

**ЎЗБЕКСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ЖОҚАРЫ ҲӘМ ОРТА  
АРНАЎЛЫ БИЛИМ МИНИСТИРЛИГИ**

**БЕРДАҚ АТЫНДАҒЫ ҚАРАҚАЛПАҚ  
МӘМЛЕКЕТЛИК УНИВЕРСИТЕТИ**

**«ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА КАФЕДРАСЫ»**

**Физика-математика факультетиниң  
физика қәнигелигиниң  
4- курс студенткасы  
Нурымбетова Жамила Бимурзаевнаның**

**П И Т К Е Р И Ў Қ Ә Н И Г Е Л И К  
Ж У М Ы С Ы**

**тема: Термикалық ислеў тәсиринде контактлық  
системалардағы физикалық процесслерди  
үйрениў**

**Илимий басшы:**

**ф.-м. и.к. Насыров М.У.**

**Кафедра баслығы:**

**ф.-м. и. д. доц. Камалов.А.Б.**

**Нөкис - 2012 жыл**

# М А З М У Н Ы

<b>КИРИСИҰ</b> .....	3
<b>1 БАП. МЕТАЛЛ-Si КОНТАКТЛЫҚ СТРУКТУРАЛАРЫНДА ФАЗАЛАР АРАЛЫҚ ӨЗ-АРА ТӘСИРЛЕСИҰЛЕР</b> .....	4
§ 1.1. Силицидди, боридди хәм нитридди қатламларға ийе Si тийкарындағы контактлы структуралардың фазалар аралық өз-ара тәсирлесиҰине хәм термогенерациясына термикалық тез ислеҰ тәсири .....	4
<b>2 БАП. КРЕМНИЙЛИ СТРУКТУРАЛАРДЫҢ ТАЯРЛАНЫҰ ТЕХНОЛОГИЯСЫ ХӘМ ЭЛЕКТРОФИЗИКАЛЫҚ ХАРАКТЕ- РИСТИКАСЫН ИЗЕРТЛЕҰ УСЫЛЛАРЫ</b> .....	14
§ 2.1. Ұлгилердин таярланыҰы .....	14
§ 2.2. Контактлық қарсылықты өлшеҰ усылы.....	21
<b>3 БАП. ТӘЖИРИЙБЕ НӘТИЙЖЕЛЕРИ ХӘМ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАҰ</b>	
§ 3.1. Термикалық ислеҰ тәсиринде кремнийли контактлық структуралардағы фазалар аралық өз-ара тәсирлесиҰлер .....	25
<b>5. ЖУҰМАҚЛАҰ</b> .....	39
<b>6. ӘДЕБИЯТЛАР</b> .....	40

## К И Р И С И Ы

Қатты денели аса жоқары жийликли электрониканың элементлик базасының беккемлиги көбинесе актив элементлердің ( $p^+ - n - n^+$ -структураларының, Шоттки барьерине ийе диодлы структуралардың, майданлы транзисторлардың җ.т.б.) структуралық қәсийетлери менен анықланады, себеби оларда жетерлише жоқары қәддидеги ишки механикалық кернеўлер (ИМК) бар болады. Олардың тәбияты, ҳәр қыйлы физикалық факторлар менен байланыслы болады:  $p - n$  өтиўлериниң күшли хәм әззи легирленген областлары пәнжерелериниң параметрлериниң сәйкес келмеўи (сәйкес келмеў кернеўлери), омлық ямаса барьерлик контактлар жағдайында ярымөткизгиш пенен металлдың термикалық коэффициентиниң сәйкес келмеўи (термикалық кернеўлер), ярымөткизгиш структурасының ҳәр қыйлы дефектлери менен байланыслы болған локал кернеўлер җ.т.б. Сыртқы тәсирлер (токлы перегрузкалар, радиациялар, жоқары жийликли электромагнит нурланыў, жоқары температура) ИМК релаксациясын жүзеге келтиреді, хәм қатар жағдайларда жаңа дефектлердиң пайда болыўына алып келеді, ңатийжеде ярымөткизгишли әсбаплар параметрлериниң төменлеўин ямаса контактлардың деградациясына алып келиўши металлизация қатламларындағы зат тасылыўын келтирип шығарады. Бундай процесслерге биринши нәўбетте температура тәсири үлкен әҳмийетке ийе, себеби ярымөткизгишли әсбаплардың локал областларында қызып кетиў (перегрев) температурасы  $\geq 450^{\circ}C$  шекем жетиўи мүмкин, сонлықтан контактлық системалардағы өз-ара тәсирлесийўлерди үйрениў актуал мәселе болып табылады.

# 1 БАП. МЕТАЛЛ-Si КОНТАКТЛЫҚ СТРУКТУРАЛАРЫНДА ФАЗАЛАР АРАЛЫҚ ӨЗ-АРА ТӘСІРЛЕСІҰЛЕР

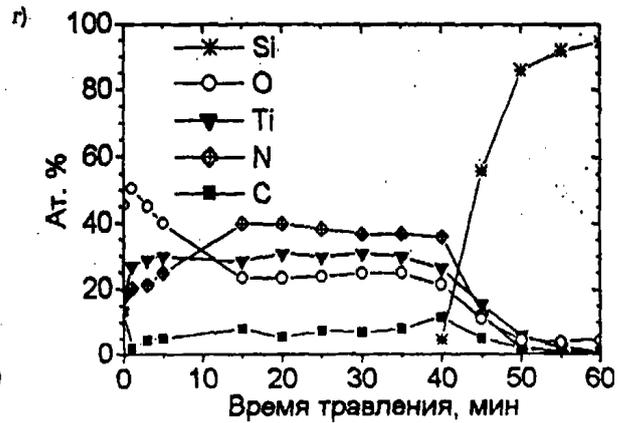
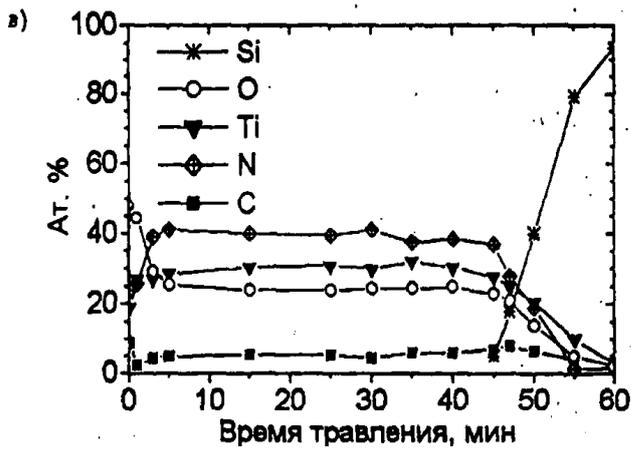
## § 1.1. Силицидди, боридди хэм нитридди қатламларға ийе Si тийкарындағы контактлы структуралардың фазалар аралық өз-ара тәсирлесіуіне хэм термогенерациясына термикалық тез ислеу тәсири

Кремнийдің микроэлектроникада кеңнен қолланылыуына қарамастан, оған термошыдамлы контактлар таярлау проблемасы еле шешим тапқаны жоқ. Бундай контактлардың қолланылыу областы жоқары беккемликке ийе әсбаптарды жаратыушы электроника болып табылады.

Қатар жұмыстарда [1-5] көрсетилгениндей контактлардың температуралық стабиллигин арттырудың ең тәсирли усылы бул қыйын ериуши металлар тийкарындағы силицидлер, боридлер хэм нитридлер тийкарында антидиффузиялық қатламларды қолланыу болып табылады. Соның ушын, микроэлектрон әсбаптардың температуралық шыдамлылығын арттыру бойынша усыныстарды формулировкалау ушын, бул областтағы илимий нәтижелерди систематизациялау актуал мәселе болып табылады.

Нитридлер хэм боридлер системаларының кремнийде термошыдамлылығын изертлеуге айырықша итибар берилген. Бирқатламлы  $TiN_x-Si$  структурасының термикалық тез куйдирилиуінде, дәншелер размерлери  $\approx 40$  нмлик поликристалл қатламның пайда болыуы менен  $TiN_x$  квазиаморф қатламының рекристаллизациясы бақланған, сондай-ақ  $T \geq 600^\circ C$  температурада фазалар аралық шегара аралығының артыуы жүзеге келген.

$600(800^\circ C)$  термикалық тез куйдириу, Ti-Si бирикпесиниң пайда болыуына алып келеди (сүүрет 1.1), нәтижеде контактлық өтиудиң планарлық биртеккли емеслигиниң рауажланыуы келип шығады.  $SiO_2$  қатламы (химиялық бирикпеген кислород сыяқлы) Si-Ti системасындағы өз-ара тәсирлесіуди қыйынластырыушы себеп болыуы мүмкин, демек, интерметаллидлердиң пайда болыу характерин өзгертеди.



а - дэслепки үлги; б, в хэм г –  $T=400, 600$  хэм  $800^{\circ}\text{C}$  температуралык күйдириүден кейин

Сүүрет 1.1.  $\text{TiN}_x\text{-Si}$  контактындағы компонентлердин бөлистирилиү профиллери [3]

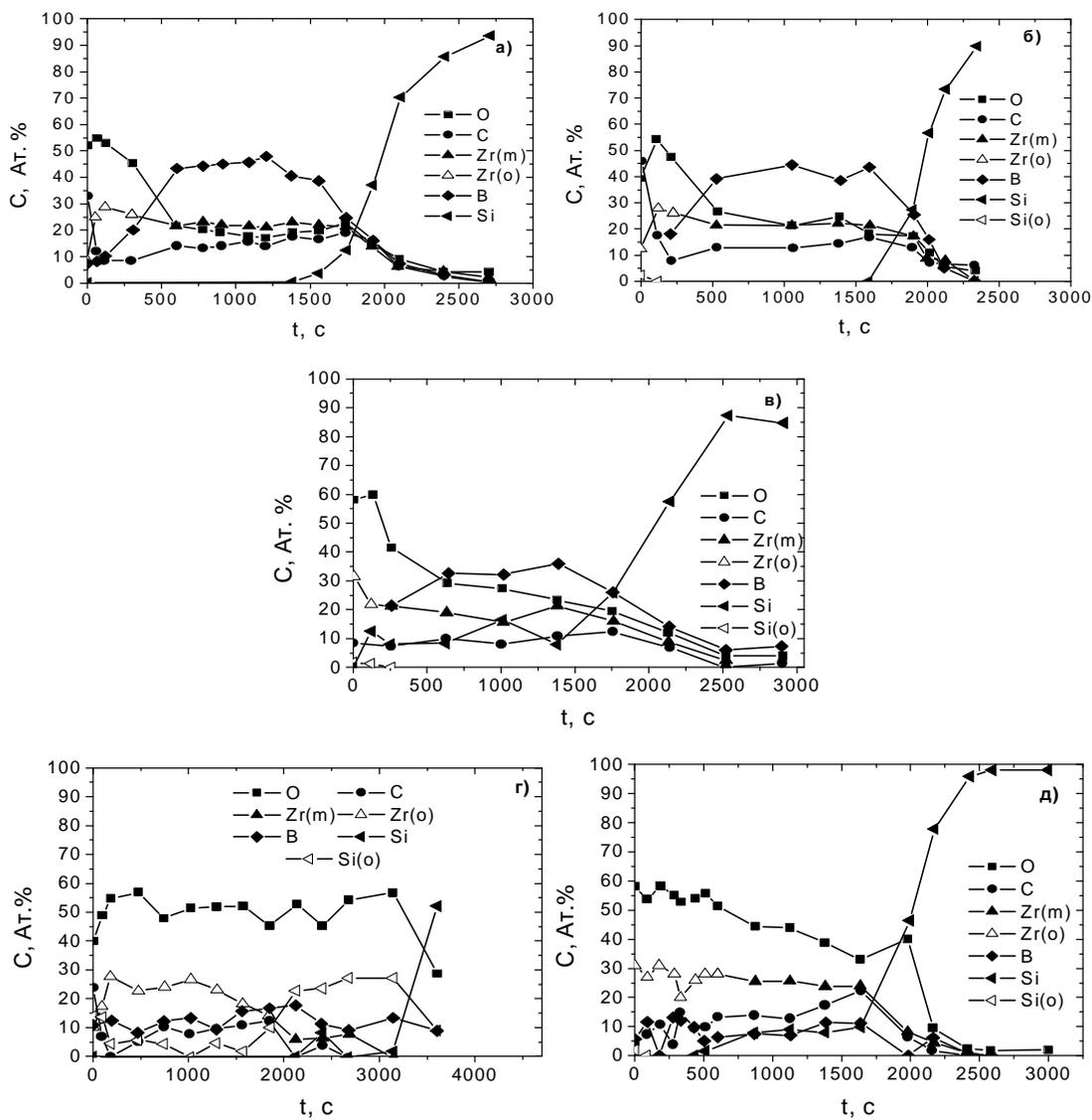
Бул жағдайда фазалар аралық шегараның нәтижелік химиялық қурамы, Ti-O, Ti-Si системаларындағы бәсекелес реакциялар менен анықланады, хәм олар контакттың қосымша структуралық-фазалық биртеклі емеслігіне алып келеді, демек, оның электрофизикалық параметрлерінің деградациясы жүзеге келеді.

Ti-Si системаасының стационар термикалық күйдирилиуі Ti<sub>2</sub>O<sub>5</sub> титан оксидінің хәм Ti<sub>3</sub>O титанында тәртіплескен кислород растворуының пайда болуына алып келеді [6], сондай-ақ титан пленкасы менен қоршаған орталықтан диффузияланған кислородтың өз-ара тәсірлесіуінде жүзеге келетуғын окисленіу реакциясын активлестіреді.

Кислород атомының бар болуы менен байланысly реакциялар TiV<sub>x</sub>-n-n<sup>+</sup>-Si контактлық структурасының 600<sup>0</sup>Сдан жоқары термикалық тез күйдириуіде бақланады [4]. Цирконий боридлері қатламларында да, контактлардың формаласыу процессі, контактлық структураларының формаланыуының дәслепкі басқышларындағы өз-ара тәсірлесіуінен пленка-подложка бөлім шегарасының ауысыуы жүзеге келеді (сүүрет.1.2).

