған нәтийже соны көрсетти сплавной технология усылы менен алынған диод хәм диодлық структуралар менен бирге, диффузия усылы менен алынған диод хәм диодлық структураларда да бир нешше сандағы микроплазмалардың бар екинин эксперименталлық жақтан көрсеттик.

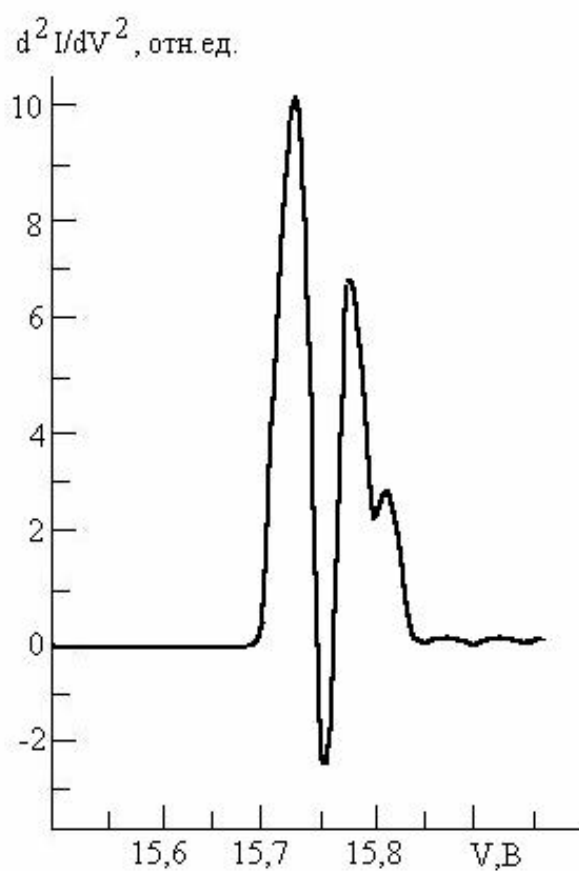
Жәнеде соны айтып өтиўимиз керек әдебий шолыў бөлиминде кремнийден сплавной технологияда таярланған стабилитронлардағы деградациялық процеслерди анализледик. Сол алынған нәтийжелерге тийкарлана отырып диффузия усылы менен алынған диод хәм диодлық структураларда сондай физикалық процеслер байқалады деген пикирдемиз. Айрықша атап көрсететуғын жери соннан ибарат еки усылда алынған диод хәм диодлық структуралардағы характеристикаларды салыстыратуғын болсақ, сплавной технология усылы менен алынған стабилитронларда микроплазмалардың саны 3 тен 10 ға шекем жетти хәм микроплазмалардың жайласыў тәртибине келетуғын болсақ бундай стабилитронларда микроплазмалар бир бирине

жақын тығыз жайласқан, ал диффузиялық усылда алынған диодларда сплавной технологияда алынған диодларға салыстырғанда микроплазмалар санының аз екенін экспериментте көрдик. 11 хәм 12 сүўретлерде көрсетилгениндей. Ал бундай микроплазмалардың тығыз жайласыўы хәмме уақыт ярым өткизгишли эсбаплар ушын қәўипли болады. Жәнеде биринши микроплазмалық кернеў менен соңғы микроплазмалық кернеў арасындағы айырмашылық 0,7 В тан 3В кернеў аралығында болды. Пробойлық кернеўдин бундай парық бериўиде ярым өткизгишли эсбаплардың сапасына кери тәсирин тийгизеди.