Бул процесстің интенсивлігі өсіуші қатламның химиялық қурамын хәм пайда болу шәртлерін анықлайды. [1] де көрсетуінінше, бүркітилген қатламлар, қатнасы тереңлігі бойынша өзгеріуші екі фаза бирикпесінен ибарат. 400<sup>0</sup>С температурадағы күйдириу бүркітилген қатламда, моноборид цирконий формаланыуы менен байланысly структуралық-фазалық өтиуге алып келеді.

Бирақ пленканың екі фазалық халы сақланып қалады (сүүрет.1.2). 800-950<sup>0</sup>С жоқары температуралық күйдириу бүркітилген пленкадағы, сондай-ақ контакттың өтиуші қатламындағы структуралы-фазалық биртеклі емеслікті күшейтеді, бул пленка компонентлерінің Si атомлары менен бәсекелес реакциясының болып өтиуі менен байланысly.



*a* – дэслепки;

*b, c, d, e* – 60 сек даўамында  $T=400, 600, 800, 950^{\circ}\text{C}$

кўйдириўден кейин.

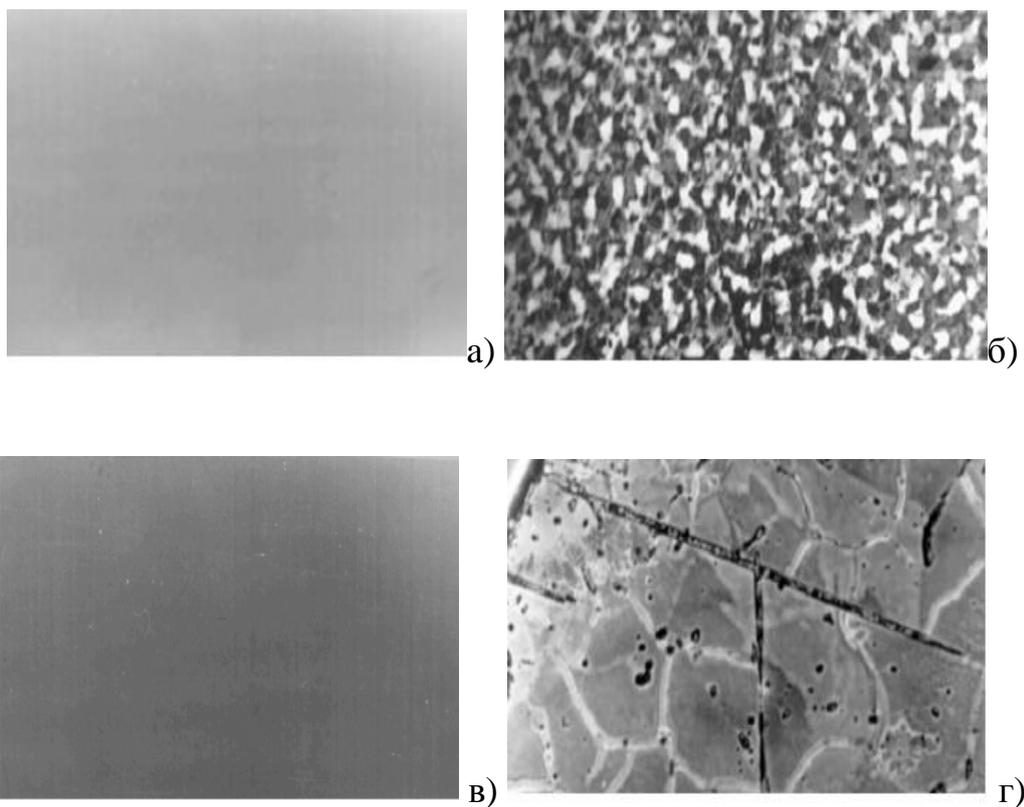
(m)-металлык фаза; (o)-окисленген

**Сўрет 1.2.  $\text{ZrB}_x\text{-n-n}^+\text{-Si}$  контактиниң компонентлериң атомлык профиллери [4]**

Au-TiB<sub>x</sub>-Si металлизация қатламларының морфологиясына термикалық тез күйдириу тәсирин изертлеу нәтижелеринің көрсетиуінше (сүурет.1.3, а, б), биртекли алтын қатламы TiB<sub>x</sub> квазиаморф пленкаларында микрогеуекшелер ямаса микродәншелер шегарасын пайда етиуши майда атаушаларға айланады [1]. Қысқа уақытлы термикалық тез күйдириу хәм антидиффузиялық қатламда дефектлердің бар болуы, алтын атомларының металл-ярымөткізгіш бөлим шегарасына өтиуине жақсы шараят жаратады, хәм контактлық система халының катастрофиялық бузылуына алып келеди. Алтынның өтиу қәддисин төменлету, система металлизациясы ушын диффузия активациясының жоқары энергиясына ийе қосымша қатламлардың қосылуы менен ерисилиу мүмкин. Көп қатламлы Si-Ti-TiB<sub>x</sub>-Mo-Au контактлық системасында 600°C термикалық тез күйдириу тәсиринде Si-TiB<sub>x</sub>-Au контактлық структуралардан паркы (сүурет.1.4, в, г), Мо ийе системада TiB<sub>x</sub> қатламында микрожарықлардың, еритиндилердің ямаса интерметаллық бирикпелердің пайда болуы сыяқлы айқын морфологиялық өзгеріслер жүзеге келеди. Микрожарықлардың пайда болуының себеби, сызықлы кеңейу коэффициентинің хәр қыйлылығы менен байланыссы ишки механикалық кернеулер релаксациясы болып табылады (таблица 1.1).

Барьерлердің термошыдамлылығы антидиффузиялық TiB<sub>2</sub> барьеринің TiN қатламы менен өзгертилиу жолы менен ерисилиу мүмкин. [2] жұмыс авторлары тәрәпинен, контактлық структураның термошыдамлылығын жоқарылатыу ушын, Au қатламының адгезиялық беккемлилигин арттырушы, TiN хәм Au пленкалары арасына Ti қатламын киритиу жолы көрсетилген.

Алтында Ti қатты халында киши ериушеңликке ийе; интерметаллық бирикпелердің формаланыуы хәм эвтектик айланыулар әдеуир жоқары температураларда әмелге асады.



а, в – дэслепки; б хэм г –800 хэм 600<sup>0</sup>С күйдириүден кейин

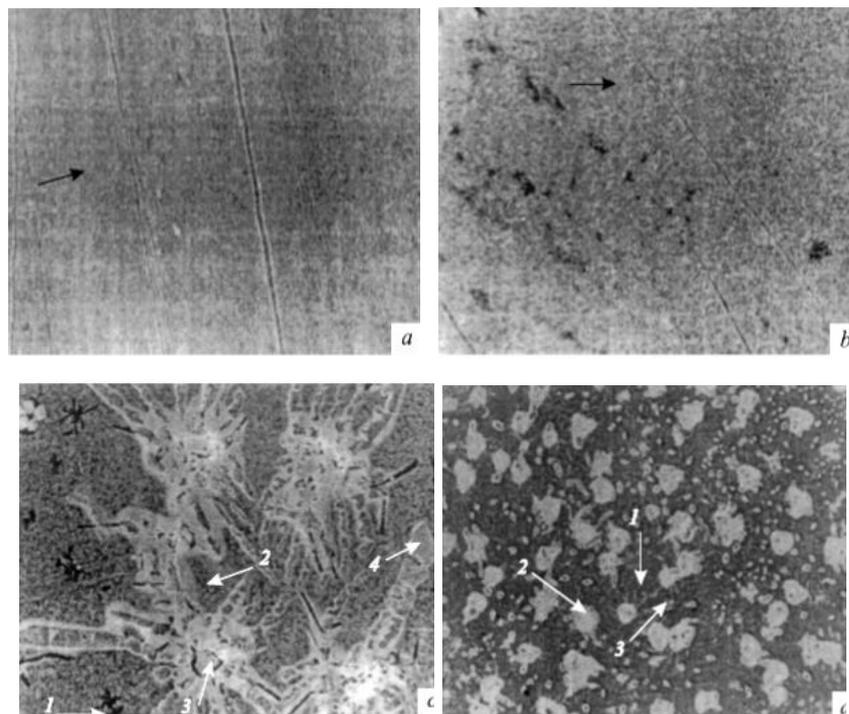
**Сүүрет 1.3. Si-TiB<sub>x</sub>-Au хэм Si-Ti-TiB<sub>x</sub>-Mo-Au контакти бетиниң морфологиясы [1]**

Таблица 1.1

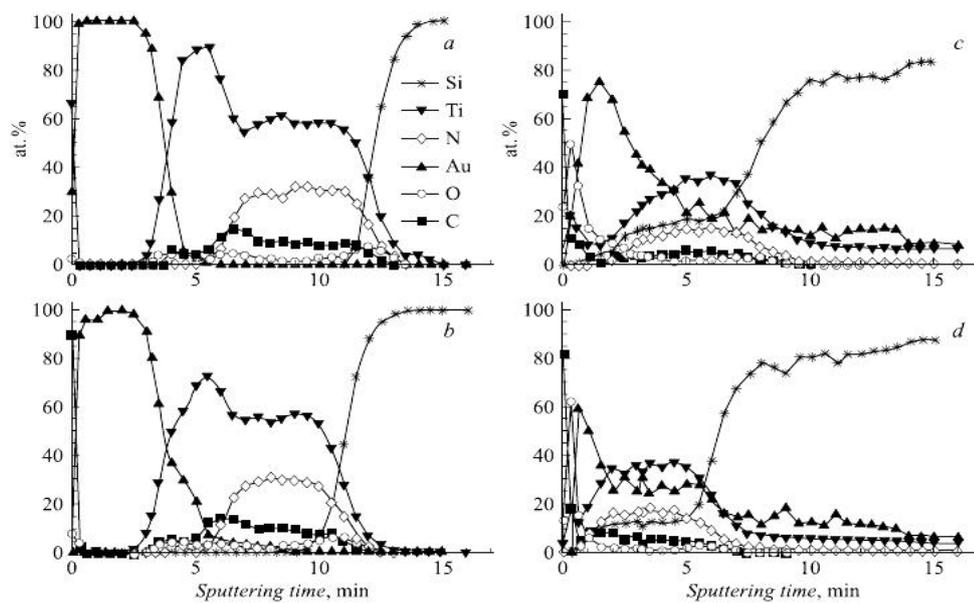
Гейбир металллар хэм компонентлердиң сызықлы кеңейиү коэффициентлери [1]

Зат	Au	Mo	Ti	Si	TiB <sub>2</sub>	TiN
$\alpha, 10^{-6} K^{-1}$	14.0	5.27	1.3	2.54	5.5	4.7

**A**



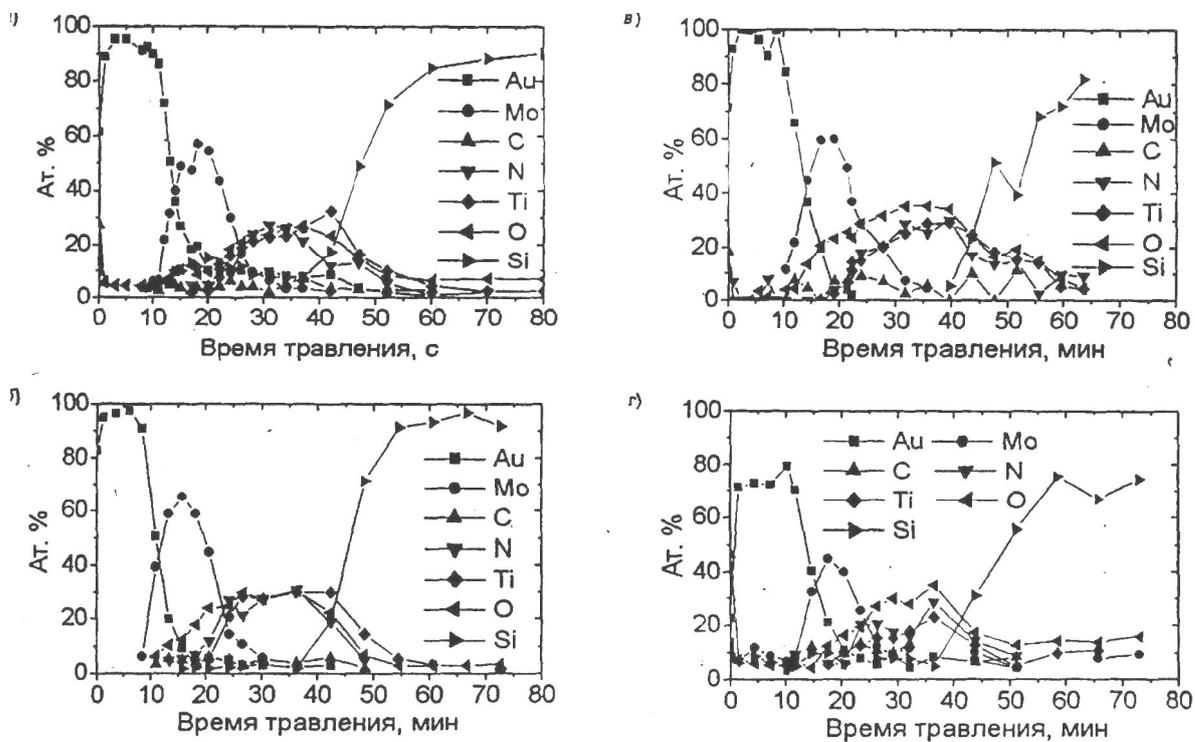
**B**



(a) – дэслепки хэм 60 сек даўамында

(b - 400, c - 600, d - 800°C) температурада кўйдириўден кейин

**Сўрет 1.4. (А) бетиниң морфологиясы хэм (В) Au-Ti-TiN<sub>x</sub>-Si контактиндеги компонентлердиң бөлистириў профиллери [2]**



дәслепки үлги (а); 60 сек даўамында  $T=400$  (б),  $600$  (в) ҳәм  $800^{\circ}\text{C}$ (з)  
 температурада кўдириўден кейин

**Сүүрет 1.5. Au-Mo-TiN<sub>x</sub>-n-n<sup>+</sup>-Si контактинде компонентлердин бөлистирилиў профиллери [3]**

1.4 сүүреттен коринип турғанындай, атап өтилген структураның морфологиялық өзгерислери, Si-TiN-Au контактиндеги өзгерислери менен бирдей, Au-Ti-TiN<sub>x</sub>-Si контактлық система ҳалының төменлениўинде де Au-TiN-Si контактиндегидей факторлар себеп болады. 400-600<sup>0</sup>С диапазонда гетеросистеманың структуралы-фазалық қайта дүзилиўинде, TiN<sub>x</sub> қатламында жарықлар хәм геўеклердиң пайда болыўы бақланады (сүүрет.1.4, А), олардың саны TiN<sub>x</sub> алыў режимине, оның қалыңлығына хәм механикалық кернеўлер шамасына ғәрезли. Сондай-ақ, бул геўеклер хәм жарықлар фазалар аралық зат тасылыў ушын қосымша каналға хәм контактлардың электрлик характеристикаларының өзгерисине себеп болады.