Енди бул алынған нәтийжелерди анализлейтуғын болсақ әдебиятлардың көрсеткениндей микроплазма бар жерде әдетте ток тығызлығы үлкен болады, сәйкес температурада үлкен болады. Демек ток ағысының бир тегис емессизлигин жаратып соның менен бирге температуралар айырмашылығын пайда етеди. Ал бул процесслер өз гезегинде электрофизикалық параметрлердин өзгериўине алып келеди. Атап айтқанда фактор качество – m деп аталыўшы коэффициенттин өзгерисине, ток тасыўшылардың жасаў уақтының – τ өзгериўине, диффузия узынлығының – $\bar{L}$ өзгериўине алып келеди. Бундай электрофизикалық параметрлердин өзгериси көпшилик жағдайда ярым өткизгишли диод хәм диодлы структуралардың сапасының төменлеўине яғный деградацияланыўына алып келеди. Алынған эксперименталлық нәтийжелерди анализлейтуғын болсақ, төмендеги 30 -сүўретте сыртқы тәсирдин нәтийжесинде токтың хәм кернеўдин өзгериси көрсетилген.

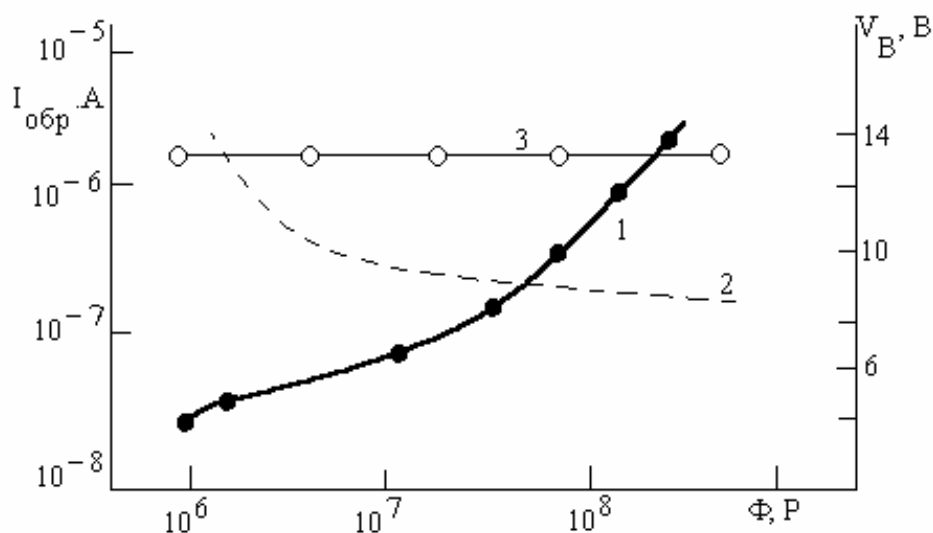


28-сүүретте кремнийден таярланған стабилитронлардың пробой участкасы алдының биринши туўындысы көрсетилген.



29-сүүретте кремнийден таярланған диффузиялық диодлардың пробой участкасы алдынан екінши туўындысы

Температураның биртексізлігі термикалық кернеудің генерациясына алып келеді, ал бұл өз гезегінде микроплазма бар жердегі терең энергетикалық қаддиге ийе урoвeнлердің генерациясын күшейтеді. Демек жоқарыда айтылған яғнұй әдебиі шoлуы бoлиминде келтирилген механизм бойынша диод ертерек истен шығады. Көпшилик авторлар бұл кемшиликлерді сапластырыу мақсетинде хәр қыйлы сыртқы тәсирлерді үйренген. Мысалы авторлардың илимий жұмысларында ультрасес толқынларының, гамма радиациясының тәсирин хәм электротренировканың тәсирлерин жоқарыда айтылған кемшиликлерді сапластырыу мақсетинде қолланылған [5,6] 30-сүўретте көрсетилгениндей.



30-сүўретте еки түрлі группа ушын кері бағыттағы вольт-амперлік характеристикасының хәм пробой кернеуінің гамма тәсірине байланысly өзгерісі көрсетілген.

сыртқы актив тәсир етиўшилер: электротренировка, гамма радиация хәм ультрасес толқынларының тәсіри еки группа диодлардың вольт-амперлік характеристикасына еки түрлі тәсир етеді, ал пробой кернеуіне барлық

жағдайдада бирдей тәсир етеди, 30-сұйретте көрсетилгениндей яғный дерлик пробойлық кернеу өзгермейди, сыртқы тәсир менен тәсир еткеннен соң. Усы айтылғанларды есапқа ала отырып төмендегише жуўмаққа келдик.