Бул мағлыўматлар, хәрқатламлы анализ нәтийжелери менен дәлилленген (сүүрет.1.5, В), Au-Ti-TiN<sub>x</sub>-Si контактлық системасының 400<sup>0</sup>С термикалық тез күйдирилиўинде, TiN<sub>x</sub> барьерлик қатламы өзгериске ушырамайды, ал ≈600(800<sup>0</sup>С) ислеўдеқатламлы структурасының бузылыўы хәм фазалар аралық шегараның «жуўылыўы» бақланады. 1.5 сүүретте көпқатламлы Au-Mo-TiN<sub>x</sub>-Si структурасының компонентлериниң бөлистрилиўи көрсетилген. Алтынның Мо де төмен ериўшеңлиги алтын атомларының антидиффузиялық қатламға, яғный металл-ярымөткизгиш фазалар аралық шегараға өтиўиниң алдын алады [3]. Күйдириў темепературасының жоқарылаўы молибден қатламының қалыңлығының киширейиўине тәсир жасайды, ол Au қатламына диффузия менен байланыслы, сондай-ақ TiN<sub>x</sub> қатламына реактив диффузия есабынан болады. Контакттың қатламлы структурасының бузылыўы 600<sup>0</sup>С температуралық күйдирилиўде бақланады, ал кейин антидиффузиялық қатлам, металлар хәм ярымөткизгишлер атомларының диффузиялық ағымына тосық бола алмайды (сүүрет.1.5, в), нәтийжеде структуралы-химиялық биртекли емеслигиниң өзгерисин менен болып өтеди. 800<sup>0</sup>С күйдириў атомлық араласыў процессин тамамлайды.

Бирқатламлы TiB<sub>x</sub>, ZrB<sub>x</sub> (TiN<sub>x</sub>)-Si структураларын күйдириў, 800<sup>0</sup>С шекемги жоқары термошыдамлылықты көрсетти. Көпқатламлы структуралар

жағдайында,  $400(600^{\circ}\text{C})$  күйдирилиў, қатламлы структураның өзгерисин жүзеге келтиреді, яғный бүркітилген металл пленкаларының атомлары ушын эффектив ағысы болатугын геўекшелер хәм жарықларды пайда етеді. Авторлардың көрсетиўинше, структураға қосымша металл (Mo, Ti), қатламының киритилиўи менен ерисилген, механикалық кернеўлердиң суммалық қураўшысының өзгериси ғана емес, ал олардың химиялық активлиги де үлкен әҳмийетке ийе.

## **2 БАП. КРЕМНИЙЛИ СТРУКТУРАЛАРДЫҢ ТАЯРЛАНЫҰ ТЕХНОЛОГИЯСЫ ХӘМ ЭЛЕКТРОФИЗИКАЛЫҚ ХАРАКТЕРИСТИКАСЫН ИЗЕРТЛЕҰ УСЫЛЛАРЫ**

Металлизация материалларының, қалыңлықтарының хәм қатламлық структураларын таңлау, формаланыушы контактлардың стабиллигин хәм беккемлигин тәминлейди, сондай-ақ электрофизикалық параметрлериниң талапдарына жууап береді. Аса жоқары жийликли диодларға омлық контактлардың деградацияларының тийкарғы себеплериниң бири, бул фазалар бөлимлериниң шегаралардағы өз-ара тәсирлесіулер хәм зат тасылыу (массоперенос) болып табылады.

Биринши тәрептен, мәселе жоқары температурада ериуши металлар тийкарындағы антидиффузиялық қатламға ийе көп қатламлы металлизация, сондай-ақ, шығыу жұмысы Si ден киши болған хәм металл-металл бөлим шегараларында зат тасылыуды әстелендириуши қыйын ериуши металлардың силициди тийкарындағы контактты пайда етиуши қатламның қолланылыуы менен шешиледи. Басқа тәрептен, қатламлардың артыуы аса жоқары жийликли әсбаптардың таярланыуының технологиялық процессиниң қымбатлауына хәм қурамаласыуына алып келеди. Сонлықтан, таярланыу қурамалылығы хәм исенимлилигин оптималластыруу мақсетинде, еки- хәм үшқатламлы омлық контактларды изертлеу актуал мәселелердин бири болып табылады.

### **2.1. Үлгилердин таярланыуы**

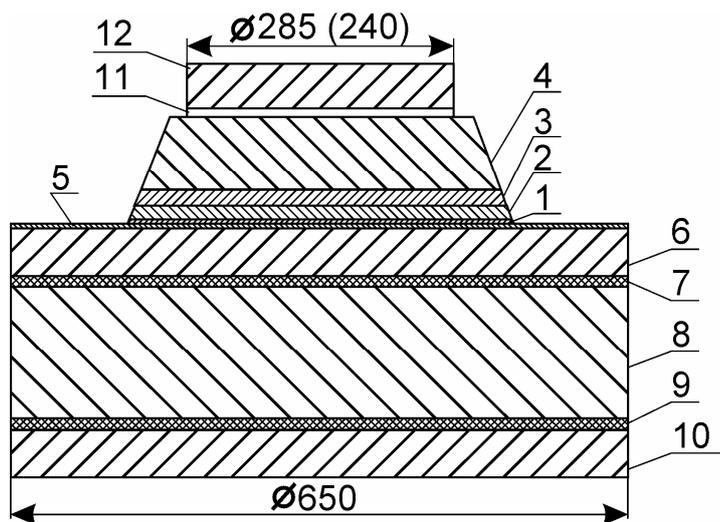
Легирлениуши примесь концентрациясы  $\sim 10^{20} \text{ см}^{-3}$  болған бор хәм фосфордың диффузиясы менен фомаластырылған  $p^+$  хәм  $n^+$  кремний қатламларына еки хәм үш қатламлы Au-Ti хәм Au-Ti-Pd контактлары изертленди.

Омлық контактлар қыздырылған кремний подложкасына қатламлы вакуумлы термикалық бүркитилий менен жаратылған. Бүркитилий ұақытлары Pd(15 с)-Ti(45 с)-Au(30 с).  $p$ - $n$ -өтиүйиниң тереңлиги  $\sim(3 \div 9,8) \cdot 10^{-5}$  см қурайды.

Фосфор менен  $10^{20} \text{ см}^{-3}$  легирлений жолы менен алынған  $n^{++}$ - $n^+$ Si (мышьяк пенен  $3 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$  шекем легирленген,  $\rho=0,002 \text{ Ом} \cdot \text{см}$  болған КЭМ типіндеги кремнийли подложка) структурасына Au-Ti-Pd<sub>2</sub>Si омлық контактлары изертленди. Au-Ti-Pd<sub>2</sub>Si металлизациясының формаланыуы 330°C шекем қыздырылған кремний подложкасына қатламлы вакуумлы термикалық бүркитилий жолы әмелге асырылған. Тестли структуралары қатламларының қалыңлықлары Au(100нм)-Ti(50нм)-Pd<sub>2</sub>Si(50нм)- $n^+$ Si. TLM структуралары, металларының қалыңлықлары Au(200нм)-Ti(100нм)-Pd(100нм) болған контаклық майданшалардың контролланыушы размерлерине ийе фотолитография жәрдеминде таярланған.

300 °C подложка температурасында, термикалық тазартылған ( $p^+$ )-Si бетине термикалық (Pd) хәм магнетронлы (Ti-Pd-Au) бүркитилий усылы менен формаластырылған Au-Pt-Ti-Pd-( $p^+$ )-Si тестли структуралары изертленген. Сондай-ақ,  $n^+$  подложкасының салыстырмалы қарсылығы  $0.002 \div 0.003 \text{ Ом} \cdot \text{см}$  болған,  $p$ - $n$ - $n^+$  эпитаксиал структуралар тийкарында таярланған сегиз миллиметрлик диапазонындағы толқын узынлықтағы лавиналы ушып өтиуши (ЛПД) диодлар үйренилди.  $p^+$ -катлам бор диффузиясы менен таярланған.  $p^+$  қатламында бор концентрациясы  $\sim 2 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ ,  $p^+$  қатламының қалыңлығы  $\sim 0.3 \text{ мкм}$ . Эпитаксиал  $p$  хәм  $n$  – қатламларының қалыңлықлары сәйкес  $0.95 \text{ мкм}$  хәм  $1.15 \text{ мкм}$ , ал ондағы олардағы акцепторлық хәм донорлық примеслер концентрациясы бирдей хәм  $3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$  тең.

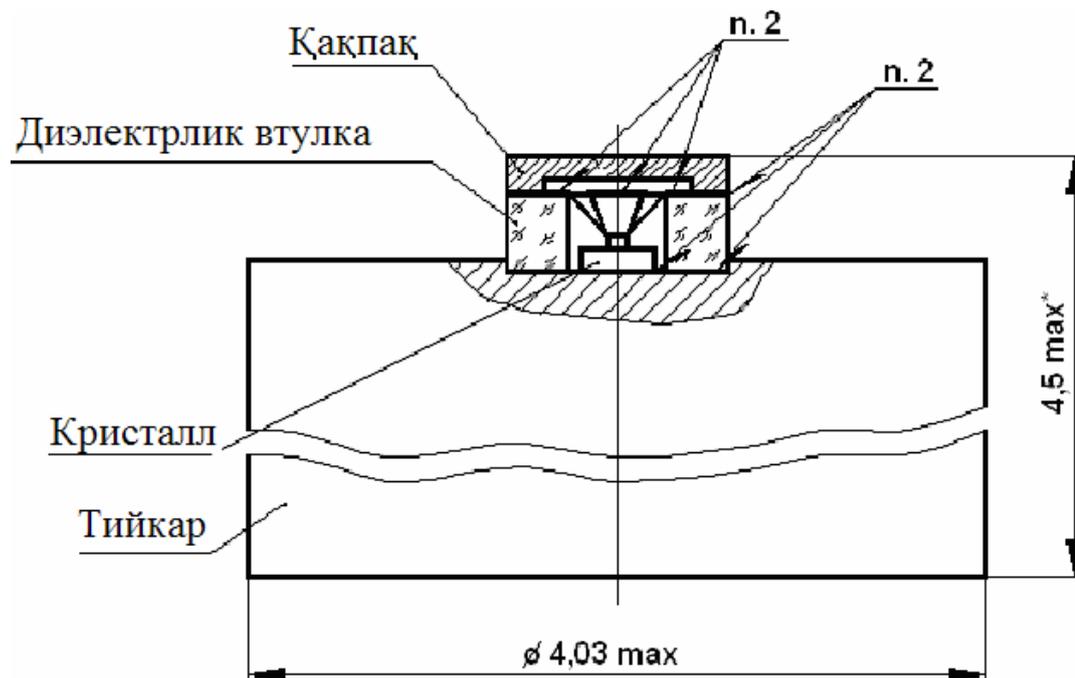
$p^+$  хәм  $n^+$  кремний қатламларына омлық контактлар Au-Pt-Ti-Pd металлизация тийкарында жаратылды. Диодлы чип структурасы 2.1 сүүретте көрсетилген.



1 –  $p^+$  - область, 2, 3 – дрейфлик  $p$  хэм  $n$  областлары,  
 4 –  $n^+$  подложка, 5 –  $p^+$  - областқа бүркітилген контактлық система  
 Pd-Ti-Pt-Au, 6, 10, 12 – гальваникалық алтын қатламы;  
 7, 9 – барьерли никель қатламы, 8 – мыслы ыссылық қайтарғыш,  
 11 –  $n^+$  - областқа бүркітилген контактлық система.

Өлшемлер микрометрлерде келтирилген.

**Сүўрет 2.1. Кремнийли IMPATT диоды чипиниң структурасы**



(Өлшемлер миллиметрлерде келтирилген)

**Сүүрет 2.2. Корпустағы кремнийли лавиналы-ушып өтiуши диодтың конструкциясы**

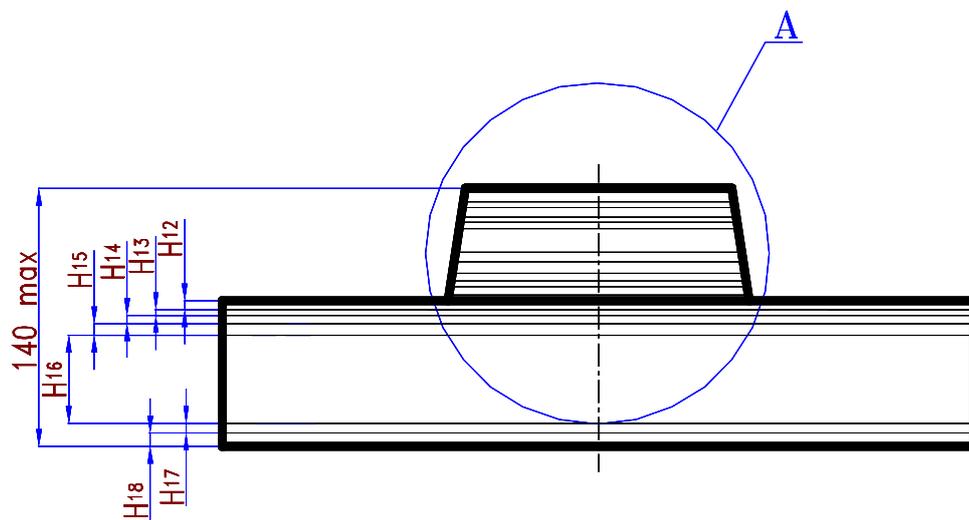
$10 \times 10 \text{ мм}^2$  өлшемдегі тестли структуралар улыўма металлизация қатламына ийе,  $\rho_c$  салыстырмалы контактлық қарсылық өлшеў ушын TLM – структуралар қолланылды.

Тестли хәм TLM структураларының металлизация қатламларының қалыңлығындағы айырмашылық электронлы Оже-спектроскопияның методикалық қәсийетлери менен байланысly.

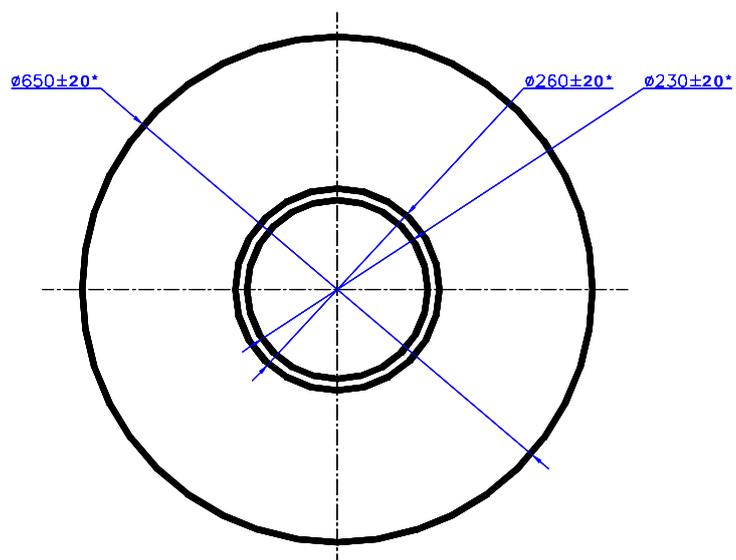
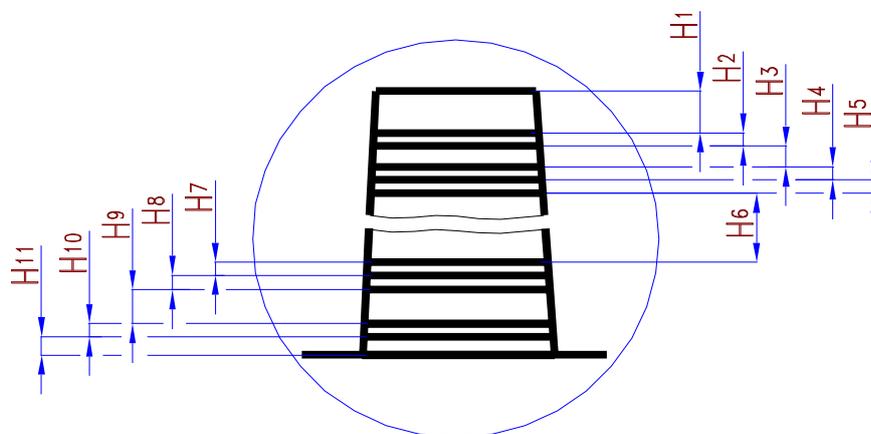
Жоқарыда көрсетилген контактлық системалар мыслы ыссылық қайтарғышта жайластрылған корпусланған ЛПДлардың актив бөлеги болып табылады, олар тийкардан, рубинли втулкадан, шығыстан хәм қақпақтан ибарат (сүўрет 2.2).

Интеграл теплостоктағы мезаструктура пайка усылы менен, диаметри 4 мм хәм бийиклиги 4 мм болған мыслы алтын жалатылған тийкарға орнатылады. Тийкардың жоқарғы бөлегинде диаметри 1,8 мм хәм тереңлиги 0,1 мм болған шуқыр исленген. Шуқырдың бар болыўы ЛПД конструкциясының механикалық беккемлигин арттырады хәм диодтың электродинамикалық характеристикалары менен генераторлық секциясын сәйкеслимканият береди. Диэлектрлик втулка сыпатында сыртқы диаметри 1,2 мм, бийиклиги 0,4 мм хәм ишки диаметри 0,7 мм болған втулка қолланылады. Втулка қырлары хром хәм алтынның вакуумлы бүркитилиўи менен металлизацияланады алтынның қалыңлығы 1 мкм. Втулка тийкарға термокопрессорлық сварка жәрдемінде орнатылады.

Кремнийли подложка эпитаксиал  $p^+ - p - n - n^+$  структурадан ибарат (сүўрет 2.3). Мезаструктура конструкциясы қалыңлығы 8-12 мкм, диаметри 220-280 мкмлик диск түринде ислетилген. Мезаструктураның жоқарғы контакти 200-240 мкм диаметрли диск түринде еки хәм үшқатламлы Au-Ti, Au-Ti-Pd, Au-Ti-Pd<sub>2</sub>Si жәрдемінде таярланған. Қалыңлығы 100 мкм хәм диаметри 650 мкм төменги контакт (интеграл ыссылық қайтарғыш) қурамалы структураға ийе.



A (100:1)



**Сүүрет 2.3. Кремнийли мезаструктура**  
(размерлер миллиметрлерде келтирилген).

Таблица 2.1.

Структура элементлери		Қалыңды- ғы, мк	Өткізіу шеңлік түри	Қолланылған материал
Атамасы	Белгиле ниўи			Атамасы. Маркасы
Контактлық қатлам	H1	6±0,5	-	Анод Зл 99,99 Ан 2×150×300 Калия дицианоаурат –(I)
Ток өткізіуші қатлам	H2	0,15±0,01	-	Сым Кр. Зл 999,9-0,5М
Барьерли қатлам	H3	0,22±0,02	-	Палладий Пд 99,9
Аралық қатлам	H4	0,05±0,01	-	Йодидли титан ТИ-1
Адгезиялы қатлам	H5	0,06±0,01	-	Палладий Пд 99,9
n <sup>+</sup> область	H6	9,0±1,5	n <sup>+</sup>	Кремнийли көпқатламлы структуралар 0,25 КДБ 0,003 40 0,9 КДБ 3,0 (16) 1,1 КЭФ 2,5 (16) 250 КЭМ 0,002÷0,003 (III)
База n	H7	1,1±0,05	n	
База p	H8	0,9±0,05	p	
p <sup>+</sup> область	H9	0,25±0,05	p <sup>+</sup>	
Адгезиялы қатлам	H10	0,06±0,01	-	Палладий Пд 99,9
Аралық қатлам	H11	0,08±0,01	-	Йодидли титан ТИ-1
Барьерли қатлам	H12	0,06±0,01	-	Платина 99,9
Ток өткізіуші қатлам	H13	0,15±0,01	-	Сым Кр. Зл 999,9-0,5М
Контактлы қатлам	H14	6,0±0,5	-	Анод Зл 99,99 Ан 2×150×300 Калия дицианоаурат –(I)
Аралық қатлам	H15	1,0±0,5	-	Никель (II) күкірт- кислоталы -7 суўлы
Ыссылық қайтарғыш	H16	90,0±10	-	Мыс (II) күкірткислоталы 5-суўлы
Аралық қатлам	H17	1,0±0,5	-	Никель (II) күкірт- кислоталы-7 суўлы
Контактлы қатлам	H18	6,0±0,5	-	Анод Зл 99,99 Ан 2×150×300 Калия дицианоаурат –(I)

Интеграл ыссылық қайтарғыш үшін Pd-Ti-Pt-Au тийкарындағы металлизация системасы қалың мыс қатламы (90 мкм) қолланылған. Алтынның хәм мыстың өз-ара диффузиясын жоқ етиў үшін, бул қатламлар арасына 1 мкм никель қатламы киритиледи (таб.2.1).

Термикалық ислеўлер омлық контактларды формаластырыў үшін технологиялық мақсетлерде, сондай-ақ 400-500<sup>0</sup> С температураларда омлық контактлардың термикалық шыдамлылығын изертлеў үшін өткерилди.

## 2.2. Контактлық қарсылықты өлшеў усылы

Омлық контактлардың контакт қарсылығын анализлеў кеңлиги W=400 мкм хәм узынлығы L=75 мкм болған оптималластырылған контакт майданларына ийе, 2.4-сүўретте көрсетилгендей, белгили интервал  $L_i=(L_1...L_6)$ , менен жайластырылған узын сызық усылы - transmission line method (TLM) да алып барылған.

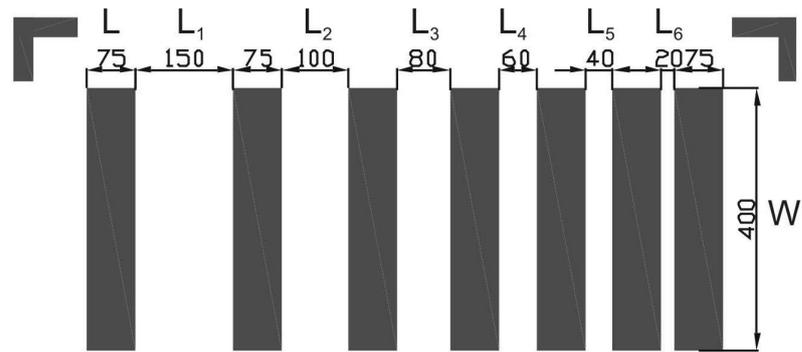
L улыўма узынлық  $3L_T$  дан үлкен екенлиги есапқа алынып,  $R_{SK} \approx R_{SH}$  үшін  $\text{Coth}(L/L_T) \rightarrow 1$  да толық қарсылық үшін әпиўайыластырылған аңлатпа келип шығады [7]:

$$R_i = \frac{R_{SH} L_i}{W} + 2 \frac{L_T R_{SH}}{W} \quad (2.1)$$

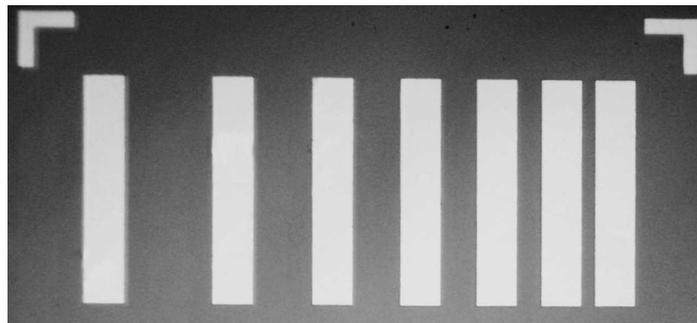
бунда

$$R_i = \frac{R_{SH} L_i}{W} + 2 \frac{L_T R_{SK}}{W} \coth\left(\frac{L}{L_T}\right) \quad (2.2)$$

еки контакт арасындағы толық қарсылық есапланады,  $L_T = \sqrt{\frac{\rho_c}{R_{SK}}}$  көшиў узынлығы;  $\rho_c$  - омлық контактлардың салыстырмалы өтиў қарсылығы, (2.2) деги биринши қосылыўшы ярым өкизгиштиң  $R_{SH}$  салыстырмалы бетлик қарсылығына ийе бөлиминиң, екиншиси болса контакт қарсылығы хәм контакт астындағы жайылыў қарсылығының суммасын болып табылады,



а)

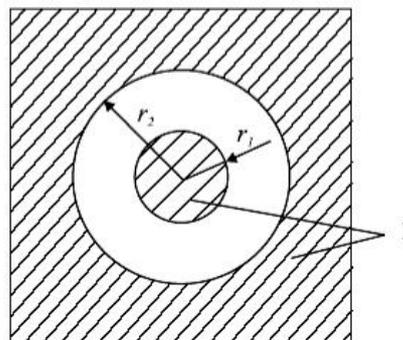


б)

а) Сызықты контактты TLM үшін контакт майданшаларының структурасы;

б) Формаланған структураның сыртқы көринісі.

**Сүўрет 2.4. Узын сызықлар усылы менен контактлық салыстырмалы қарсылығын өлшеў үшін фотошаблон**



1-контактлы қаплама;  $r_1$  хәм  $r_2$  - контактлық майданшалардың радиуслары

**Сүўрет 2.5. Омлық контактлардың өтиўши қарсылығын анықлаў үшін радиал симметрияға ийе шаблон фрагменти**

$R_{SK}$  - металл қатламы астындағы ярым өткізгіш қатламының салыстырмалы бетлік қарсылығы есапланады.

Контактлардың еки жұбы арасындағы толық қарсылықтың температуралық ғәрезлилигин өлшеу тийкарында бетлік қарсылығының температуралық ғәрезлилиги келип шығады:

$$R_{SH} = W \frac{R_1 - R_2}{L_1 - L_2} \quad (2.3)$$

онда, контакт қарсылығының температуралық ғәрезлилиги есапланыуы мүмкин:

$$\rho_c = L_T^2 R_{SH} = (WR_i - R_{SH} L_i)^2 / 4R_{SH} \quad (2.4).$$

Өлшеулер хәм потенциал зондлардан пайдаланып әмелге асырылған, бул болса зондлар қарсылығының улыуа қарсылыққа үлес қосыуының алдын алады.

Контактлық қарсылық сондай-ақ, модификацияланған TLM усыл менен өлшенеди [8].  $\rho_c$  шамасын анықлау үшін, концентрациялы жайласқан контактлық майданшалардан ибарат шаблон қолланылады, контактлық майданшалардың кишиси  $r_1$  радиусқа, ал үлкени  $r_2$  ишки радиусына ийе (сүурет 2.5).