Демек бул жерде кремнийли сплавной технологияда таярланған стабилитронларда, диффузиялық усылда таярланған кремнийли р-п өткеллерге салыстырғанда дерлик өзгермегенлиги ярым өткизгишли материалдың өзіндеги дефектлердин беккем орналасқанлығын ямаса анығырақ айтқанда дефектлерди шеге менен қағып қойғандай деп түсинсекте болады. Ал бундай тереңде беккем жайласып үлкен байланыс энергияға ийе дефектлерди азайтамыз деп сыртқы тәсирдин энергиясын ямаса радиацияның дозасын арттырсақ, онда структураның өзін бузып алыў итималлығы көбирек. Ал диффузия усылы менен алынған диод хәм диодлық структураларда сыртқы тәсирдин нәтийжесинде электрофизикалық параметрлерди жақсылаў аңсатырақ. Себеби бул усылда алынған структуралардағы дефектлер сыртқы тәсирге жүдә сезгир болады.

1. Кремнийли стабилитронлардың пробойлық керенеўине актив тәсир айтарлықтай өзгерис киритпейди, себеби жоқарыда түсиндирилгениндей.

2. Жоқарыда айтылғанындағыдай еки түрли группа диодлардың бириншисинде кери бағыттағы тоқтың мәниси артады, екинши группа диодларда кери бағыттағы тоқтың мәниси белгили интервал аралығында кемийди. Бизиң қарастырған жағдайымызда көпшилик жағдайда микроплазмалық структураның өзгермеўи байқалады. Буның себеби автордың пикиринше микроплазма менен байланыслы болған дислокациялар структураға беккем орналасқан яғный жоқарыда келтирилгениндей дефектлер күшли байланыс энергиясына ийе деп түсиниўге болады.

Көпшилик авторлардың илимий жумысларында кремнийли p^+-n-p^+ -структураларға радиацияның тәсирин хәм оның тәсири нәтийжесинде электрофизикалық параметрлерди жақсылаўға болатуғынлығы хаққында ертеректе айтылған. Яғный термикалық хәм термикалық емес усыллар менен ярым өткизгишли структура хәм оның тийкарында таярланған таяр

эсбаптардың электрофизикалық параметрлерін жақсылауға болатуғынлығы хақында бир қанша көп муғдарда жұмыстар бар. Кейинги уақытлары термикалық (электротренировка) хәм радиациялық усыллар менен бирге өзиниң эпийайылығы менен, эффектив тәсир етиуи менен ярым өткізгішлерди қайта ислеуде (обработкелеуде) кеңнен қолланылатуғын методлардың бири бул ультрасес толқынларының тәсири болып табылады.

Жоқарыда келтирилген методика жәрдемінде p^+-n-p^+ -диодлы структураның вольт-амперлик характеристикасын хәм оның пробой обьласты алдынның биринши тууындысын өлшедик. 31-сүүретлерде көрсетилгениндей эксперимент нәтийжеси соны көрсетти қарастырылып атырған жоқарыда көрсетилгениндей p^+-n-p^+ -диодлы структураның дәслепки кери бағыттағы вольт-амперлик характеристикасын өлшегенимизде тоқтың муғдары $10^{-8} \div 10^{-6}$ А тең екенин экспериментте көрдик. Сәйкес пробой участкасы алдын дифференциаллағанымызда биринши тууындысы, бир неше иймеклерге (пиклерге) ийе екенин көрдик. Булардың барлығыда тийқарғы емес ток тасыушылардың бар болыуы есабынан вольт-амперлик характеристикасынын реал жағдайларға салыстырғанда ауысыуын көрсетеди, ал бул өз гезегинде точкалық дефектлер хәм олардың топланыуы менен ямаса дислокациялардың бар болыуы менен түсиндириледі. Буның дәлили ретинде пробой участкасы алдын дифференциаллаған уақтымызда көриуге болады – сүүретте көрсетилгениндей. Ал бундай биртексіздіклердің бар болыуы хәм тийқарғы ток тасыушылардың есабынан тоқтың мәнісиниң артып кетиуи өз гезегинде диодлы структураның сапасының төменлеп кетиуине алып келип деградацияланатуғынлығын көрсетеди. Енди бизлер қәнийгелик питириу жұмысымызда бул кемшиликлерди сапластыруу мақсетинде p^+-n-p^+ -диодлы структураға ультрасес толқынларының тәсирин үйрендик. Ультрасес пьезокермикалық түрлендіргіш жәрдемінде 1-саат дауамында 2В кернеуде 160 кГц жийликте p^+-n-p^+ -диодлы структураға бериледи. Нәтийжеде 29-сүүреттің екінши иймеклигинде көрсетилгениндей кери бағыттағы токтың шамасы азайады, соның менен бирге 29-сүүретте

көрсетилгениндей пробой участкасы алдын дифференциаллағанымызда пиклердің санының азайғанлығын экспериментте көрсеттік. Солай етип эксперимент нәтижесі соны көрсетті пробой областы дәслепки характеристикаға салыстырғанда бир қанша дәрежеде бир текли болды яғный электрофизикалық параметрлер бир қанша дәрежеде жақсыланды деп түсиндириўге болады.

Бизлердің пикиримизше 2В 160 кГц 1-саат режимде ультрасес толқынларының тәсиринде кери бағыттағы токтың азайыўы хәм пробой участкасы алдын дифференциаллағанымызда пиклердің (микроплазмалардың) санының азайыўы, акустикалық толқынларының энергиясының дефект бар жерде эффектив жутылып М.К. Шейнкманның моделине муўапық, дислокацияның дөгерегине басқада точкалық дефектлер жыйналып нәтижеде рабочий областағы дефектлерде перестройка (қайта өзгерис) болып, бул өзгерис өз гезегинде генерационно-рекомбинациялық орайлардың концентрациясының азайғанлығының нәтижесі деп түсиниўге болады.

Шокли теориясына муўапық генерационный ток төмендегише анықланады:

$$I_{\Gamma} = \frac{q n_i s w}{2 \tau_p}$$

Бул жерде q, n_i, s, w – электрофизикалық параметрлери дерлик өзгермейди, демек $I_{\Gamma \text{ ен}}$ токтың кемейиўин, тийкарғы емес ток тасыўшылардың жасаў ўақтының көбейиўи менен байланыстырыўға болады хәм ол төмендегиге тең болады.

$$\tau_p = \frac{1}{\sigma_i N_t v_t}$$

Бул жерде N_t дефектлер менен байланыслы болған ток тасыўшы зарядлардың концентрациясы, v_t сечение захвате, жыллық тезлиги. Солай

етип бул жерде дефектлер менен байланысly тоқ тасыўшылардың концентрациясының азайғанлығын көрсетеди.

Солай етип $p^+ - n - n^+$ - диодлы структураларға радиацияның, эффективли атермикалық қайта ислеў жол менен яғный температураны арттырмай дерлик комната температурасында тәсир етиў нәтийжесинде ярым өткизгишли әсбаплардың хәм әсбаплық структуралардың сапасын жақсылаўда кеңнен қолланыўға болады деген жуўмаққа келдик. Жәнеде соны еслетип өтиў керек басқа сыртқы тәсир етиўге салыстырғанда радиациялық тәсир етиў бул арзан, әпиўайы хәм эффективли. Ал термикалық тәсир етиў бул көпшилик авторлардың көрсеткениндей қурамалы болып есапланады, қурамалылығы соннан ибарат температура үлкейген сайын көп қатламлы структура менен ислесиў қыйынласып барады. Солай етип радиацияны кремнийли $p^+ - n - n^+$ - диодлы структуралардың электрофизикалық параметрлерин жақсылаўда атермикалық эффектив тәсир етиўши ретинде қолланыўға болады.