Бир үлгиде бундай бир неше контактлық майданшалар таярланады. Контактлық майданшалардың радиуслары  $\ln(r_2 / r_1) = C$  шәрти орынланатуғындай етип таңлап алынады, бунда  $C$  – турақлы шама.

TLM моделге мууапық, [8] менен сәйкес контактлық майданшалар арасындағы қарсылық

$$R_t = \frac{R_s}{2\pi} \ln \frac{r_1}{r_2} + \frac{R_s}{2\pi} \frac{1}{\alpha r_1} \frac{I_0(\alpha r_1)}{I_1(\alpha r_1)}, \quad (2.5)$$

анықланады, бунда  $R_t$ - контактлық майданшалар арасында өлшенетуғын толық қарсылық;  $I_0(\alpha r_1)$  хәм  $I_1(\alpha r_1)$  - сәйкес түрде 0 хәм 1 тәртиптердеги Бессель модификацияланған функциялары;  $\alpha = (R_{SH} / \rho_c)^{1/2}$ . Егер

$\ln(r_2 / r_1) = C = const$  болса, онда  $R_t$  ның  $r_1$  ден ғәрезлилиги төмендеги түрге ийе болады

$$R_t = \frac{CR_s}{2\pi} + \frac{R_s}{2\pi} \frac{1}{\alpha r_1} \frac{I_0(\alpha r_1)}{I_1(\alpha r_1)} \quad (2.6)$$

Жетерлише киши  $r_1$  лерде,  $R_t$  ға контактлық қарсылық тийкарғы үлесин қосады хәм өлшеўлерде  $R_t$  салыстырмалы өзгерийүи артады.

$$\alpha r_1 \ll 1 \quad (2.7)$$

шәрти орынланғанда,  $I_0(\alpha r_1) / I_1(\alpha r_1) \rightarrow 2 / (\alpha r_1)$  асимптотикалық қатнасы орынлы болады, хәм (2.6) аңлатпасы

$$R_t = \frac{CR_s}{2\pi} + \frac{r_c}{\pi r^2} \quad (2.8)$$

түрге ийе болады. Солай етип, (2.7) шәрти орынланғанда  $R_t = R_t(r_1^{-2})$  ғәрезлилиги сызықлы болып табылады. Аппроксимацияланыўшы туўрының қыялығы  $\rho_c$  анықлайды.

$\rho_c$  өлшеўлериниң қәтелигин баҳалаймыз.  $1-2 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$  легирлениўинде, ярымөткизгиштиң салыстырмалы қарсылығы  $7 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \cdot \text{см}$  қурайды, фотолитографияның  $\Delta \ell = 2,5 \text{ мкм}$  дәллигинде,  $10^{-5} \text{ Ом} \cdot \text{см}$  салыстырмалы контактлық қарсылығының қәтелик мәниси  $\sim 30 \%$  береді

### 3 БАП. ТӘЖИРИЙБЕ НӘТИЙЖЕЛЕРИ ХӘМ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАҰ

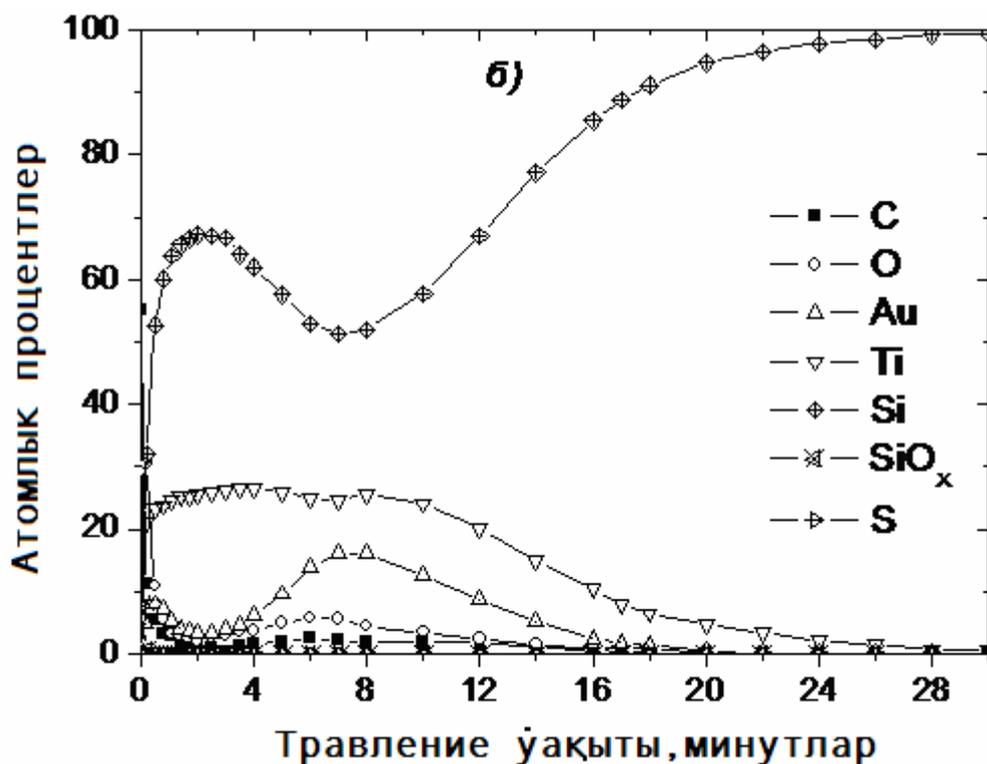
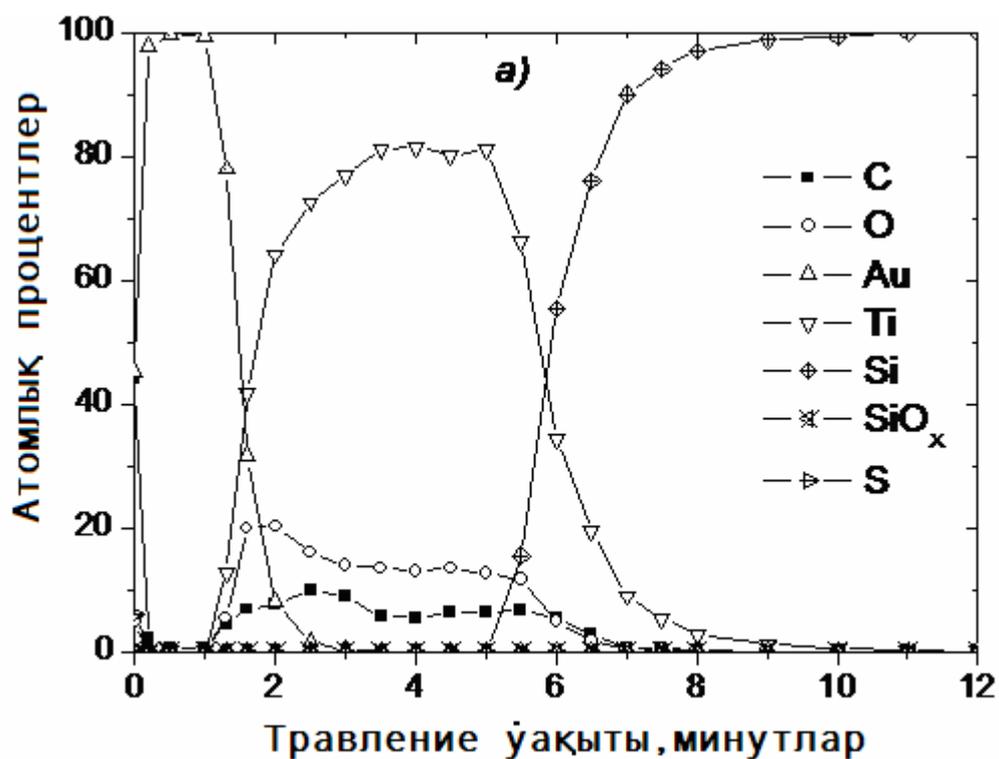
#### § 3.1. Термикалық ислеу тәсиринде кремнийли контактлық структуралардағы фазалар аралық өз-ара тәсирлесіулер

Актив ярымөткізгішли элементлердің структуралық қасиеттері, қатты денели аса жоқары жийликли электрониканың компонентлик базасының беккемлигин анықлайды, себеби оларда жетерлише жоқары дәрежедеги ишки механикалық кернеулер бар болады. Сыртқы тәсирлер нәтижесинде ишки механикалық кернеулер релаксациясы жүзеге келеди [9-12]. Ол ярымөткізгішли эсбаптардың параметрлериниң өзгерисине ямаса созылған өтиуши қатламларды пайда етиуши металлизация қатламларындағы зат тасылыуға, хәм соңында контактлардың деградациясына алып келиуши жаңа дефектлерди пайда етип барады. Соңғы жағдайда температура тәсири әхмийетли болып табылады [9-14]. Сонлықтан,  $p^+$  хәм  $n^+$  - түрдеги күшли легирленген областларға қойылған омлық контактлардың фазала аралық өз-ара тәсирлесіуин үйрениу актуал мәселердин бири болып табылады.

Металлизация компонентлериниң бөлистирилиу профиллери LAS-2000 Оже-спектрометринде, фазалық курам – Philips X'Pert-MPD ( $CuK_{\alpha}$ ,  $\lambda=0,15418\text{nm}$ ) рентген дифрактометринде анықланған.

Au-Ti- $n^+$ Si омлық контактиндеги қыздырылған подложкаға бүркитилиу процессинде 60 сек дауамында  $T=500^{\circ}\text{C}$  термикалық тез күйдириуде жүзеге келиуши фазалар аралық өз-ара тәсирлесіулер үйренілген.

Контактлардағы компонентлердин бөлистирилиу профиллери ушын тегис металлизацияға ийе Au(500Å)-Ti(500Å)- $n^+$ Si қалыңлықтағы пленкалар қолланылған [15].

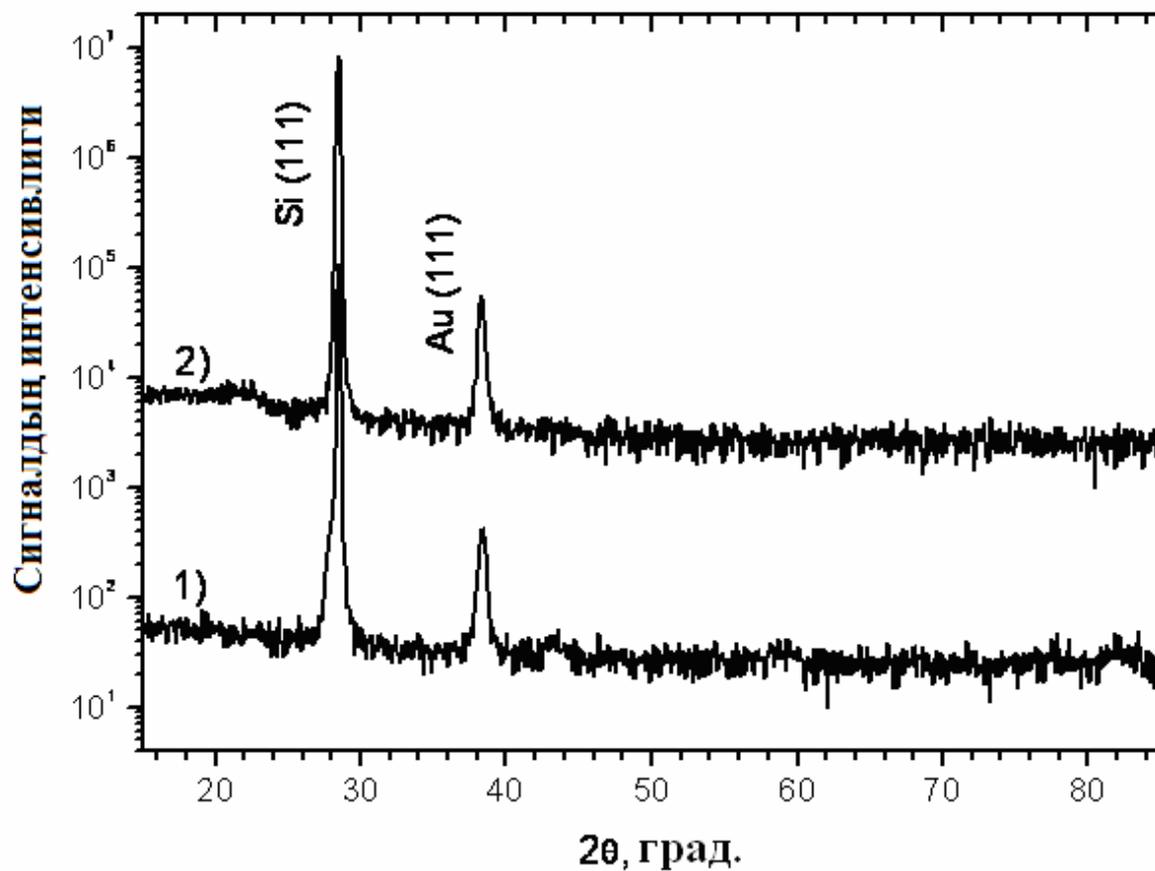


а- дэслепки үлги, б- 60 сек  $T=500^{\circ}\text{C}$  термикалық тез күйдириўден кейин  
 Сүүрет 3.1. Au-Ti-n<sup>+</sup>Si контактинде компонентлердин бөлистирилиў  
 профиллери.

3.1 а, б сүүретте 60 сек даўамында  $T=500^{\circ}\text{C}$  термикалық тез күйдириўге шекемги хәм кейинги  $\text{Au-Ti-n}^+\text{Si}$  омлық металлизациясының компонентлериниң бөлистирилиў профиллеринде көринип турғанындай, дәслепки үлгиде металлизацияның қатламлы структурасы, ал Ti пленкасында 10% шекем углерод хәм ~15% кислород бақланып атыр.