5-кесте. Кремнийли диодлық структура параметрлериниң гамма квантлы нурланыўына байланыслығы.

Доза, Р					
	Исх.	10^4	10^5	10^6	10^7
φ_B , В	0,77	0,77	0,79	0,80	0,61
n	1,25	1,25	1,16	1,15	1,31
R , м	7,8	7,8	12	14	6
$I_{\text{кери}}$, А	10^{-8}	5×10^{-7}	3×10^{-7}	1×10^{-7}	5×10^{-6}

3.2. Кремнийли приборлардың ислеў ўақтында хэм сыртқы тәсирлер нәтийжесинде болып өтететуғын деградациялық процеслерди үйрениў

Приборлардың электрофизикалық характеристикаларын үйрениў арқалы бул прибор ҳақында көп керекли мағлыўматларға ийе болыў мүмкин. Соның ишинде тийкарынан прибордың сапалылығын хэм исенимлилигин баҳалаў мүмкин. Сондай-ақ, прибордың характеристикалары арқалы бул приборларды хәр тәреплеме үйрениў, олардың өзгешеликлерин анықлаў мүмкин.

Прибордың актив областында қосымта хэм дефектлердин болыўы қағыйда бойынша оның деградациясына, яғный сақланыў процессинде тозыўына алып келеди. Қосымта хэм дефектлердин болыўы диодтың ислеўинде сезилерли дәрежеде базыбир электрофизикалық қәсийетлериниң төменлеўине тәсирин тийгизип сол әсбаптың ислеў мүддетиниң қысқарыўына алып келеди.. Бул жағдай өз нәўбетинде деградациялық процеслердин тезлениўине себепши болады. Әдетте деградациялық процеслердин болыўына сыртқы факторлар яғный температура, механикалық кернеў, меншикли оптикалық нурланыўлар киреди.

Диодлардың вольт-амперлик характеристикасын изертлеў арқалы бираз мағлыўматлар алыўға болады. Мысалы, деградацияның диффузиялық мехинизми орнатылған болса, онда потенциаллық исенимли емес диодларды ажыратып алыўда қайта ислеў мүмкин. Бул жағдайда ажыратып алыў критериясы болып белгили ўақыт даўамында жұмыс режиминдеги генерацион - рекомбинацион ток қәддилериниң өзгериўи хызмет етеди. Эксперимент нәтийжелериниң көрсетиўинше жұмыс режиминдеги генерацион-рекомбинацион ток қәддин жоқарғы мәниске қарай өзгертсек диод соншелли исенимсиз болады. Потенциаллық исенимли болмаған приборларды ажыратыў ушын тунельлик токлардың қадағаланыўы да қолланылыўы мүмкин.

Бул приборлар ушын бираз улыўмалық эффект дегарадациялық процесслердің интенцификациясы болып табылады. Ҳақыйқатында да, температура хәм оның градиентин пайда еткен механикалық кернеў токтың жоқарылатылған тығызлығы областындағы диод майданы бойынша орташа мәнислерди жоқарылатады. Прибордың истен шықпай жумыс ислеўин болжаў ушын дегарадациялық процесслерди стимулластыратуғын факторларды билиў керек хәм токтың биртексиз бөлистирилиўин анықлаўға мүмкиншилик бериўши методларды есапқа алыў жүдә әҳмийетли. Бул методлар хәр қыйлы ярым өткизгишли диод типлери ушын улыўмалық болып табылатуғынлығы айрықша әҳмийетке ийе хәм дегарадацияны анықлайтуғын микромеханизмнен ғәрезсиз олардың истен шықпай жумыс ислеўин болжаўға мүмкиншилик береді. Бундай методларға: шаўқымлы микроплазманың характеристикаларды өлшеў методы, туўынды вольт амперлик характеристикаларды анықлаў методы, өткелдің жыллылық характеристикаларын анықлаў методы. Пробой участкасында ислеўши диодлардың исенимлилигин микроплазмалардың характеристикалары бойынша болжаўлар микроплазмалар бираз жоқары температураға ийе токтың жоқары тығызлығы областы болатуғынлығына тийкарланған. Бундай областларда дегарадациялық процесслердің интенсив ағысы болыўы итимал. Ең қызған микропалазмаларда температура жоқарылаған сайын дегарадациялық процесслер сонша тезирек болып өтеди хәм прибор исенимлилиги сондай-ақ ислеў мүддети кемейе береді. Диодтың шаўқымлы характеристикасын анықлаў микроплазманы есапқа алыўдың эпиўайы методы болып есапланады.