Ti -  $\text{n}^+\text{Si}$  бөлим шегарасы областында өз-ара зат тасылыўы есабынан, рентгенфазалы анализ бойынша структурасы аморф болған өтиўши қатлам жүзеге келген, дәслепки үлгиниң рентгенодифрактограммасы 10 мин даўамында  $T=450^{\circ}\text{C}$  термикалық ислеўден өткен үлгилер Au хәм Si рефлекслерине ийе (сүүрет 3.2, 1 хәм 2). Металлизация қатламларын Оже профиллеў нәтийжеси бойынша термикалық тез күйдириў контакттың қатламлы структурасының бузылыўына, Ti пленкасының кремний менен байыўына, кремнийдиң Au пленкасы бетине шығыўына хәм Au кремнийдиң бетлик областына өтиўине алып келеди. Бунда, металлизацияның дерлик толық қатламы титан силицидине ийе, хәм бул TiSi  $T=500^{\circ}\text{C}$  формаланыўы хаққында [9-10, 12, 16] менен сәйкес келеди. Анализленип атырған хәр Au хәм Ti қатламларының қалыңлықлары 50 нм болғанлықтан, таңлап алынған термикалық тез күйдириў режими барлық көлемде титанның силицидлик фазасының пайда болыўы ушын жетерли болды. Подложканың  $400^{\circ}\text{C}$  шекем қыздырылыўына қарамастан, дәслепки үлгиде титанның силицидлик фазасы бақланбайды.  $T=500^{\circ}\text{C}$  термикалық тез күйдириўден кейин титан силицидиниң пайда болыўы [9] мағлыўматларға сәйкес келеди, 3.4, б сүүретте көрсетилгендей – пайда болған араласыў областының қалыңлығы бойынша титан силициди қурамының бир текли емес бөлистирилиўине алып келеди.

$\text{Au-Ti-Pd}_2\text{Si-n}^+\text{Si}$  контактлық структурасында металлар пленкалары  $330^{\circ}\text{C}$  шекем қыздырылған подложкаға қатламлы вакуумлы термикалық бүркитилиў жолы менен алынған.



1-дәслепки үлгі; 2-10 мин дауаында  $T=450^{\circ}\text{C}$  күйдириуден кейин

**Сүүрет 3.2. Au-Ti-n<sup>+</sup>Si контактлық металлизациясының рентгенодифрактограммасы**

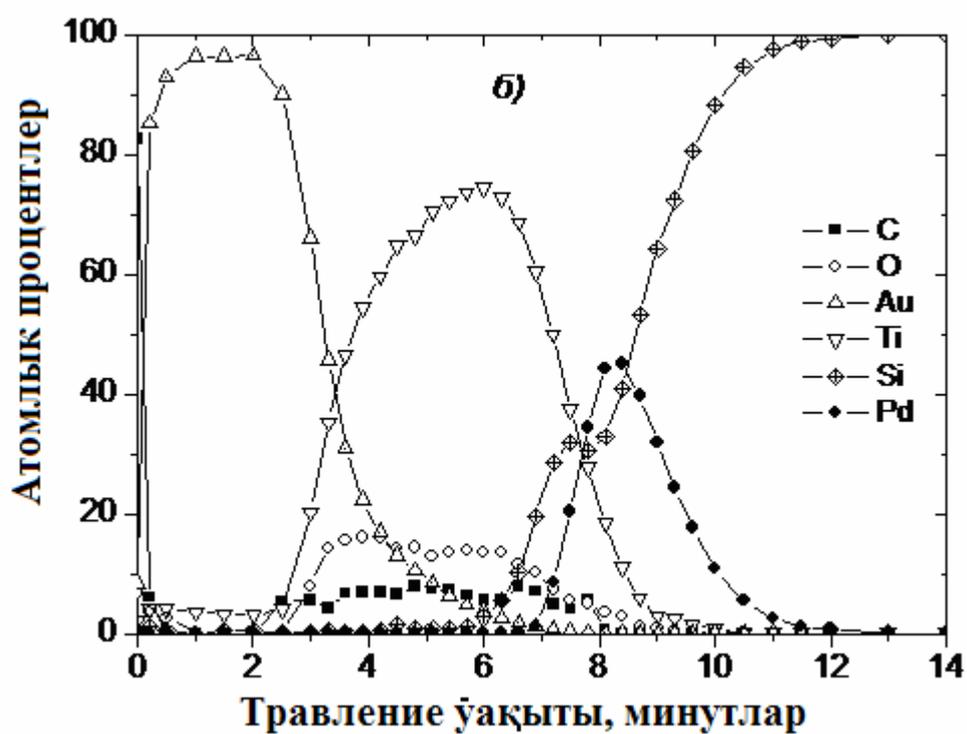
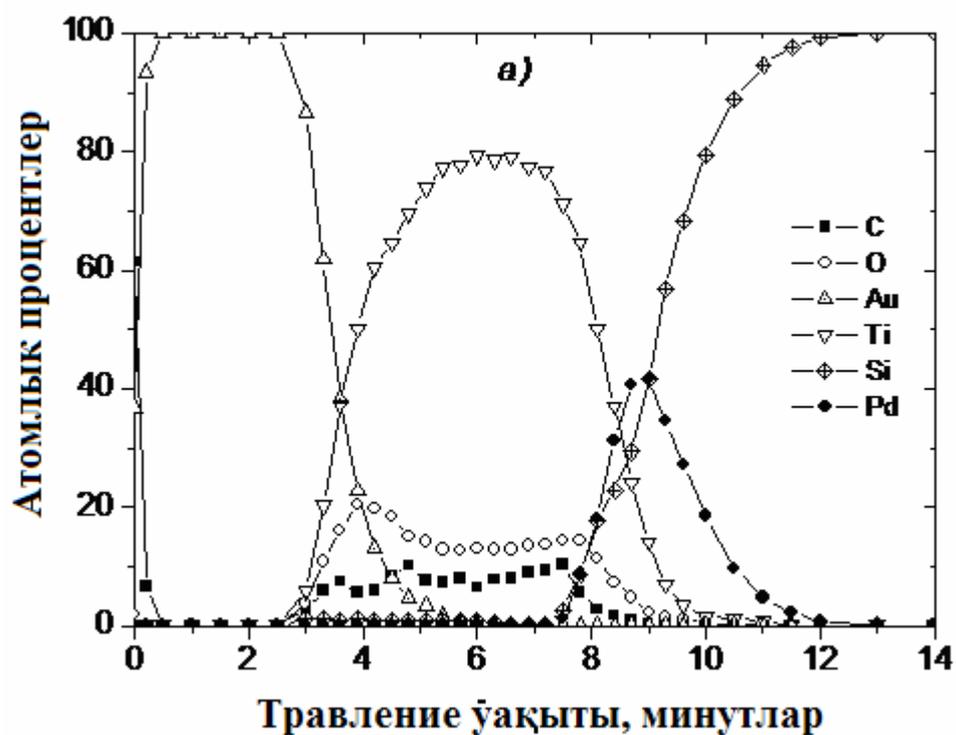
Электронлы Оже спектроскопия усылы менен изертлеу ушын үлгилердин тегис металлизациясына ийе,  $\text{Au}(1000\text{\AA})\text{-Ti}(500\text{\AA})\text{-Pd}_2\text{Si}(500\text{\AA})\text{-n}^+\text{Si}$  қалыңлықтағы структуралар қолланылған [15].

3.3 а, б сүүретте келтирилген  $\text{Au-Ti-Pd-n}^+\text{-Si}$  омлық контактындағы металлизация компонентлеринің бөлистирилиу профиллерінде, [9, 12] берілген мағлыұматларға муұапық дәслепки үлгинің  $\text{Pd-Si}$  бөлим шегарасында палладий силицидиң формаланыуы жүзеге келген.

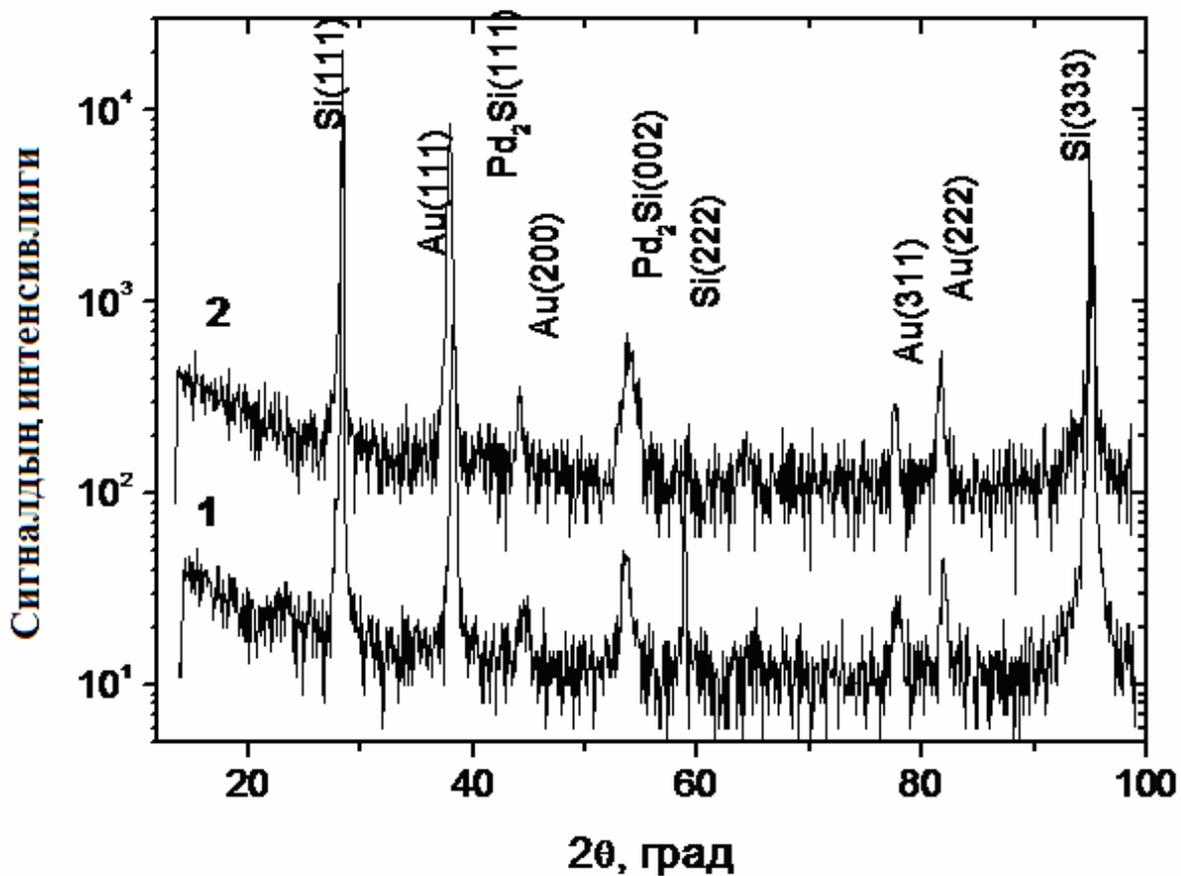
Күйдирилген үлгиде өтиуши областтың кеңейиуи, палладий менен кремний бирикпесинің бөлим шегарасында  $\text{Au}$  атомлары өтиуши областқа диффузияланған, ал титан  $\text{Au}$  пленкасы арқалы өтип алтын металлизация бетине шыққан. Бунда силицидлик фаза курамы көбейген. Алтынның палладий силициди-кремний бөлим шегарасы областына өтиуи хәм титанның  $\text{Au}$  пленкасы бетине шығыуы, контактлық металлизациядағы деградациялық процесслердин итималлығын көрсетеди.

Дәслепки үлгиде  $\text{Pd}$  силицидлик фазасы бүркитилиу процессінде-ак жүзеге келеди, 10 мин дауамындағы  $450^\circ\text{C}$  термикалық ислеу металлизацияның қатламлық структурасын өзгертпейди (сүүрет 3.3 а, б). Бул жағдайда, дәслепки хәм  $450^\circ\text{C}$  термикалық ислеуден өткен үлгиде де, металл менен  $\text{Si}$  бөлим шегарасындағы өтиуши область углерод хәм кислородтың қатнасында,  $\text{Ti}$  хәм  $\text{Pd}$  атомлары менен байытылған,  $\text{Au}$  бөлистирилиу профили улыуа өзгермейди.

Электронлы Оже – профиллеу (сүүрет 3.6) хәм структуралық изертлеу (сүүрет 3.4) мағлыұматлары бойынша, омлық контактлардың бундай металлизациясы, палладий силициди менен  $\text{Si}$  тығыз контактин пайда етиу керек.  $T=450^\circ\text{C}$  күйдирилиуде, контактлық қатламның барлық көлемінде  $\text{Pd}_2\text{Si}$  пайда болыу реакциясының жуумақланыуы хәм оның кремний менен байытылыуы жүзеге келеди.