Диод типі хәм оның ислеў режимине байланыслы дегарадацияға алып келиўши бир қанша физикалық эффектлер бизге белгили. Бундай жағдайларда берилген материалдың қосымталық дүзилісин хәм ярым өткизгишли прибордың актив областын изертлеў жүдә әҳмийетли. Бул мақсетте бир қанша методлар электронлық микроскопия, масс-спектроскопия, оже анализ методларын қолланыў мүмкин. Олар арқалы ярым

өткізгіштің қадаған етилген зонасындағы локал қәддилердің энергетик спектри хәм концентрациясын анықлаў мүмкин. Темперетураның кең диапазондағы әсбаптың вольт амперлик характеристикасын анықлаў методы арқалы деградация механизмлери ҳаққында керекли мағлыўматларға ийе болыўымыз мүмкин.

Статикалық вольт - амперлик характеристиканы изертлеў жетерли дәрежеде әпиўайы орынланады, жеңил автоматластырыў арқалы ярым өткізгішли диодтың актив областының (жумысшы участкасының) қәсийетлери ҳаққында кең мағлыўматлар береді.

Вольт-амперлик характеристиканың туўры бағыттағы шақасы избе-из қарсылық ҳаққында мағлыўмат береді, ал Шоттки диодында болса, онда ол металл ярым өткізгіш барьериниң бийиклиги хәм өткен қабатының характеристикалары ҳаққында да билдиреди. Пробой кернеўиниң мәниси бойынша ярым өткізгішли диодтың актив областы бойлап электр майданы хәм майда қәддилер бөлистирилиўи ҳаққында айтыў мүмкин.

Туннеллик кери токтың бар болыўы Шоттки барьериндеги контактлы қабаттағы параметрлерди анықлаўға мүмкиншилик береді. Статикалық вольт амперлик характеристикалардан алынған мағлыўматлар хәм пробойдың анық конструкциясының мәниси хәм оның ислеў режими потенциал исенимли диодлардың ажыратып алыўына кепиллик бериўди ислеп шығыўда кең мүмкиншиликлер береді.

Ж У Ы М А Қ

Бул магистрлик диссертация жумысында биз тийкарынан кремнийли приборлы структураға радиацияның тәсиринен кейинги болып өтетуғын деградациялық процесслерди қарастырдық. Дерадация түсиниги әдетте қандайда бир прибордың ўақыт өтиўи менен физикалық характеристикаларының төменлеўи түсиниледи. Сонлықтан биз бул жумысымызда тийкарынан сол приборлардың электрофизикалық характеристикаларының төменлеўине себепши болатуғын факторларды үйрениўден ибарат еди. Алынған эксперимент нәтийжелерге ҳәм әдебий шолыўымыздан исленген анализлеримизге сүйенген ҳалда төмендегише жуўмақ жасадық:

1. Кремний материалынан еки усылда, сплавной технологияда таярланған стабилитронлар ҳәм диффузиялық усылда таярланған р-п өткелли диодлардың вольт-амперлик характеристикасын ҳәм оның сызықлы емес участкаларынының биринши ҳәм екинши туўындыларын «модуляциялық дифференциаллаў» методы жәрдемінде өлшей отырып деградацияға алып келиўши базыбир физикалық процесслерди анализледик.

2. Экспериментте алынған нәтийжелерди анализлеў соны көрсетти, сплавной технологияда таярланылған стабилитронларда, диффузиялық усылда таярланылған р-п өткелли диодларға салыстырғанда ярым өткизгишли эсбаплардың деградацияланыўына алып келиўине себепши болған микроплазмалар саны бойыншада көп екенлиги, өлшемлелери бойыншада үлкен екенлигин көрдик.

3. Теориялық жол менен есаплаўлар жүргизилген номограммаға тийкарлана отырып, әдебий шолыў бөлиминде келтирилгениндей еки түрли усылда таярланылған ярым өткизгишли эсбаплардағы микроплазмалардың геометриялық размерлерин есапладық.

Солай етип деградациялық процесслерге алып келиўши тийкарғы процесслер болған тоқ ағысының биртексизлиги, микроплазмалардың

диаметрлеринин шамалары, дифференциал қарсылықтары анықланылды
хәм анализленилди.

ПАЙДАЛАНЫЛГАН ӘДЕБИЯТЛАР

Президент мийнетлери

1. И. А. Каримов «Юксак маънавият енгилмас куч» Тошкент-2008

Оқылық ҳам оқыу қолланбалар

2. Новые материалы электронной техники: Сборник научн. трудов. – Новосибирск: «Наука». Сиб. Отделение. 1990. – 158 с.
3. Boltovets N.S., Gonsharuk N.M., Krivutsa V.A., Chaika V.E., Konakova R.V., Milenin V.V., Soloviev E.A., Tagaev M.B., Voitsikhovskiy D.I. Contacts for silicon IMPATT and pick - off diodes .- Semiconductor Physics , Quantum Electronics and Optoelectronics . - 2000. - v. 3. N 3. - p 352-358.
4. Стриха В.И., Бузанева Е.В. Физические основы надежности контактов металл – полупроводник в интегральной электронике. – Москва.: «Радио и связь». – 1987. – 256 с.
5. Конакова Р.В., Кордош П., Тхорик Ю.А., Файнберг В.И., Штофаник Ф. Прогнозирование надежности полупроводниковых лавинных диодов. – Киев.: Наковоа думка. 1986. – 188 с.
6. Стриха В.И. Контактные явления в полупроводниках. – Киев.: «Выще школа». – 1982. – 224 с.
7. Дубовински М., Ережепов М.Е., Исмаилов К.А. и др. Сильнополевые эффекты в арсенидгаллиевых диодах Шоттки. – Нукус, 1994. – 184 с.
8. Венгер Е.Ф., Грендел М., Данишка В., Конакова Р.В., и др. Структурная релаксация в полупроводниковых кристаллах и приборных структурах. / Под общей редакцией проф. Тхорика Ю.А. – Киев.: «Феникс». – 1994. – 247 с.
9. Болтовец Н.С., Венгер Е.Ф., Войчиховский Д.И., Конакова Р.В., Ляпин В.Г., Миленин В.В., Попов В.Б., Соловьев Е.А., Тагаев М.Б. Влияние быстрой термической обработки на электрические характеристики силовых диодов Шоттки. - Физика и химия обработки материалов .- 2000.

Қосымша әдебиетлар

10. Венгер Е.Ф., Конакова Р.В., Коротченко Г.С. и др. «Межфазные взаимодействия и механизмы деградации в структурах металл – InP и металл – GaAs. Киев.: 1999. - 227 с.

11. Конакова Р.В., Тхорик Ю.А., Файнберг В.И., Соловьев Е.А., Шкребтий А.И. Физические ограничения предельных режимов токопрохождения в обратносмещенных, обусловленных микроплазмами диодах Шоттки. // Электронная техника. Сер. 8. Управление качеством, стандартизация, метрология, испытания. – 1992. Вып. 2(149). с.3–6.

12. Boltovets N.S., Konakova R.V., Lyapin V.G., Milenin V.V., Soloviev E.A., Venger E.F., Voitsikhovskiy D.I., Kamalov A.B., Tagaev M.B., Smijan O.D. Interactions Between phases in the Barrier Contacts for Power Schottky Diodes Based on Si and GaAs Epitaxial structures-Proc. 5 International Seminar on Power Semiconductors (ISPS 2000). 30 August - 1 September, 2000. Prague . Czech Republic. - 2000.