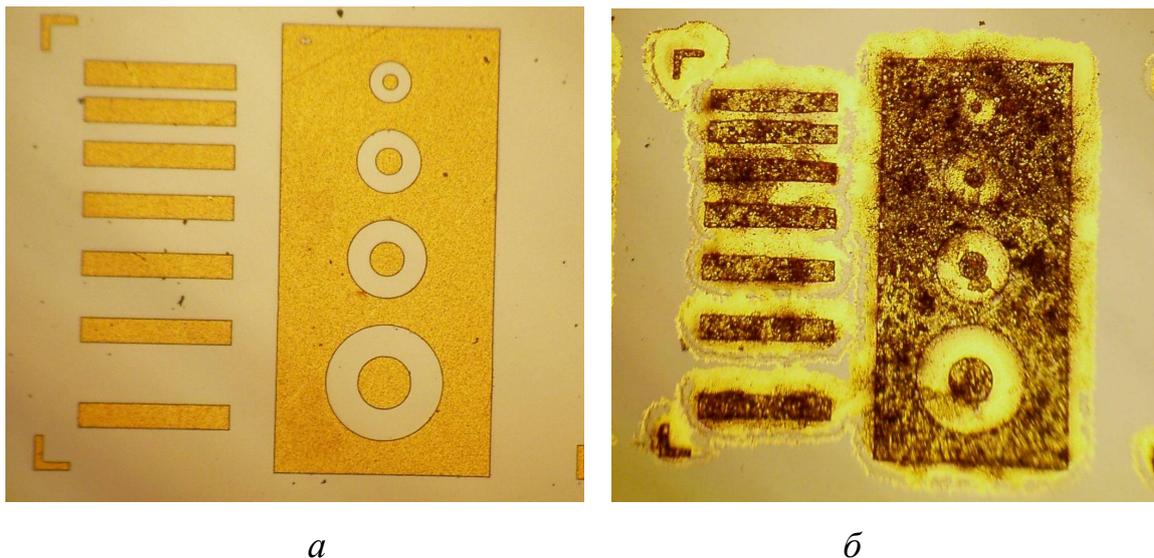


а-дәслепки үлги; б -10 мин даўамында  $T=450^{\circ}\text{C}$  күйдириўден кейин  
**Сүўрет 3.3. Au-Ti-Pd<sub>2</sub>Si-n<sup>+</sup>Si контактындағы компонентлердің бөлистирилиў профиллери**



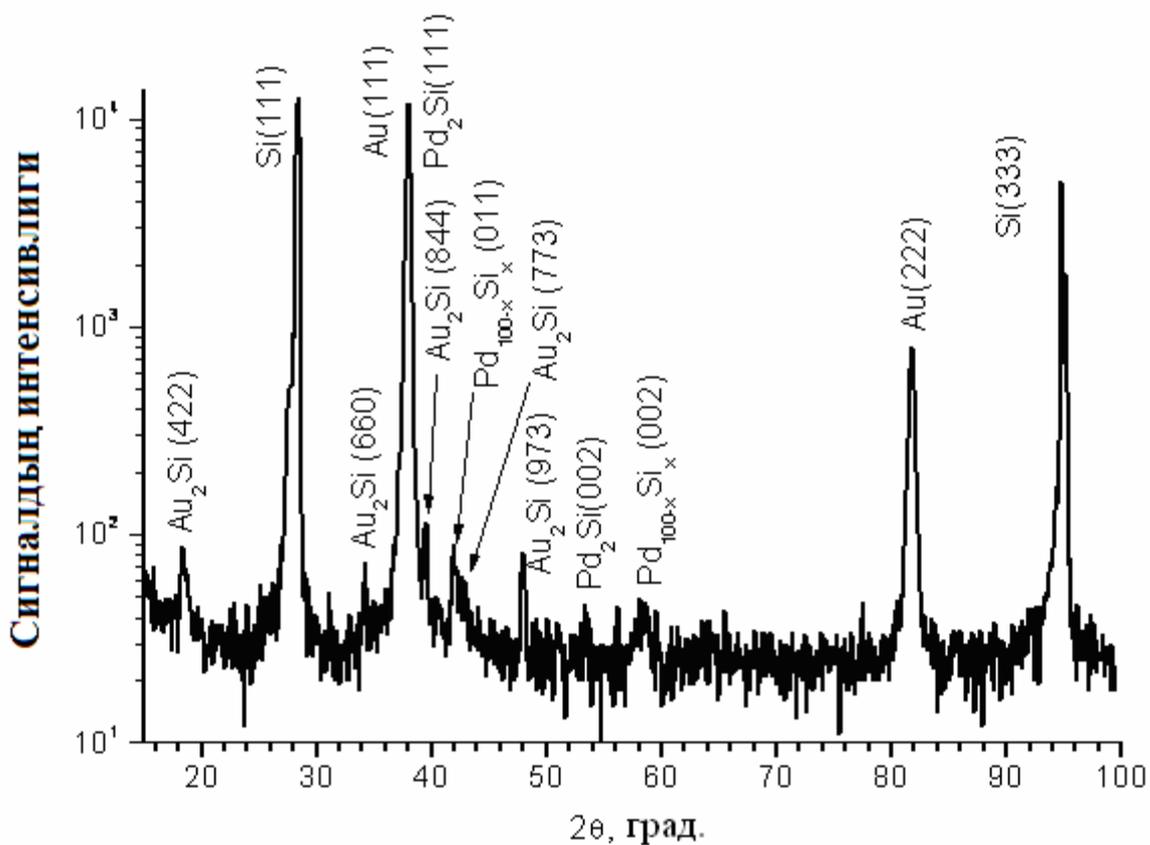
1-дәслепки үлги; 2-10 мин даўамында  $T=450^\circ\text{C}$  күйдириўден кейин

**Сүүрет 3.4. Au-Ti-Pd<sub>2</sub>Si-n<sup>+</sup>Si контактлық металлизациясының рентгенодифрактограммасы**



а-дәслепки үлгі; б -20 мин дауамында  $T=450^{\circ}\text{C}$  күйдириуден кейин

**Сүүрет 3.5. Au-Ti-Pd-n<sup>+</sup>Si тестли структуралар морфологиясы.**



**Сүүрет. 3.6. Au-Ti-Pd-n<sup>+</sup>Si контактлық металлизациясының 20 мин дауамында  $T=450^{\circ}\text{C}$  күйдириуден кейинги рентгенодифрактограммасы**

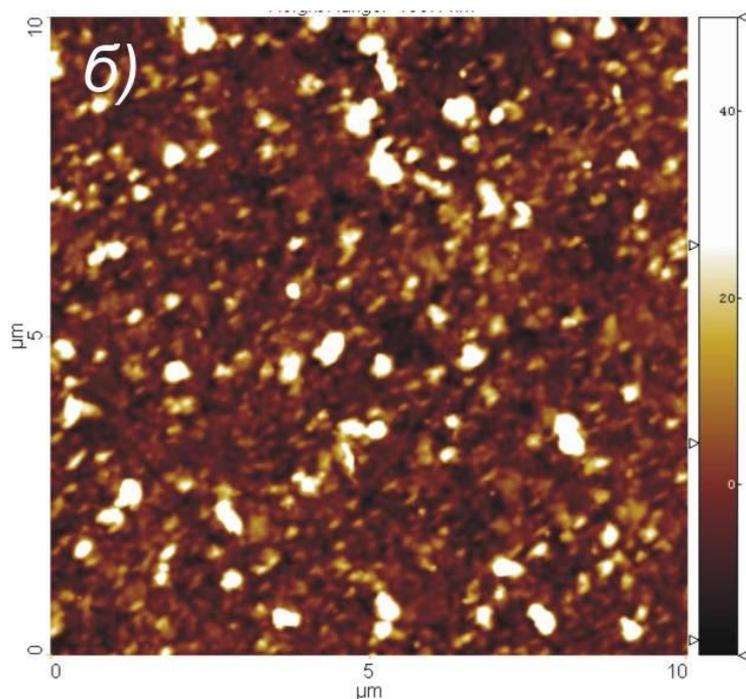
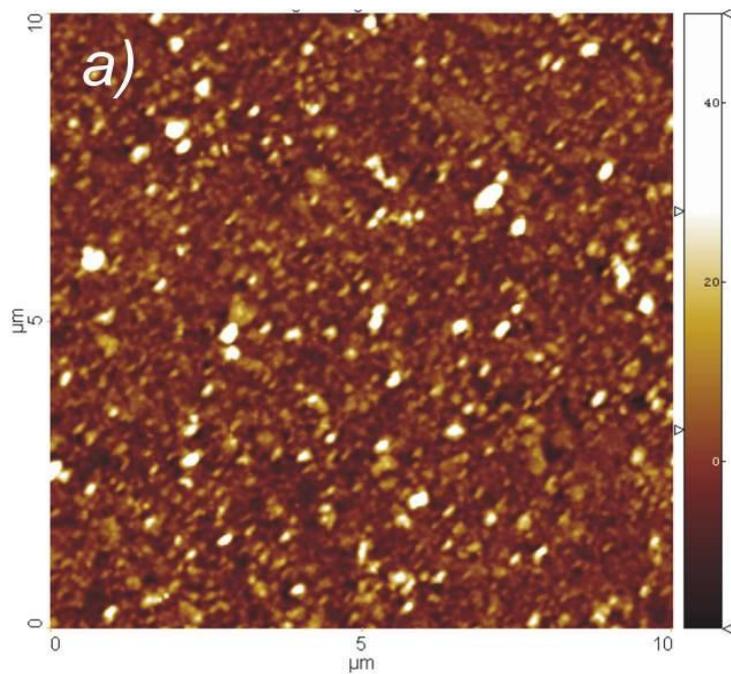
Дәслепки хәм 10 мин даўамында  $T=450^{\circ}\text{C}$  термикалық ислеўден өткен Au-Ti-Pd<sub>2</sub>Si-n<sup>+</sup>Si металлизациясына ийе үлгилердиң рентгенограммаларында, Si подложкасынан, Au пленкасынан, сондай-ақ Pd<sub>2</sub>Si фазасынан рефлекслер бақланады (сүўрет 3.4). Фазалық курамның өзгериссизлиги, қыздырылған подложка бетине металлизация бүркитилиўинде, Pd<sub>2</sub>Si фазасының пайда болыўы хаққында дерек береді, хәм ол стабіль халда қалып, кейинги күйдирилиўде Au пленкасы менен реакцияға кириспейди.

10 мин даўамында  $T=450^{\circ}\text{C}$  термикалық ислеў (термикалық ислеўдиң улыўма ўақыты  $T=450^{\circ}\text{C}$  20 минут) контакттың қатламлы структурасының бузылыўына,  $\rho_c$  артыўына алып келеди. 20 мин суммалық ўақыт даўамындағы  $T=450^{\circ}\text{C}$  термикалық ислеўден кейинги тестли структуралардың морфологиясы 3.5, а сүўретте, ал тестли структуралардың рентгенодифрактограммасы – 3.6 сүўретте келтирилген. 3.6 сүўретте, рентгенодифрактограммада n<sup>+</sup> подложкадан, Au пленкадан, сондай-ақ Au<sub>2</sub>Si, Pd<sub>2</sub>Si хәм Pd<sub>100-x</sub>Si<sub>x</sub> силицидли фазалардан рефлекслер бақланған. Ti хәм оның бирикпелеринен рефлекслер бақланбаған, хәм бул Ti хәм оның бирикпелериниң аморф халда екенлигинен мағлыўмат береді.

10 мин даўамындағы дәслепки  $T=450^{\circ}\text{C}$  термикалық ислеўдеги металлизацияның фазалық курамының өзгериссизлиги (сүўрет.3.4), кремний бетинен металлизация қатламларының ионлық травление жолы алынғаннан кейинги эzzi өзгериўши кремний бетиниң морфологиясы менен дәллиленеди (сүўрет.3.7).

Рентгенодифрактограммаларда титан менен байланыслы рефлекслердиң болмаўы, бул компонентлердин аморф халда екенлигинен дерек береді.

Солай етип, жоқарыда атап өтилген усыл менен формаластырылған Au-Ti-Pd<sub>2</sub>Si металлизациясына ийе омлық контактлар 10 мин даўамында  $T=450^{\circ}\text{C}$  термикалық ислеў хәм 60 сек  $T=500^{\circ}\text{C}$  термикалық тенз күйдириўде нәтийжесинде деградацияланбайды, яғный бундай қысқа ўақытлы температуралық перегрузкаларға шыдам бере алатуғынлығын көрсетеди.



а-дәслепки үлгі; б -10 мин даўамында  $T=450^{\circ}\text{C}$  күйдириўден кейин

Үлгиниң майданы  $(10 \cdot 10^{-4} \text{ см})^2 = 10^{-6} \text{ см}^2$ .

Структуралық биртекли емесликлер тығызлығы  $>10^8 \text{ см}^2$

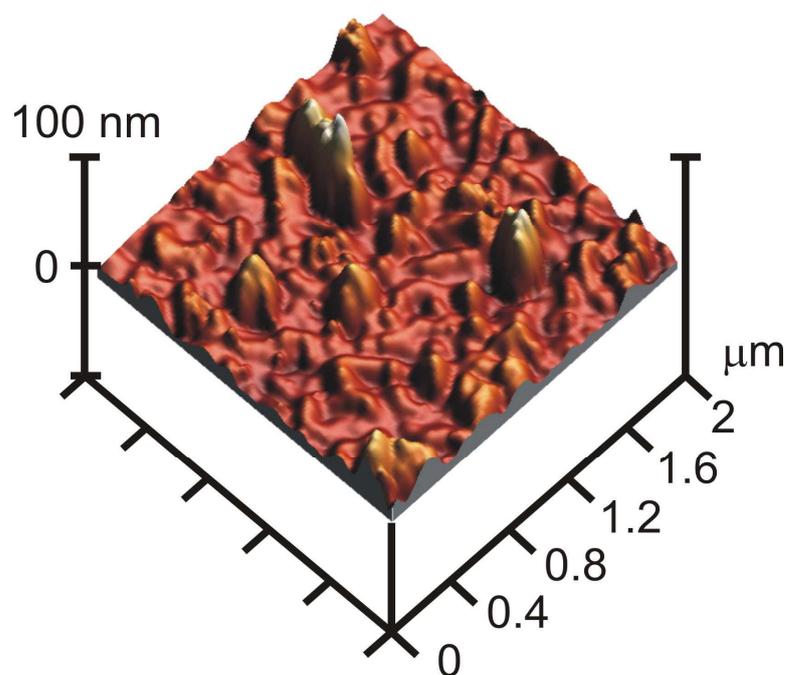
**Сүўрет 3.7. Au-Ti-Pd<sub>2</sub>Si-n<sup>+</sup>Si контактлық металлизациясы алып таслағаннан кейинги n<sup>+</sup>Si бетиниң морфологиясы**

Нәўбеттеги 10 мин 450°C режиміндеги термоислеў контакт деградациясына алып келеди.