13. M.B. Tagaev et.al. Effect of gamma-Irradiation on the Electrophysical Parameters of Metal/GaAs Barrier Structures with Textured Iterfaces. // PROC.22nd INTERNATIONAL CONFERENCE ON MICROELECTRONICS (MIEL 2000), VOL 1, NIS, SERBIA, 14-17 MAY, 2000, 367-369

14. M.B.Tagaeв et.al. "Ohmic Contacts for Microwave Diodes" // PROG.22nd INTERNATIONAL CONFERENCE ON MICROELECTRONICS (MIEL 2000), VOL 2, NIS,SERBIA, 14-17 MAY,2000,477-480

15. M.B.Tagaeв "Effect of ultrasonic treatment of silicon IMPATT diodes, power Schottky diodes and zener diodes on their electrical characteristics" Украинский физический журнал.2000.т.45.№3 стр.364-367

16. Камалов А.Б., Исмаилов К.А., Попов В.Б., Приходенко В.И., Тагаев М.Б. Релаксационные эффекты в тонкопленочных полупроводниковых структурах, стимулированные внешними воздействиями. //Труды 17ой Международной конференции по физике и технологии тонких пленок. Івано-Франківськ. Украина.- 2001.- с. 58.

17. Исмаилов К.А., Тагаев М.Б., Турамбетова А.К., Статов В.А., Бижанов Е. Неразрушающая диагностика конструктивных дефектов и структурных нарушений в полупроводниковых приборах// XXVI Научно-теоретическая конференция профессорско-преподавательского состава КГУ. Нукус, 2002

18. Исмаилов К.А., Тагаев М.Б., , Статов В.А., Бекбергенов С.Е. Взаимосвязь структурно-морфологических особенностей внутренних границ раздела и электрофизических характеристик полупроводниковых приборов// XXVI Научно-теоретическая конференция профессорско-преподавательского состава КГУ. - Нукус, 2002.

19. Илин И.Ю., Конакова Р.В., Соловьев Е.А., Тагаев М.Б., Шкребтий А.И. Влияние микрорельефа поверхности на неоднородной плазменной пробой барьеров Шоттки. //Физика и химия обработка материалов. -1998.-4-С. 91-93.

20. Аюпов К.С., Бахадирханов М.К., Н.Ф. Зикриллаев, Х.М.Илиев. Физические явления в кремнии в крайне неравновесном состоянии. – Ташкент.: «Фан». – 2008. – 341 с.

21. Исмаилов К.А., Бижанов Е.К. Деградационные явления в арсенидгаллиевых приборных структурах. – Узб. Физ. Журнал. 2008. № 6.

Илимий журналлардағы мақалалар

22. Исмаилов К.А., Бижанов Е.К. Физические причины деградации арсенидгаллиевых лавинных диодов. – ДАН РУз . 2011. № 5. с. 37 – 38.

22. Исмаилов К.А., Отениязов Е., Атаджанова Р., Аметов Р., Турсынбаев С. Радиационно-стимулированные геттерирования в полупроводниковых приборных структурах. – ВЕСТНИК ККО АН РУз.- Нукус. -2013. с. 5-7.

23. Исмаилов К.А., Отениязов Е., Аметов Р., Турсынбаев С. Атермические механизмы в полупроводниковых приборных структурах. –«Замоновий физиканинг долзорб муаммолари». Республика илмий – назарий анжумани материаллари. – Термиз. 2013.

24. Исмайлов К.А., Бижанов Е.К, Аметов Р., Турсынбаев С. Эффекты радиационных воздействий на физические характеристики арсенидгаллиевых диодных структур типа Au-Ti-GaAs. –(Каракалпакский государственный университет им. Бердаха) КМУ хабаршысы-2012 №1-2(14-15).с.12-13

Интернет материаллары ҳам сайтлар

1. www.journals.ioffe.ru
2. www.physics.riew.com
3. www.ujp.org
4. www.firstsolar.com