Бундай усыл менен таярланған омлық контактларда металлық өткізиўшеңликке характерли, салыстырмалы контактлық қарсылықтың температура жоқарылаўы менен артыўы бақланған. Бунда металлық шунтлардың саны шама менен фосфор менен легирленген диффузиялық  $n^+$  қаталмындағы, бор менен легирленген  $p^+$  қатламындағы структуралық дефектлер тығызлығына, сондай-ақ металлизация қатламлары алынғаннан кейинги металл-Si бөлим шегарасындағы структуралық дефектлер тығызлығына жақын (сүўрет 3.8). Кейинги фактор, бүркитилиў процессінде, рентгенофазалық анализде анықланған (сүўрет 3.9)  $Pd_2Si$  фазасының пайда болыў мүмкиншилигин жаратыўшы, Pd бөлегиниң Si өткенлигин дәллилейди (сүўрет. 3.12). Бунда, Pd толығы менен  $Pd_2Si$  фазасының формаланыўына кетпестен, ал Pd атомларының бөлеги жаңа фаза жаратпай структуралық дефектлерде шөгип аралас бөлим шегарасын пайда етиў итималы көрсетилген. Бундай процесслердиң мүмкинлиги ҳаққында [17] авторлары да атап өткен.

Бул жағдайда шунтлардың формаласыўы ҳәм 3.9 сүўретте көрсетилген контактлық өтиўдиң планар бир текли емеслигиниң күшейиўи мүмкин.

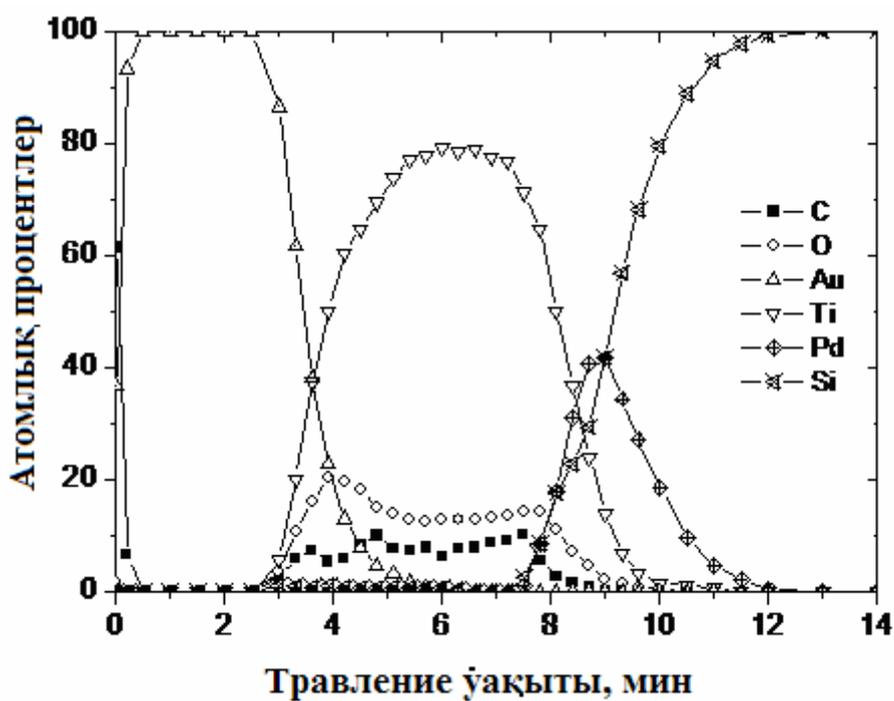
Сондай-ақ,  $n-n^+$  Si эпитаксиал структурасына  $5 \cdot 10^{19} \div 2,5 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$  концентрациясына шекем бор диффузиясы менен формаластырылған күшли легирленген  $p^+$ -кремний қатламларына палладий дисилициди тийкарындағы омлық контактлардың фазалар аралық өз-ара тәсирлесийўлери үйренилди.



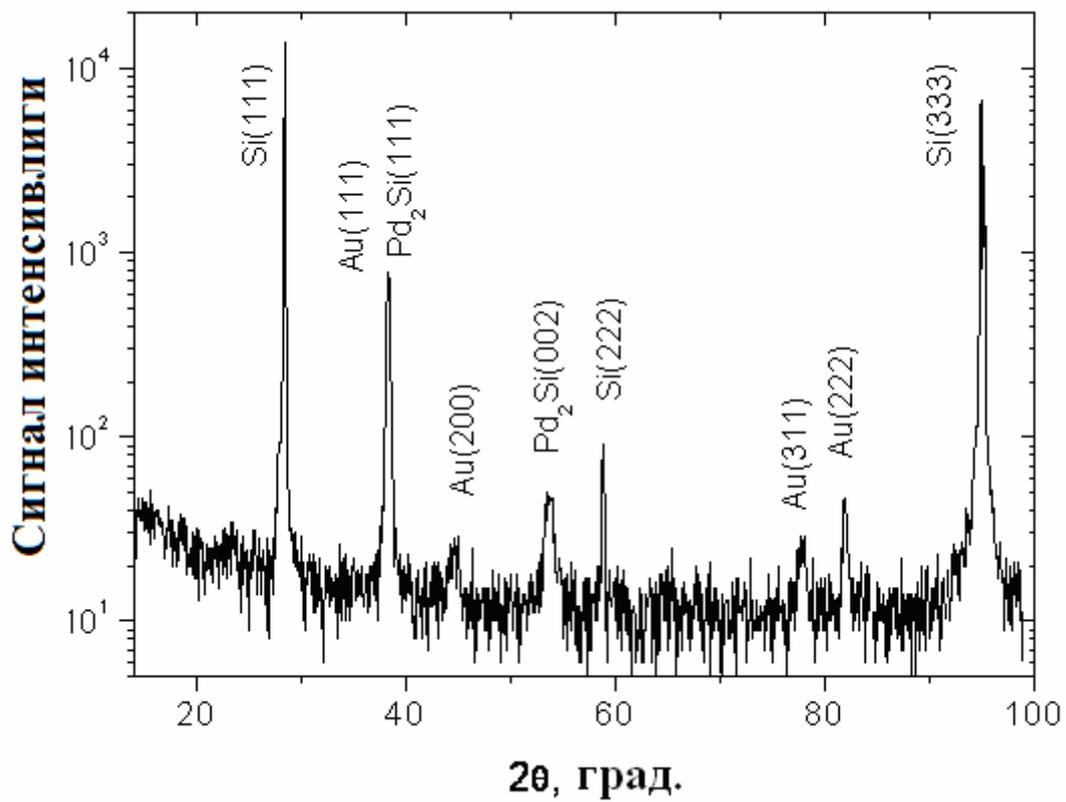
Үлгі майданы  $(2 \cdot 10^{-4} \text{ см})^2 = 4 \cdot 10^{-8} \text{ см}^2$ .

Структуралық биртекли емеслік тығызлығы  $> 10^8 \text{ см}^2$

**Сүрет 3.8. Металлизация қатламлары алынғаннан кейінгі металл-Si бөлім шеғарасы бетінің морфологиясы.**



**Сүрет 3.9. Au-Ti-Pd-p<sup>+</sup>-Si металлизация компоненттерінің бөлістирилиу профиллері.**



**Сүүрет 3.10. Au-Ti-Pd-p<sup>+</sup>-Si контактлық металлизациясының рентгенодифрактограммасы**

p-n-өтиўиниң тереңлиги  $\sim(3 \div 9,8) \cdot 10^{-5}$  см тең. Омлық контактлар  $330^{\circ}\text{C}$  шекем қыздырылған Si подложкасына Pd (500 Å) – Ti(500 Å) – Au (1200 Å) вакуумлы термикалық бүркитилиў жолы менен жаратылған. Бүркитилиў ўақытлары Pd (15 с) – Ti(45 с) – Au(30 с) [18].

Au-Ti-Pd<sub>2</sub>Si-p<sup>+</sup>Si контактлық металлизациясының рентгенодифрактограммасы (сүўрет 3.10), n<sup>+</sup>Si алынған контактлық металлизациясына уқаслығы бақланды, хәм бул контактлардың формаланыўының режимлериниң бирдейлиги менен байланыслы.

Металл-ярымөткизгиш бөлим шегарасындағы жиңишке аралық қатламның бар болыўы, 3.9 сүўретте келтирилген контактлық металлизациясының Оже-профиллеў нәтийжелерине муўапық, кремний, кислород хәм металл атомлары бирикпесинен ибарат «металл шийше» жиңишке метастабиль қатламы менен байланыслы.

Кремний менен металлық фазалар бөлим шегараларында өтиўши қатламлар пайда болыўының бундай процесслери [9, 16] авторлары тәрeпинен изертленген. Үйренилген нәтийжелер әдебиятларда бар болған, күшли легирленген кремнийге омлық контактлар сыпатында, металллардың қәлеген силицидлери қолланылыўы мүмкинлиги хәққындағы пикирди дәлиллейди [10, 12, 17].

## Ж У Ы М А Қ Л А Ы

330<sup>0</sup>С шекем қыздырылған Si подложкасына Pd, Ti хәм Au ларды вакуумлы термикалық бүркитиў менен жаратылған, p<sup>+</sup>-Si ге алынған Au-Ti-Pd омлық контактлар формаланыўының қәсийетлери үйренилди. Салыстырмалы контактлық қарсылығының, металл өткизиўшеңликке тийисли болған, температура жоқарылаўы менен артыўы көрсетилди.

Омлық контакт Pd диң дислокацияларға ямаса басқа структура дефектерине шөгиўинен пайда болған шунтлар есабынан жүзеге келеди. Шунтлар саны металл-Si бөлиниў шегарасындағы структура дефектериниң тығызлығына жақын.

## Ә Д Е Б И Я Т Л А Р

1. N.S. Boltovetst, V.N. Ivanov, R.V. Konakova, A.M. Kurakin, V.V. Milenin, E.A. Soloviev, G.M. Verimeychenko. Technology and experimental studies of contacts for microwave diodes based on interstitial phases. //Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics. -2001. -V. 4. -N 2. -P. 93-105.
2. Болтовец Н.С., Иванов В.Н., Конакова Р.В., Миленин В.В., Войцеховский Д.И. Межфазные взаимодействия и термодеграция контактных структур  $TiN_x(TiB_x)-n-n^+-Si$ , стимулированные быстрыми термическими отжигами. //ЖТФ. -2003. -Т.73. -№4. -С.63-70.
3. Болтовец Н.С., Войцеховский Д.И., Беляев А.А., Конакова Р.В., Миленин В.В. Исследования контактов на основе фаз внедрения. //Материалы электронной техники. -2/2002. –С.29-36.
4. Агеев О.А., Беляев А.Е., Болтовец Н.С., Конакова Р.В., Миленин В.В., Пилипенко В.А. Фазы внедрения в технологии полупроводниковых приборов и СБИС. //НТК. -2008. –С.385.
5. 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. Interaction between Phases in the barrier contacts for power Schottky diodes based on Si and GaAs epitaxial structures. //5<sup>th</sup> International Seminar on Power Semiconductors ISPS'2000. -Prague. – P.51-55.
6. Нуприенок И.С., Шибко А.Н. Фазовые превращения в композиции титан-кремний при комбинированной обработке. //Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. -№2. - 1997. –С.45-49.

7. C.Y. Chang, Y.K. Fang, S.M. Sze. Specific contact resistance of metal-semiconductor barriers. //Solid-State Electronics. -1971. -V. 14. -I.7. -P. 541-550.
8. Богач Н.В., Литвиненко В.Н., Марончук И.Е. Экстремальный характер изменения обратного тока кремниевых  $p^+$ - $n$  структур в процессе формирования омических контактов. //Письма в ЖТФ. - 1998. -Т.24. -№12. -С.1-5.
9. Гершинский А.Е., Ржанов А.В., Черепов Е.И. Тонкопленочные силициды в микроэлектронике. //Микроэлектроника. -1982. Т.11.№2,с.83-94.
10. Мьюрарка Ш. Силициды для СБИС М.:Мир.1986.-176с.
11. Борисенко В.Е. Твердофазные процессы в полупроводниках при импульсном нагреве. //Под ред. В.А.Лабунова. Минск: Наука и техника. 1992.-248с.
12. Ottaviani G. Review of binary alloy formation by thin film interactions. //J.Vac. Sci. Technol.-1979.-V.16.-N5.-P.1112-1119.
13. Беляев А.Е., Болтовец Н.С., Капитанчук Л.М., Конакова Р.В., Кудрик Я.Я., Миленин В.В., Коростинская Т.В., Атаубаева А.Б. Релаксационные явления в структурах  $Au-Ti-Pd-n^+(p^+)-Si$  стимулированные термоотжигом. //Материалы международной научно-практической конференции «Структурная релаксация в твердых телах». Винница, Украина. -2009, 19-21 мая. –С.157-158.
14. Басанец В.В., Болтовец Н.С., Зоренко А.В., Гуцул А.В., Колесник Н.В., Геращенко С.И. Мощные кремниевые импульсные лавинно-пролетные диоды 8-мм диапазона. //ТП СВЧ.-2009.-№1.-С.27-30.
15. Беляев А.Е., Болтовец Н.С., Капитанчук Л.М., Кладько В.П., Конакова Р.В., Кудрик Я.Я., Кучук А.В., Коростинская Т.В., Литвин О.С., Миленин В.В., Неволин П.В., Атаубаева А.Б. Омические контакты  $Au-Ti-n^+Si$ ,  $Au-Ti-Pd_2Si-n^+Si$  к кремниевым СВЧ диодам. //Техника и приборы СВЧ. -2009. -№2. –С.31-34.

16. Гершинский А.Е., Ржанов А.В., Черепов Е.И. Образование пленок силицидов на кремнии. //Поверхность. Физика. Химия. Механика. - 1982.- №2.-С.1-12.
17. McQuhae K.G., Brown A.S. The lattice contraction coefficient of boron and phosphorus in silicon. //Solid.-State Electron. -1972. -v.15. -N3. - P.259-264.
18. Belyaev A.E., Boltovets N.S., Kapitanchuk L.M., Konakova R.V., Kladko V.P., Kudryk Ya.Ya., Kuchuk A.V., Lytvyn O.S., Milenin V.V., Korostinskaya T.V., Ataubaeva A.B., Nevolin P.V. The features of temperature dependence of contact resistivity of Au–Ti–Pd<sub>2</sub>Si–p<sup>+</sup>-Si ohmic contacts. //Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics. -2010. –V.13. -№1. –P.8-11.